

Provningsmetoder och skadetyper vid vattenkraftverk

**En förstudie till erfarenhetsåterföring vid
rivningen av Månsbo Kraftverk**

Elforsk rapport 05:35

Provningsmetoder och skadetyper vid vattenkraftverk

**En förstudie till erfarenhetsåterföring vid
rivningen av Månsbo Kraftverk**

Elforsk rapport 05:35

Provningsmetoder och skadetyper vid vattenkraftverk

**En förstudie till erfarenhetsåterföring vid
rivningen av Månsbo Kraftverk**

Elforsk rapport 05:35

Sammanfattning

De flesta vattenkraftanläggningar i Sverige byggdes mellan 1900 och 1960, vilket innebär att flertalet konstruktioner nu innehar en hög ålder. Material och konstruktionslösningar kan förväntas uppnå sina livslängder. Detta har även framkommit i olika undersökningar som gjorts de senaste åren. Det har konstaterats att sprickor, läckage, avskalning och erosion är de skadetyper som är mest förekommande. Dessa har uppstått på konstruktionsdelar som damm, utskov, pelare, intag, sugrör och delar av kraftstation.

Vattenfall Utveckling AB har i samarbete med Fortum AB fått möjligheten att genomföra ett projekt med finansiering av Elforsk, i och med rivningen av Månsbo kraftverk. Projektet syftar till att verifiera funktioner och användbarhet hos oförstörande provningsmetoder samt att verifiera korrelationen mellan olika metoder vid provning i 70 år gammal betong. Förhoppningen är även att inhämta kunskaper om skador och deras orsaker i äldre betong samt deras koppling till specifika konstruktionsdelar.

Detta examensarbete ingår som en första del i detta projekt med syfte att fastställa vilka provningsmetoder och konstruktionsdelar som skall undersökas närmare vid rivningen av Månsbo kraftverk. Arbetet kommer sedan att ligga till grund för det fortsatta arbetet i projektet. I examensarbetet ingår även att visa på skador och skadeorsaker som är aktuella i vattenbyggnadskonstruktioner

Då tiden för rivningsarbetet kommer att vara kort och de ekonomiska resurserna i projektet är begränsade kommer endast ett fåtal konstruktionsdelar hinna undersökas med ett begränsat antal provningsmetoder. Vidare kan examensarbetet endast behandla de konstruktionsdelar som är tillgängliga för inspektion då kraftanläggningen är i drift. Detta innebär att examensarbetet är avgränsat till kraftverksbyggnaden.

Flertalet konstruktionsdelar och -lösningar förslås undersökas närmare med avseende på olika problemställningar. Vid samtliga konstruktionsdelar bör betongens materialegenskaper och sammansättning undersökas. Detta för att senare kunna dra slutsatser om olika mekanismers inverkan i betongens nedbrytning och verifiering av konstruktionsdelars funktion efter lång tid. De oförstörande provningsmetoderna bör utvärderas med avseende på lämplighet som hjälpmedel vid undersökning av betong. Vidare bör korrelationen mellan dem utvärderas där så är möjligt.

De oförstörande provningsmetoder som föreslås användas för att kontrollera betongen i Månsbo är Radar, Impact Echo, SASW samt metoder för att undersökas armeringskorrosion och spricksystem. Förstörande provning kan utföras genom uttagning av betongkärnor med hjälp av borr.

Summary

In Sweden most of the hydropower plants were built in the beginning of the twentieth century and are now approaching high ages. Material and solutions for structures are supposed to reach the length of their lives, which has also been verified during different examinations in recent years. It has been concluded that leakage, cracks, peeling and erosion are the types of damages that are most frequent and that these damages have been found on structures like dam, outlet, column, intake and places in the power station.

With financial support from Elforsk Vattenfall Utveckling AB is realizing a project, in collaboration with Fortum AB, about the tearing down of the Månsbo power plant. The project is supposed to verify functionality and usability for some non-destructive testing methods when testing in 70-year-old concrete at the Månsbo power plant. Also the correlation between different methods is of interest. Important is also to gather knowledge about damages and causes of damages and their connection to different parts of concrete structures.

This work is the first part of the project and its purpose is to appoint what testing methods and which concrete structures in Månsbo power plant that are to be examined during tearing down. In this work different types of damages and causes of damages that are common at hydropower plants are presented.

Since the time of the demolishing will be short and the economical means for the project is limited only a few structure parts will be examined with few testing methods. Also this work will only consider concrete structures that are available for inspection during production. Therefore this work is limited to the power station.

It is recommended that several structural parts and solutions will be examined for different types of problems. Concrete property and concrete quality need to be analysed for different structures. This is needed in order to analyze different mechanisms that contribute to the break down of the concrete and to verify the function of structures after long time. Non-destructive testing methods should be evaluated to see their suitability as aid in examination of concrete and to see the correlation between different testing methods.

This work proposes the non-destructive testing methods Radar, Impact Echo, SASW to be used in the testing of the concrete at Månsbo power plant. Methods to see rebar corrosion and system of cracks are also recommended to be used. Destructive testing can be done using a drill taking cores of concrete from the structure

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SYFTE	1
1.3	MÅL.....	2
1.4	AVGRÄNSNINGAR.....	2
1.5	MÅNSBO KRAFTVERK OCH ÅVESTA STORFORS DAMMAR	2
1.6	BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGARNA.....	4
2	FÖRSTUDIE.....	6
2.1	KONSTATERAD SKADEBILD INOM VATTENKRAFTBRANSCHEN.....	6
2.2	SKADOR OCH SKADEORSAKER	14
2.3	KONTROLLMETODER	25
2.4	PROBLEMSTÄLLNINGAR.....	32
2.5	SPECIELLA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR BETONG I VATTENBYGGNADS KONSTRUKTIONER	36
2.6	UNDERSÖKNINGSMÖJLIGHETER	37
3	BESIKTNING AV MÅNSBO KRAFTVERK OCH ÅVESTA STORFORS DAMMAR	41
3.1	WORKSHOP.....	41
3.2	FRAMTAGANDET AV FÖRSLAG TILL PROVNINGSFÖRFARANDE.....	42
4	MÖJLIGHETER TILL PROVNING	43
4.1	MASKINSALEN	43
4.2	FRÄMRE INSPEKTIONSGÅNGAR	48
4.3	TRAPPHUSET	49
4.4	BAKRE INSPEKTIONSGÅNGAR	53
4.5	INTAGEN.....	60
4.6	UTLOPPSPELARE.....	60
4.7	SUGRÖREN	60
5	RESULTAT	61
5.1	DILATIONSFOGEN MELLAN SYSTEM 3 OCH 4 I MASKINSALEN.....	61
5.2	GENERATORFUNDAMENTEN I MASKINSALEN	61
5.3	SÖDRA VÄGGEN VID SYSTEM 5 I MASKINSALEN	61
5.4	UPPSTRÖMS VÄGG I TRAPPHUSET	61
5.5	SÖDRA VÄGGEN I TRAPPHUSET	61
5.6	REFERENSOBJEKT.....	62
5.7	UPPSTRÖMS VÄGG VID SYSTEM 1 – 4 I MASKINSALEN	62
5.8	UPPSTRÖMS VÄGG VID SYSTEM 5 I MASKINSALEN.....	62
5.9	SUGRÖREN	62
6	DISKUSSION.....	63
7	LITTERATURFÖRTECKNING	65

Bilagor

A BILAGOR

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vattenfalls vattenkraftanläggningar byggdes mellan 1900-1960 vilket innebär att flertalet konstruktioner börjar uppnå sin livslängd, om den antas vara mellan 50 – 160 år, [18]. Därmed börjar konstruktionernas ålder att bli så pass hög att det reparationsbehov som finns idag kommer att öka ytterligare, [9].

I Vattenfalls intresse ligger att kunna avgöra hur stora investeringar som måste sättas in i form av reparationer och underhåll i framtiden. Detta måste ske på ett så effektivt och ekonomiskt försvarbart sätt som är möjligt.

För att avgöra en konstruktions kondition och kvarvarande livslängd utförs översyn och kontroll i form av inspektioner, besiktningar och fördjupade dammundersökningar (FDU). Som hjälpmedel och verktyg i arbetet med översyn och kontroll av konstruktionsdelar i betong kan förstörande och icke förstörande provning användas.

Oförstörande provning innefattar tekniker som är relativt nyligen utvecklade och har inte kunnat användas i någon större utsträckning inom vattenkraften ännu. Detta kan till viss del bero på att exempel på att metoderna verkligen fungerar för de speciella förutsättningar som råder inom vattenkraften inte finns i särskilt stor omfattning. I och med rivningen av Månsbo kraftverk och Avesta Storfors dammar finns ett gyllene tillfälle att prova och utvärdera ett antal oförstörande provningsmetoder på konstruktionsdelar i betong som är utsatta för inom vattenkraften speciella betingelser.

Vattenfall Utveckling AB har i samarbete med Fortum AB fått möjligheten att genomföra ett Elforsk – projekt i och med rivningen av Månsbo kraftverk. Projektet syftar till att verifiera funktioner och användbarhet hos oförstörande provningsmetoder samt att verifiera korrelationen mellan olika metoder vid provning i 70 år gammal betong. Förhoppningen är även att inhämta kunskaper om skador och dess orsaker i äldre betong samt deras koppling till specifika konstruktionsdelar.

Detta examensarbete ingår som en första del i detta projekt med syfte att fastställa vilka provningsmetoder och konstruktionsdelar som skall undersökas närmare vid rivningen av Månsbo kraftverk. Arbetet kommer sedan att ligga till grund för det fortsatta arbetet i projektet. I examensarbetet ingår även att visa på skador och skadeorsaker som är aktuella i vattenbyggnadskonstruktioner.

1.2 Syfte

Examensarbetet syftar till att fastställa vilka provningsmetoder och konstruktionsdelar som skall undersökas närmare vid rivningen av Månsbo kraftverk. Arbetet kommer sedan att ligga till grund för den studie som skall utvärdera funktioner och användbarhet hos oförstörande provningsmetoder samt verifiera korrelationen mellan olika metoder vid provning i 70 år gammal betong. Den fortsatta studien kommer även att innefatta undersökningar av betong och konstruktionslösningar som utsatts för nedbrytning under

mycket lång tid. I examensarbetet ingår även att visa på skador och skadeorsaker som är aktuella i vattenbyggnadskonstruktioner.

1.3 Mål

Målet med examensarbetet är att utifrån vanliga och relevanta skadetyper föreslå ett antal konstruktionsdelar i Månsbo kraftverk som kan undersökas med tillgängliga provningsmetoder.

1.4 Avgränsningar

Då tiden för rivningsarbetet kommer att vara kort och de ekonomiska resurserna i projektet är begränsade kommer endast ett fåtal konstruktionsdelar hinna undersökas med ett begränsat antal provningsmetoder. Vidare kan examensarbetet endast behandla de konstruktionsdelar som är tillgängliga för inspektion då kraftanläggningen är i drift.

Detta innebär att examensarbetet är avgränsat till kraftverksbyggnaden vilket leder till att ett flertal intressanta konstruktionsdelar, som uppströms sida av monoliterna och samtliga inre vattenvägar, inte behandlas i rapporten.

1.5 Månsbo kraftverk och Avesta Storfors dammar

Fallhöjden i Dalälven vid Avesta utnyttjas i två kraftverk, Avesta Storfors och Månsbo, belägna på höger respektive vänster sida av älven, [19]. Bägge kraftverken ägs idag av Fortum AB. Kraftverken har en gemensam dammanläggning med en tvärdamm samt ledmurar på respektive sida älven. Driftvattnet är upp till $350 \text{ m}^3/\text{s}$ och fördelas ungefär lika mellan anläggningarna. Närmast uppströms liggande kraftverk (ca 50 km) är Skedvi och närmast nedströms (ca 1,5 km) är Avesta Lillfors. Båda är byggda för att klara vattenföring på $500 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 1.1 Avesta kraftverk och leddamm

Den totala avbördningsförmågan som den gemensamma dammanläggningen kan ge idag uppgår till $1678 \text{ m}^3/\text{s}$, [19]. Se tabell 1.1.

Avesta leddamm	$491 \text{ m}^3/\text{s}$
Tvårdamm	$901 \text{ m}^3/\text{s}$
Månsbo leddamm	$286 \text{ m}^3/\text{s}$
Totalt	$1678 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabell 1.1: Total avbördningsförmåga vid Avesta Månsbo dammanläggning

Med anledning av nya riktlinjer för beräkning av dimensionerande flöden enligt Flödeskommittén har nya beräkningar av avbördningskapaciteten vid Avesta och Månsbo dammanläggningar gjorts av Sweco VBB. Hela anläggningen är klassad som en damm i riskklass II enligt Flödeskommitténs riktlinjer, [20] och det nya teoretiskt beräknade flödet är $2066 \text{ m}^3/\text{s}$, se tabell 1.2. Den nuvarande avbördningsförmågan är vid dämningssgränsen (DG) därmed betydligt lägre än det nya beräknade flödet och uppfyller därmed inte de krav som ställs enligt Flödeskommiténs riktlinjer.

Riskklass 1-flöde, Q_{dim}	$3702 \text{ m}^3/\text{s}$
Riskklass 2-flöde, Q_{dim}	$2066 \text{ m}^3/\text{s}$
Avbördning idag vid DG	$1678 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabell 1.2: Beräknade dimensionerande flöden enligt Flödeskommitténs riktlinjer för Avesta Månsbo dammanläggningar



Figur 1.2 Tvärdammen

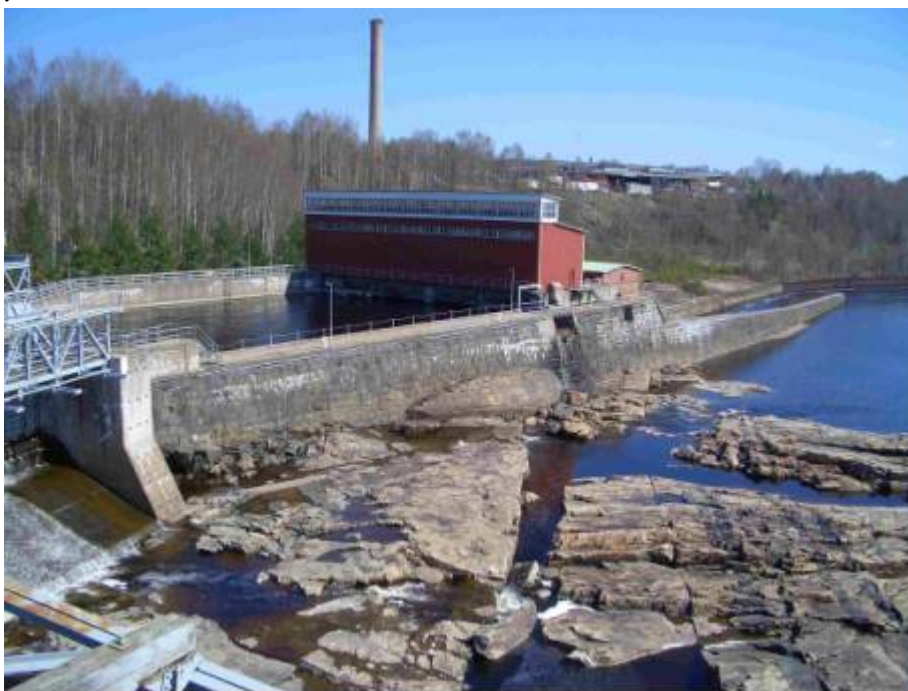
De båda kraftstationerna, som togs i drift 1931, och den befintliga dammanläggningen börjar närma sig slutet på sina tekniska livslängder. Dammbesiktningar, [21], [22], [23] gjorda det senaste decenniet visar på omfattande och allvarliga skador på dammarna och i kraftverken vilka måste åtgärdas mer eller mindre omedelbart. Dammanläggningen har brister som läckage, betongskador och fel på luckspel. Kraftverken har liknande skador. Betongskador finns på nästan samtliga konstruktionsdelar, mer eller mindre omfattande. Skibord, pelare, upplag och trappor visar på sprickor och kalkutfällningar. Kraftverken, åtminstone Månsbo kraftverk, uppvisar också sprickor och kalkutfällningar i väggar, pelare och andra konstruktionsdelar.

1.6 Beskrivning av anläggningarna

Månsbo kraftverk är utrustad med fyra stora och ett mindre aggregat, samtliga med horisontella dubbelfrancisturbiner kopplade till växelströmsgeneratorer. Ursprungligen var turbinerna kopplade till likströmsgeneratorer men dessa byttes ut år 1974. Den totala utbyggnadsvattenföringen är 175 m³/s. Från kraftstationen leds vattnet i en utloppskanal längs vänstra stranden avskärmad från älvfåran med en ledmur. Längs stranden uppströms kraftverket finns en skyddsdamm av betong som skyddar tillfarten till kraftverket.

Avesta Storfors kraftverk är utrustat med tre vertikala kaplanaggregat för en total utbyggnadsvattenföring av 205 m³/s. Överbyggnaden på Avesta Storfors kraftverk är kulturminnesskyddad i Avesta kommun samt ligger i ett riksintresseområde för kulturminnessvård. Från kraftstationen leds vattnet i en utloppskanal längs högra stranden som är avskärmad från älvfåran med en ledmur. Omedelbart uppströms kraftstationen finns ett inlopp till kanal som idag inte används. Inloppet är spärrat med en intagsdamm. Mellan intagsdammen och kraftstationsintaget finns en skyddsdamm.

Dammanläggningen består av en tvärdamm över älvfåran uppströms kraftverken samt Månsbo och Avesta leddammar som sträcker sig mellan tvärdammen och respektive kraftstation. Hela dammanläggningen är grundlagd på berg. Månsbo leddamm består av en ledmur närmast kraftverket och en utskovsdel. Mellan ledmurens och skyddsdammens uppströmsände finns i kanalen en betongtröskel för provisorisk avstängning av tilloppskanalen. Avesta leddamm består av, räknat från kraftverket, ett isutskov, två luckutskov, ett överfallsskibord och ett intag till en flottningskulvert. Kulverten går under hela leddammen, passerar kraftverket och mynnar i utloppskanalen. Flottningskulverten används inte idag och dess intag är avstängt med en lucka. Tvärdammen har tre utskov. Det högra utskovet har en segmentlucka och en gångbrygga i stål och trädäck ovanför. De andra två utskoven har stoneyluckor och ovanför finns en stålkonstruktion för luckspel och en gångbrygga av trä.



Figur 1.3 Månsbo kraftverk

2 Förstudie

För att bestämma konditionen på Månsbo kraftverks konstruktionsdelar av betong krävdes en viss teoretisk påläsning först. Detta för att kunna utföra en så professionell och objektiv bedömning som möjligt samt en jämförelse av skadorna vid Månsbo kraftverk med andra vattenkraftanläggningar. Dokument angående Månsbo kraftverk, exempelvis ritningar, arbetsbeskrivningar och besiktningsprotokoll, har studerats. Litteratur och tidigare rapporter från Vattenfall Utveckling AB rörande betongkonstruktioner och dess beständighet har lästs igenom.

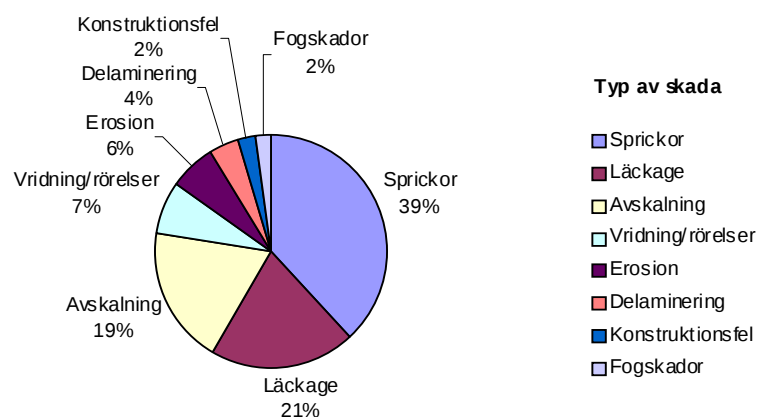
Enligt Fagerlund, 1987, [12] är frostangrepp och armeringskorrosion de två största beständighetsproblemen på betongkonstruktioner i Sverige. Under 1980-talet uppdagades att ca 800 000 balkongkonstruktioner i betong var så kraftigt angripna av frost och armeringskorrosion att de antingen behövt genomgå omfattande reparationer eller helt bytts ut, [13]. Samtidigt framkom att av ca 7000 broar hade minst 12 %, dvs ca 840 stycken, så omfattande frostsador att en snar renovering var nödvändig. I bägge fallen har konstaterats att skadorna har orsakats av bl a högt vattencementtal (vct), för litet täcksikt och saknad av extra luftinblandning i betongen. Genom sänkt vct och extra luftinblandning hade betongens livslängd enkelt kunnat höjas med 10 till 15 år. Vid byggande i början av 1900-talet var det säkerligen inte av ekonomiska skäl som dessa åtgärder inte genomfördes utan på grund av att kunskap och teknik inte fanns tillgängligt.

2.1 Konstaterad skadebild inom vattenkraftbranschen

2.1.1 REMR-programmet

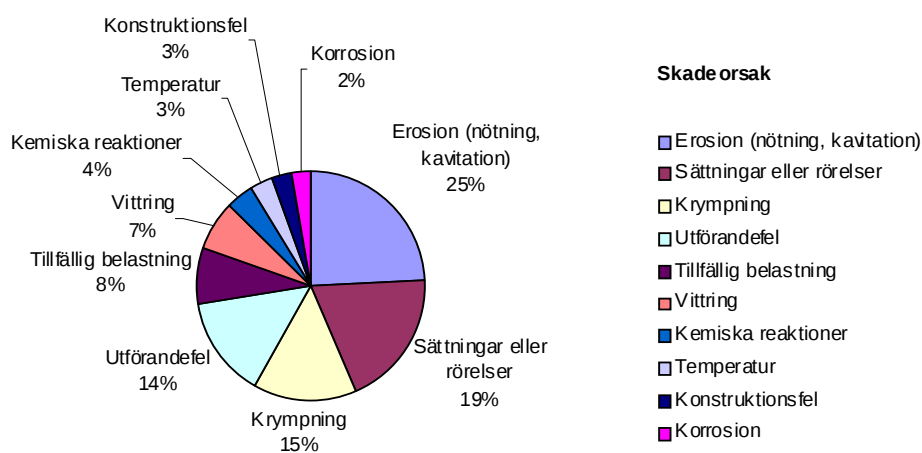
År 1998 avslutades ett stort amerikanskt forskningsprogram rörande åldrande infrastruktur inom vattenbyggnadsområdet, som pågått under 14 år, [9]. Programmet, som benämns ”Repair, Evaluation, Maintenance and Rehabilitation (REMR) research program”, har drivits av US Army Corps of Engineers vid Waterways Experiment Station (WES). I rapporten Kunskapsåterföring på betongområdet från det amerikanska REMR-programmet [9] sammanfattas valda delar av programmet och är inriktat mot betongrelaterad forskning och utveckling. I rapporten antas att svenska konstruktioner inte i någon större utsträckning skiljer sig från de amerikanska och resultaten från programmet kan därmed bli användbart i Sverige. Programmet har berört vattenbyggnadskonstruktioner som dammar, kraftverk, broar och slusskonstruktioner.

I programmets inledningsskede gjordes en omfattande genomgång av skador på de vattenbyggnadskonstruktioner som US Corps of Engineers ansvarar för. Material från cirka 2000 inspektionsrapporter har bearbetats vilket har resulterat i en databas med över 10000 betongskador. Figur 2.1 visar resultatet fördelat på åtta typer av skador.



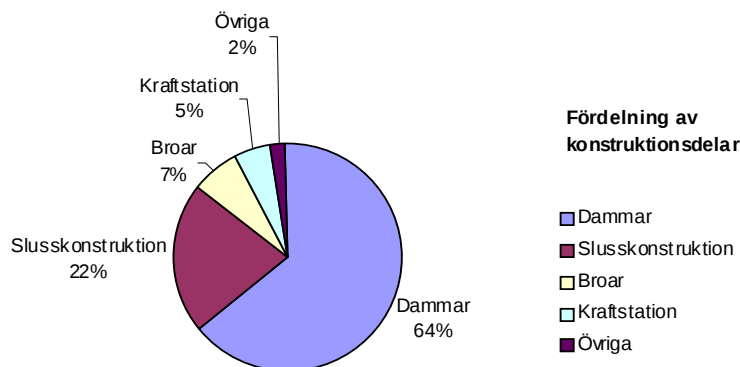
Figur 2.1 Fördelning efter typ av skada, [9].

Vid genomgången kunde dock orsaken till skadornas uppkomst fastställas vid endast 1685 skadefall, dvs vid endast 16 procent av skadorna. Nedan visas fördelningen av skadeorsakerna, figur 2.2.



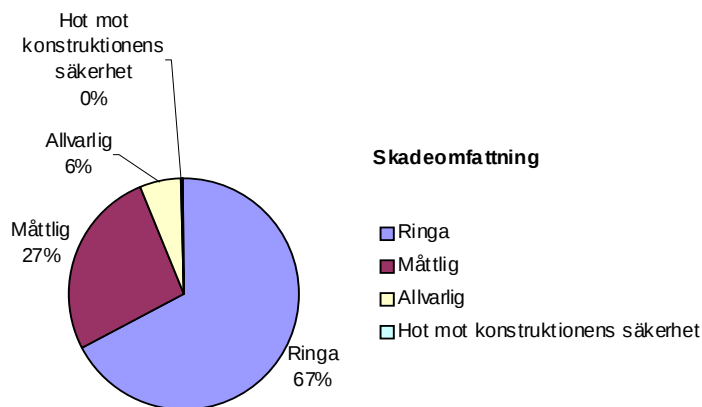
Figur 2.2 Fördelning efter skadeorsak, [9].

Figur 2.3 visar fördelningen av skador på olika typer av konstruktioner. Dominerar gör skador på dammkonstruktioner.



Figur 2.3 Fördelning av skador på typ av konstruktion, [9].

I inventeringen indelades skadornas omfattning i fyra olika klasser: ringa, måttlig och allvarlig skada samt skada som utgör hot mot konstruktionens säkerhet. Resultatet av indelningen med avseende på skadebestånd visas i figur 2.4.



Figur 2.4 Fördelning efter skadornas omfattning, [9].

96 procent av de skador som uppkommit i dammkonstruktioner klassificerades som ringa eller måttliga skador. Detta indikerar att majoriteten av de problem som finns i anslutning till dammkonstruktioner kan lösas med underhållsåtgärder i kombination med besiktningar och övervakningsåtgärder.

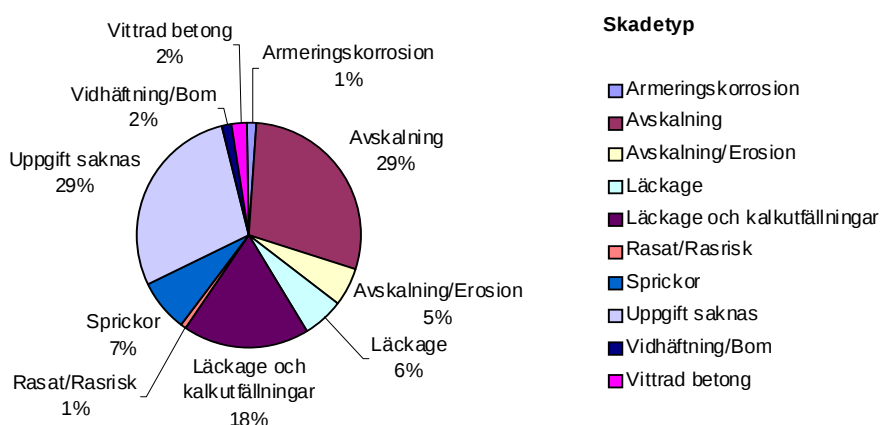
Resultatet från REMR-programmet visar att för allvarliga skador finns ett klart samband mellan ökande medelålder på vattenbyggnadskonstruktioner och antalet fall med undermålig betong. Däremot, när det gäller det totala antalet skador, finns ingen direkt koppling till konstruktionernas medelålder. Detta beror till stor del på att merparten av skadorna betecknas som ringa, dvs ringa skador är vanligt förekommande oberoende av en konstruktions ålder.

2.1.2 Reparationsdatabasen

År 1999 avslutades ett forskningsprojekt under namnet "Inventering av betongreparationer utförda på svenska vattenkraftanläggningar", [10], vid avdelningen för Betongteknik vid Vattenfall Utveckling AB. Syftet med projektet var att bygga upp en kunskapsdatabas med uppgifter om reparationer utförda på betongkonstruktioner och använda reparationsmaterial. Databasen är uppbyggd på material från insamlade svar från anläggningsägare av vattenkraftanläggningar. Då det är information om skador som uppkommit på olika svenska vattenkraftanläggningar skulle databasen kunna representera en generell skadebild för Sverige.

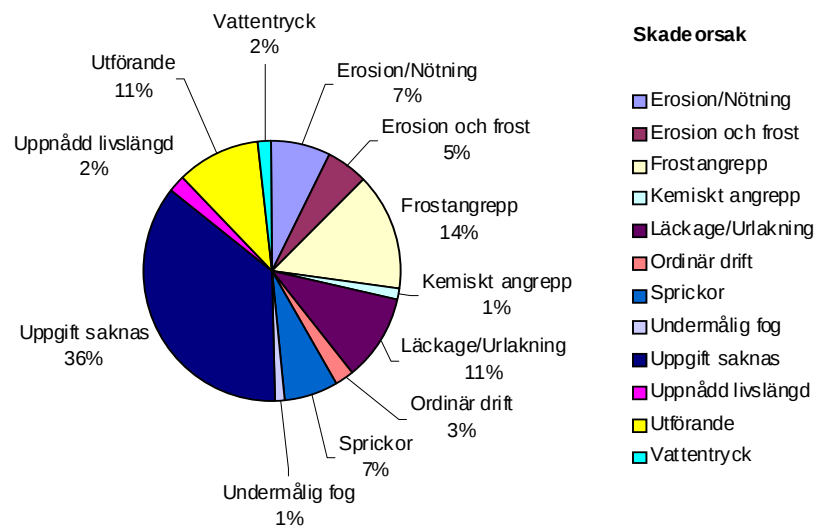
I detta examensarbete har databasens råmaterial sammanställts och totalt 228 reparationer har kunnat studeras. I databasen finns för varje reparation åtskillig information redovisat. För detta examensarbete har det varit uppgifter som typ av skada, orsak till skada och skadad konstruktionsdel som varit av intresse. Resultatet från sammanställningen av reparationerna redovisas nedan.

Figur 2.5 visar fördelning efter typ av skada. Dominerande skadetyper är avskalning, läckage och kalkutfällningar samt sprickor, då skadetyperna "Uppgift saknas" inte tas med i statistiken.



Figur 2.5 Fördelning efter typ av skada, [10].

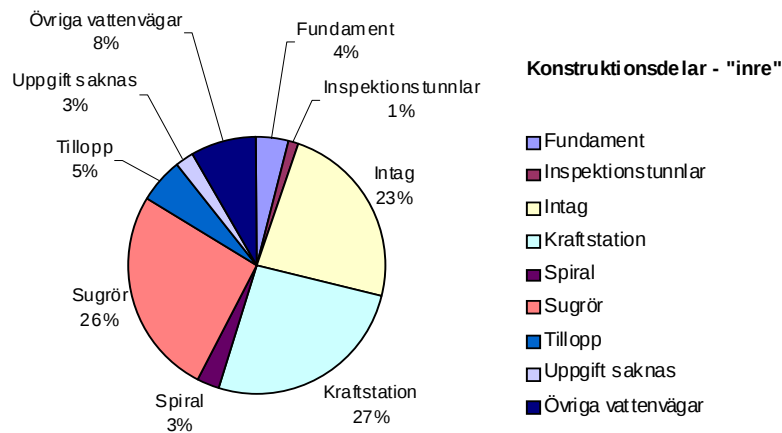
Nedan visas en sammanställning över orsakerna till skadornas uppkomst. De vanligaste orsakerna ser ut att vara frostangrepp, läckage/urlakning samt utförande om skadeorsaken "Uppgift saknas" inte tas med. Se figur 2.6 nedan.



Figur 2.6 Fördelning efter skadeorsak, [10].

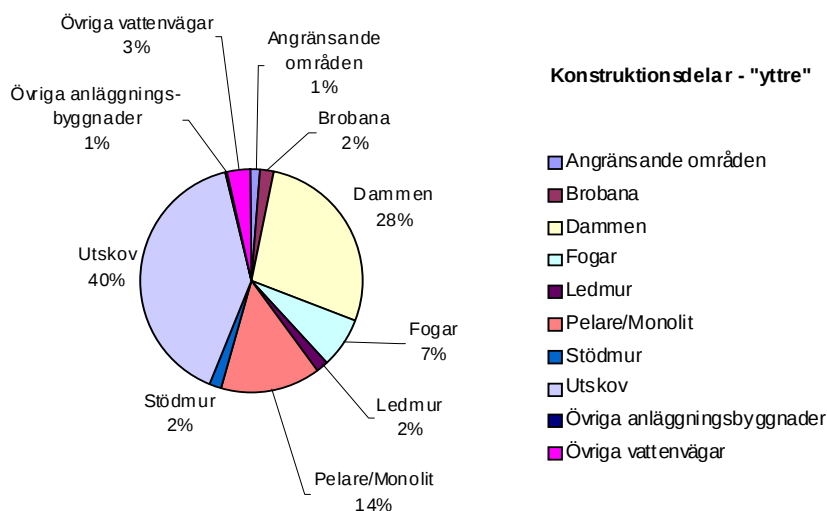
Vid redovisning efter andelen skador per konstruktionsdel är det till fördel med en indelning efter "inre" och "yttre" konstruktionsdelar. De inre konstruktionsdelarna kan till största del återfinnas innanför kraftverksanläggningen. De yttre representeras därmed av utomhus liggande konstruktionsdelar främst i anslutning till dammanläggningar, murar och övriga anläggningsbyggnader.

Figur 2.7 visar fördelningen av skador efter "inre" konstruktionsdelar på 73 reparationer. Dominerande är konstruktionsdelarna kraftstation, sugrör och intag.



Figur 2.7 Fördelning av skador efter "inre" konstruktionsdelar på 73 reparationer, [10].

Figur 2.8 visar fördelningen av skador efter "yttre" konstruktionsdelar på 155 reparationer. Största andel skador har helt klart utskoven. Därefter följer dammar, pelare och fogar.



Figur 2.8 Fördelning av skador efter "yttre" konstruktionsdelar på 155 reparationer, [10].

Intressant är att se vilka konstruktionsdelar som är utsatta för de vanligaste skadetyperna. I tabell 2.1 nedan visas för varje skadetyyp vilka konstruktionsdelar som är utsatta. Viktigt att notera är att de reparationer där skadetyperna "Uppgift saknas" inte tagits med i tabellen. Vid en tredjedel av reparationerna saknades uppgift om skadetyper. Avskalning och erosion ser ut att förekomma vid konstruktionsdelar som dammar, utskov och pelare/monoliter. Läckage och kalkutfällningar drabbar dammar, utskov, kraftstationer och fogar. Kraftstation innefattar här i första hand maskinsal och eventuellt även inspektionsgångar. Sprickor utsätts dammar, utskov och pelare/monoliter för. Detta kan verka rimligt då de är konstruktionsdelar som utsätts för stora laster vilket kan orsaka sprickor. Det ser ut som att dammar och utskov är utsatta för flertalet skadetyper i relativt stor utsträckning. Detta kan verka logiskt då dammar och utskov kan tänkas få utstå både laster och miljöpåverkan.

Typ av skada	Konstruktionsdel	Antal	Andel
Avskalning	Dammen	12	18%
	Pelare/Monolit	10	15%
	Utskov	18	27%
	<i>Totalt</i>	66	100%
Avskalning/Erosion	Dammen	2	17%
	Utskov	6	50%
	<i>Totalt</i>	12	100%
Läckage	Dammen	3	23%
	Fogar	3	23%
	Kraftstation	2	15%
	Utskov	2	15%
	<i>Totalt</i>	13	100%
Läckage & kalkutfällningar	Dammen	9	22%
	Kraftstation	11	27%
	Utskov	7	17%
	<i>Totalt</i>	41	100%
Sprickor	Dammen	4	24%
	Pelare/Monolit	6	35%
	Utskov	4	24%
	<i>Totalt</i>	17	100%

Tabell 2.1 visar vanligaste skadorna för varje konstruktionsdel till antal och andel av totala antalet skador för respektive skadetyper.

Intressant är även att se vilka skador som är vanligast på de mest skadade konstruktionsdelarna. I tabell 2.2 visas en sammanställning över detta. Även här är det viktigt att notera att i nästan samtliga fall har skadetyperna ”Uppgift saknas” inte tagits med i tabellen. Detta medför att nästan en tredjedel av underlaget inte redovisas vilket innebär att för en stor del av reparationerna är skadetyperna inte kända. Kraftstationer verkar främst vara utsatta för läckage och kalkutfällningar. Bland de inre konstruktionsdelarna ser intag och sugrör ut att utsättas för omfattande avskalning. Frågan är om avskalningen i sugröret är orsakad av frostsprängning eller erosion. Vid dammar och utskov förekommer avskalning, läckage och kalkutfällningar i relativt stor utsträckning. Pelare/monoliter ser ut att vara mest utsatt för avskalning och sprickor. Detta kan stämma då en pelare skall ta upp stor last från dammkroppen men även kan utsättas för avskalning då vatten i sprickor i pelaren fryser och orsakar frostsprängning. Läckage är vanligast vid fogar, vilket verkar föga förvånande.

Konstruktionsdel	Typ av skada	Antal	Andel
Kraftstation	Läckage	2	11%
	Läckage och kalkutfällningar	11	58%
	Uppgift saknas	6	32%
	<i>Totalt</i>	<i>19</i>	<i>100%</i>
Sugrör	Avskalning	5	26%
	Vidhäftning/Bom	2	11%
	Vittrad betong	3	16%
	<i>Totalt</i>	<i>19</i>	<i>100%</i>
Intag	Avskalning	7	41%
	Avskalning/Erosion	1	6%
	Läckage	1	6%
	Läckage och kalkutfällningar	3	18%
	<i>Totalt</i>	<i>17</i>	<i>100%</i>
Utskov	Avskalning	18	29%
	Avskalning/Erosion	6	10%
	Läckage och kalkutfällningar	7	11%
	<i>Totalt</i>	<i>62</i>	<i>100%</i>
Dammen	Avskalning	12	28%
	Läckage och kalkutfällningar	9	21%
	Sprickor	4	9%
	<i>Totalt</i>	<i>43</i>	<i>100%</i>
Pelare/Monolit	Avskalning	10	45%
	Läckage och kalkutfällningar	2	9%
	Sprickor	6	27%
	<i>Totalt</i>	<i>22</i>	<i>100%</i>
Fogar	Läckage	3	27%
	Vidhäftning/Bom	2	18%
	<i>Totalt</i>	<i>11</i>	<i>100%</i>

Tabell 2.2 visar vilka konstruktionsdelar som är mest utsatta för de vanligaste skadeorsakerna.

2.1.3 Questionnaire

En undersökning [6] har utförts angående underhållssystem hos ägare av vatten- och kärnkraftskonstruktioner i Sverige. Undersökningen baseras på svar från sexton ägare varav femton tillhör kategorin konstruktionsägare och en kategorin entreprenör. Elva av de sexton var ägare till vattenkraftskonstruktioner. Enligt undersökningen används inspektioner och underhållsrutiner/-program, åtgärdsprogram eller kontroll- och reparationsinspektioner hos ägarna som förebyggande åtgärder. Ingen av de sexton tillfrågade använde sig av något ledningssystem för drift och underhåll (management of maintenance). I samma undersökning frågades efter orsaker till olika skador i betongkonstruktionerna samt hur ofta dessa uppstår. Enligt undersökningen var de tre vanligaste orsakerna till skadorna på vattenkraftanläggningarna; frostsador, erosion och urlakning av betongen. Expansiva reaktioner i betongen, som alkalikisel – reaktioner, var inte så vanligt förekommande. Detta konstateras även i rapport [10].

2.2 Skador och skadeorsaker

Betongkvalitet kan uttryckas som den hårdnade betongens egenskaper med avseende på hållfasthet, slitstyrka, permeabilitet, beständighet och eventuellt även volymförändringar och brandhårdighet, [4]. Med tiden förändras betongens egenskaper då den utsätts för laster och miljöpåverkan, [7]. Förändringarna kan leda till uppkomst av lokala defekter i en betongkonstruktion eller nedbrytning av materialet. Dessa effekter kan påverka konstruktionens verkningssätt och därmed ha betydelse för hela anläggningens säkerhet och drift.

De beständighetsproblem som brukar vara vanliga för betongkonstruktioner i Sverige är skador som orsakas av frostangrepp, armeringskorrosion, betongens urlakning samt olika typer av kemiska angrepp, [12].

Skador kan vara mer eller mindre lätta att identifiera beroende på hur de ger sig till känna. Ytskador syns direkt på konstruktionens yta medan inre skador inte alltid är visuellt synbara. Dock lämnar vissa inre skador spår på ytan i form av sekundära effekter. Även om det går att hitta den fysikaliska förändringen av en skada är det inte alltid självklart vad som är orsaken till den.

Indelning av skadetyper och skadeorsaker kan ske på flertalet sätt. I Betonghandboken del material, [1], Concrete Repair Manual, [3] och i olika rapporter från exempelvis Elforsk finns olika varianter på indelningar. Därför finns inte någon anledning att skriva ännu en variant på indelning i detta examensarbete, utan läsaren hänvisas till dessa skrifter.

Logiskt vore att intressera sig för de typer av skador som uppkommer i den typ av konstruktion som behandlas. Därför sammanställs nedan de betongskador som är vanliga på vattenkraftkonstruktioner. Sammanställningen baseras på och har samma upplägg som Elforskrapport 94:17, [7] av Ulrika Wiberg.

2.2.1 Yttre tecken på skada

Nedan följer en beskrivning av vissa yttre tecken som i sig inte innebär en skada av betongen, men som indikerar att någon form av nedbrytning pågår. De säger alltså inte mycket om den eventuella skadans utbredning eller omfattning.

2.2.1.1 Fuktfläckar och läckage

Vatten som tränger fram på en i vanliga fall torr sida av en konstruktion tyder på att något inte är som det ska, dvs det kan vara tecken på en inre skada. Läckage kan visa på att sprickor eller andra håligheter förekommer inuti konstruktionen och kan därför anses vara en sekundär skada. Sekundära skador av läckage är urlakning av betongen, korrosion av armeringen samt inre och yttre frostskaador. Yttre frostskaador kan yttra sig i avskalningar av betongen. Det är vanligt att läckagen ökar under vintertid då sprickvidderna ökar med lägre vatten- och lufttemperatur, [10].



Figur 2.9 Läckage och fuktfläckar runt sprickor i betongpelare

2.2.1.2 Kalkavlagringar

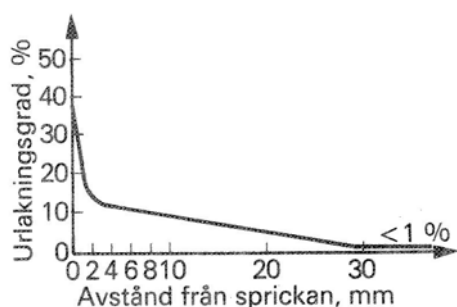
Kalkavlagringar på betongens yta är ett tecken på att en urlakning av betongen pågår. Vid kalkurlakning löser vattnet kalciumhydroxiden i betongens porer och sedan även kalcium i bindemedlet i betongen. Detta kan medföra hållfasthetsförluster, [1]. Ju porösare betongen är, desto snabbare blir kalktransporten och därmed nedbrytningen av cementpastan. Vanligt vatten har en starkt kalklösande förmåga och mjukt vatten med en hårdhet under 3 tyska hårdhetsgrader, kan vara aggressivt gentemot betong, [1]. Vattnet i den nordiska fjällkedjan, vilket har en liten mängd lösta salter och är svagt surt av kolsyra, har stor kalklösande förmåga, [1]. Risk finns för angrepp på kalk- eller cementbundna material vilka är porösa och därmed har stor angreppsyta. Den vanligaste formen av sura lösningar som betong kommer i kontakt med, exempelvis i norra delarna av Sverige, är kolsyrehaltigt vatten, [1].



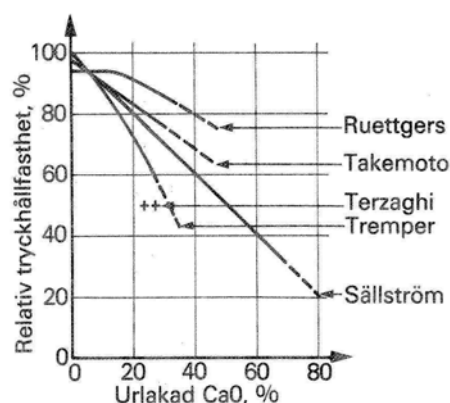
Figur 2.10 Sprickor med kalkutfällningar i pelarsida.

Kalkurlakningen kan ske dels genom diffusion med eller utan erosion eller vattentryck, exempelvis vid uppströmssidan av en betongdamm. Dels kan det ske med hjälp av vattentransport genom en mer eller mindre permeabel betongkropp. Detta visar sig genom kalkutfällningar på betongens yta. Diffunderad kalkurlakning visar sig genom att betongen blir porös.

Vid **sprickor med vattengenomströmning** får man en lokalt stark kalkurlakning, vilket yttrar sig i kalkridåer, [1]. Se figur 2.11 och 2.12 nedan. I praktiken har man vid mätningar inte iakttagit några väsentliga hållfasthetsförluster, trots till synes stor kalkurlakning. Kalkutlösningen är koncentrerad till några få millimeters djup vid sidan av sprickan och hållfastheten hos en uttagen provkropp påverkas därför mycket lite.



Figur 2.11 Utlakningsgrad vid spricka, 100 % motsvarar total urlakning av cementets ursprungliga halt av CaO, [1].



Figur 2.12 Samband kalkurlakning – tryckhållfasthet. Sammanställning av resultaten från olika undersökningar, [1].

Fortgående vattengenomströmning med kalkurlakning kan orsaka större läckage på sikt. Ett läckage kan i början tätas av sig själv, men kalkavlagringarna kommer fortfarande att synas, [10]. Stor urlakning med exempelvis stalaktiter och stalagmiter kan vara tecken på allvarligare problem, exempelvis grövre sprickor.

Självläkning (självtätning) av sprickor sker under vissa förutsättningar i närvaro av fukt och om sprickan inte är rörlig, [1]. Detta bidrar till att åstadkomma vattentäthet hos konstruktioner som råkat ut för exempelvis sprickbildning. Självtätning sker inte om sprickan rör sig, om genomströmningen av vatten är så kraftig att urlakning sker och om avdunstningen på luftsidan är otillräcklig för att de lösta salterna skall fällas ut. Ju mindre sprickbredden är, desto snabbare erhålls fullständig täthet. En sprickvidd på 0,2 mm anses som acceptabel för att självtätning skall ske.



Figur 2.13 och 2.14 Exempel på kalkutfällningar från betongvägg i inspektionsgång, Månsbo kraftverk

2.2.1.3 Rostfläckar

När armeringen börjat korrodera inne i konstruktionen yttrar det sig i rostfläckar på konstruktionens yta. Även järnhaltigt vatten kan orsaka rostfläckar på betongen. Dock går det inte att uttolka hur omfattande problemet är eller om korrosionen är fortgående på rostfläckarnas utseende eller utbredning. De svällande korrosionsprodukterna kan orsaka delaminering vilket innebär att täcksiktet spjälkas loss.



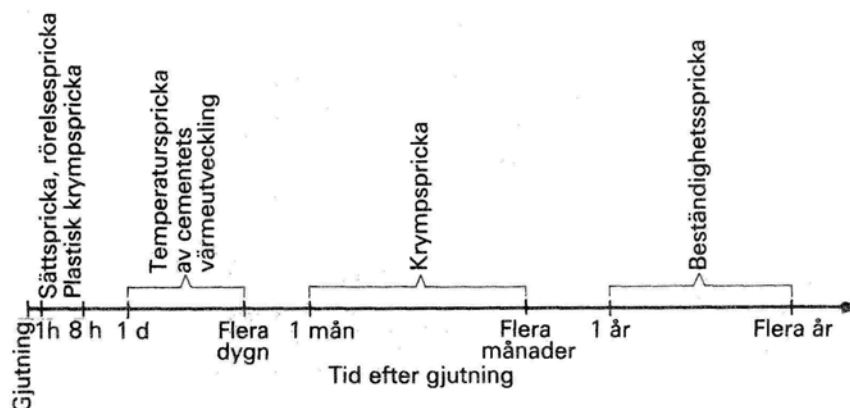
Figur 2.15 och 2.16 Sprickor med läckage, kalkurlakning och eventuellt korrosions-produkter

2.2.2 Ytskador

Ytskador uppträder direkt på betongens yta vilket är lätt att upptäcka. Dess skador kan även vara tecken på att andra skadeförlopp pågår inuti konstruktionen.

2.2.2.1 Sprickbildningar

En betongkonstruktion spricker nästan undantagslöst, men sprickorna behöver inte ha någon avgörande betydelse för konstruktionens bärrighet eller stabilitet. Sprickor och sprickbildningar kan uppstå av olika anledningar vilket yttrar sig i ytsprickor och inre sprickor.



Figur 2.17 Ungefärliga tidpunkter för olika sprickors uppkomst, [1].

Ofta accepteras sprickor men i vissa konstruktioner eller miljöer måste sprickvidden begränsas, [2]. Driftproblem eller olika funktionskrav som inte kan uppfyllas accepteras oftast inte. Vissa sprickor leder med största sannolikhet även till sekundära skadeeffekter som läckage, urlakning och armeringskorrosion. Sprickor kan indelas på ett flertal sätt. Sprickor som uppkommer i nygjuten betong som plastiska sätt- och krympsprickor samt värmehärdningssprickor. Temperatursprickor kan vara ytliga eller genomgående och orsakas av cementets värmehärdning de första dygna efter gjutning eller av temperaturvariationer under betongens senare livslängd. Krympsprickor till följd av ensidig uttorkning, omgivande konstruktioners mothåll och olika krympfästighet uppstår ett par till flertalet månader efter gjutning. Uttorkningen kan pågå under flera år vilket medför att även krympningen sker under lång tid, [4]. Sprickor uppkommer även av last och brukar då koncentrera sig till ett fåtal ansträngda snitt i konstruktionen. Större sprickor tyder på för hög last eller underdimensionering. Beständighetssprickor är sprickor som uppstår på grund av otillräcklig beständighet mot miljöangrepp, [2]. De vanligaste orsakerna till beständighetssprickor är frostangrepp, armeringskorrosion och olika typer av kemiska angrepp, exempelvis alkaliskel – reaktioner.

Det är viktigt att veta orsaken till en viss sprickbildning för att kunna avgöra i vilken omfattning en konstruktion är skadad. Genomgående sprickor kan behöva åtgärdas mer omgående än ytsprickor med tanke på hållfasthet och stabilitet. Ofta ligger orsaken till sprickbildningar i utförandet, [10].



Figur 2.18 Sprickor med kalkutfällningar i pelarsida



Figur 2.19 Spricka i pelarsida

2.2.2.2 Avskalning och krackeleringssprickor

Avskalning innebär att mer eller mindre stora bitar av betongen lossnar från ytan och faller bort. Detta kan tyda på skador som frostsprängning, med eller utan närvaro av klorider samt ballastreaktioner. Avskalning sker i första hand vid fuktiga partier på en konstruktion där vatten har sugits upp i porerna och fryser i upprepade cykler vid låga temperaturer. Vanliga delar på en konstruktion där detta sker är vid fogar, i vattenlinjen på uppströmssidan, i anslutning till vattenförande sprickor etc. Avskalning kan även orsakas av den expansion som sker i samband med en kemisk reaktion mellan (felaktig) ballast och cementpasta.



Figur 2.20 Avskalning längs pelarsida.



Figur 2.21 Erosion i pelarsida längs skibord.



Figur 2.22 Erosion i pelarsida längs botten på utskov.

Krackeleringssprickor är en kraftig sprickbildning på betongens yta som orsakas av inre frostsprängning. Dessa framkommer i första hand på en konstruktions torrare ytor där uttorkningen är tillräcklig i ytskiktet men konstruktionens inre fortfarande är fuktig. Frysning kan då ske inuti konstruktionen vilket leder till sprickbildning.

2.2.2.3 Avnötning

Avnötning i vattenbyggnadskonstruktioner utgörs av kavitation och erosion. Den förra är den nötande effekten hos vatten med hög hastighet då luftbubblor bildas och slås sönder vid tryckändringar, medan erosion är nötning av sandpartiklar mm som transporteras av vatten. Erosion kan även ske där vågor bryter mot en betongkonstruktion. Avnötning kan yttra sig i en ojämn yta med gropar och hål samt frilagd ballast.

2.2.2.4 Porositet

Orsaker till en porös betong i en konstruktion kan vara materialfel eller dåligt arbetsutförande. Det kan även bero på urlakning av betongen vid läckage under längre tid. En porös betong har dålig beständighet vilket kan innebära lägre hållfasthet hos konstruktionen i helhet. Det finns även risk att ytterligare läckagevägar med vattengenomströmning skapas med ytterligare nedbrytning som följd. Porös betong kan dock även medföra högre frostbeständighet, förutsatt att porerna är små och tillräckligt närliggande varandra, [12].

2.2.3 Inre skador

2.2.3.1 Sprickor

Sprickor kan uppstå i en betongkonstruktion av olika anledningar. Se kapitel 2.2.2.1 Sprickbildningar, om sprickor och sprickbildningar i betongkonstruktioner.

Mikrosprickor uppstår nästan alltid och har vanligtvis ingen betydelse för konstruktionens hållfasthet eller stabilitet. Mikrosprickorna kan dock oftast inte försummas eftersom ytterligare uppsprickning kan ske och risken för sekundära skadeeffekter ökar.

2.2.3.2 Nedbrytning med förändring av materialets egenskaper

Vid nedbrytning av betong förändras materialets egenskaper i den påverkade delen av konstruktionen. Nedbrytningen kan ske på grund av fysikaliska eller kemiska processer samt av överlast eller utmattning av betongen.

Betong som har utsatts för inre frostsprängning kan utöver krackeleringssprickor och avskalning på ytan även ha drabbats av nedsatt hållfasthet och elasticitet. Hållfastheten har minskat då materialet brutits ned av mikrosprickor i betongen. I vissa fall syns inga tecken på ytan av en inre vittrad betong.

Kemisk nedbrytning kan ske som ett resultat av reaktioner mellan olika material i betongen, exempelvis vid alkalikisel – reaktioner då svällande produkter orsakar sprickbildning i betongen. Även annan typ av ballast kan reagera och förorsaka sulfatoxidation vilken kan fylla ut betongens porsystem och därmed spränga sönder cementpastan.

Mekanisk belastning kan orsaka en stegvis nedbrytning av en konstruktion då sprickor växer fram i områden som är utsatta för stora påkänningar. Mikrosprickor i ballastkorn och cementpasta sänker betongens hållfasthet och förändrar betongens beteende. Utmattning orsakad av många upprepade lastväxlingar, exempelvis vid snabba starter och stopp, ökar antalet mikrosprickor i materialet.

2.2.3.3 Hålrum

Hålrum kan uppstå inne i en betongkonstruktion som ett resultat av fel vid gjutningen på grund av bristfällig kompaktering. Det kan även uppstå vid kraftig nedbrytning exempelvis vid omfattande urlakning av betongen.

En mindre hålighet i betongen behöver inte ha någon betydelse för konstruktionens hållfasthet eller verkningssätt så länge det inte är lokaliserat i ett område med stora spänningar. Dock kan håligheter intill exempelvis armering underlätta initiering av korrosion.

2.2.3.4 Inneslutningar

Nedbrytning av betong sker ofta lokalt i en konstruktion och betongen runt omkring är mer eller mindre opåverkad, [7]. Ett nedbrutet område med förändrade materialegenskaper kan då bilda en inneslutning som avviker från den omkringliggande betongen.

En innesluten volym av nedbrutet material kan uppkomma vid urlakning av betongen kring en spricka. Materialet i anslutning till sprickan får en ökad porositet för att slutligen bilda en utvidgning av sprickan. Inneslutningar kan även förekomma i anslutning till frostsador, fel vid gjutning samt när konstruktionen utsätts för stora påkänningar, [7].

2.2.3.5 Spjälkning

Spjälkning, eller delaminering, karaktäriseras av att sprickor parallella med betongens yta uppstår vilket kan leda till att hela flak av betong lossnar. Orsaken till sådana delamineringar kan vara kraftig korrosion eller allvarliga frostsador. Vid armeringskorrosion uppstår expanderande restprodukter som kan orsaka en spjälkning av täcksiktet.



Figur 2.23 Spjälkning längs pelarkant förmodligen på grund av armeringskorrosion

2.2.4 Förekomst

Det har visat sig att förekomsten av skadad betong omfattar såväl stora och grova konstruktioner och konstruktionsdelar som mindre mer begränsade delar och anslutningar, [7]. I vattenkraftanläggningar verkar finnas vissa skadetyper som uppstår mer frekvent i vissa typer av konstruktionsdelar. Detta kan bero på att skadetyperna skiljer sig ifrån vad som är fallet med betong som förekommer i annan infrastruktur som kärnkraftverk och broar. En dammkonstruktion utsatt exempelvis för höga belastningar i form av ensidigt vattentryck, vattenströmningsfenomen som nötning och kavitation samt miljöpåfrestningar som fukt och frost, [11].

Undersökningar visar att de skadetyper som är mest frekventa är sådana som är visuellt synliga. Detta kan bero på att de besiktningar som genomförs idag i större utsträckning baseras på visuella inspektioner vilket innebär svårigheter att avslöja inre skador. Med instrumentbaserade metoder finns en större möjlighet att upptäcka inre skador samt deras omfattning och utbredning.

2.3 Kontrollmetoder

2.3.1 Övervakning

Övervakning av konstruktionsdelar i betong sker idag genom regelbundet återkommande översyn med hjälp av inspektioner och besiktningar samt genom mer fördjupade dammundersökningar (FDU). Övervakningen är en del i säkerhetsarbetet och innefattar såväl kontroll av anläggningarnas tillstånd som utvärdering av deras driftsäkerhet, [7].

Besiktningsarbetet som regelbundet utförs på anläggningarna kan räknas att ingå i den planmässiga kontrollen. Besiktningen utförs återkommande, normalt vart fjärde år, av betongkompetent personal. Förberedelser innan besiktning innefattar kontroll av ritningar, betongens ålder och tidigare vidtagna åtgärder. På plats sker sedan i första hand en visuell kontroll av yttre skador, indikationer på inre nedbrytning, kontroll av dränage och dylikt. Vid behov kan även urborring av betongkärnor göras för vidare analys i laboratorium.

Vid besiktningsarbetet kan det visas tecken på skador som ger anledning till en fördjupad översyn och en mer omfattande konditionsbestämning. Fördjupade kontroller kan även ingå som ett led i en säkerhetsvärdering av anläggningen i helhet. I en fördjupad undersökning ingår konditionsbestämning med utgångspunkt från en identifierad skadebild och analys av funktion och kvarstående livslängd, detta med avseende på de aktuella förutsättningarna. Tidigare utförda besiktningar analyseras och en särskild inspektion utförs. Inspektionen består av en visuell kontroll men kan även innefatta provtagning av betongen, mätning av rörelser, kartering av uppsprickning och läckageanalys.

Undersökningar med oförstörande provningsmetoder (ofp) kan göras av flera olika anledningar. Enligt [11], kan de delas in i fyra nyckelområden:

- Att fastställa en konstruktion/konstruktionsdels utformning (t ex att bekräfta överensstämmelse med konstruktionshandlingar).
- Att upptäcka yttre, inre eller begynnande skador i en konstruktion.
- Att karakterisera och kvantifiera redan identifierade skador.
- Att kontrollera genomförda reparationer.

2.3.2 Traditionella metoder för kontroll

I [7] beskrivs traditionella metoder för kontroll. De traditionella metoderna innefattar både förstörande och oförstörande kontrollmetoder.

2.3.2.1 Visuell kontroll

Vid visuell kontroll kan tecken på allvarlig nedbrytning av betongen upptäckas. Huvudindikationer på begynnande problem är fuktfläckar, kalkutfällningar, oväntade vinkeländringar eller deformationer samt rörelser hos strukturen som helhet. Dessutom är synliga defekter som sprickbildningar, krosszoner, porösa områden och nedbrytning, som avskalning, indikatorer på problem.

Utöver registrering av tecken på skada är en viktig del i en visuell kontroll att verifiera funktionen av de åtgärder som vidtagits för att skydda konstruktionen.

De problemindikatorer som framkommer vid en visuell inspektion dokumenteras genom beskrivning av skadans läge och utbredning. Omfattningen av skadan fastställs om möjligt genom mätningar av läckageflöden, tjocklek på kalkutfällningar, avskalningsdjup och karbonatiseringsdjup hos materialet. Vanligtvis är det svårt att dokumentera djupet på en spricka eller en zon av nedbrutet material, men detta kan vara avgörande för att bedöma hur allvarligt problemet är. Även ökad porositet och urlakning kan vara svårt att visuellt beskriva eller gradera.

2.3.2.2 Sprickmätning

Vid sprickkartering ingår i huvudsak registrering av sprickors läge, orientering och längd. Sprickmönstret ritas in på ritningar över konstruktionen. Viktigt är att bedöma om sprickorna är genomgående. Det är lämpligt att följa en sprickas rörelse under en längre tid då temperatur och last kan inverka på sprickans vidd.

2.3.2.3 Mätning av rörelser

Avvägning mot en konstruktions upplag kan vara ett sätt att få information om permanenta sättningar. Lodning kan enkelt ge information om exempelvis en monolit rör på sig. Verkningssättet hos en konstruktion som är sammansatt av flera konstruktionsdelar kan bedömas genom mätning av vinkeländringar i anslutningar. Extensometrar kan användas för mätning av rörelse i fogar.

2.3.2.4 Provborrning och laboratorieanalys

Genom att borra ur betongkärnor ur konstruktionen kan man för ett visst område få information om betongskiktets tjocklek, närvaro av delamineringar, materialets kondition och eventuella hålrum vid borrhålet.

Det är viktigt att urborrningen sker under kontrollerade former så att mesta möjliga information kan inhämtas gällande konstruktionens kondition. Mätningar, observationer och störningar protokollförs och materialet tas om hand på ett noggrant och säkert sätt. Laboratorieanalysen innefattar en visuell bedömning och verifierande av materialegenskaper genom förstörande provning. En granskning av materialets kvalitet baseras på materialets porositet, homogenitet, täthet, densitet, tryckhållfasthet och frostbeständighet. Nedbrytningsfenomen som graden av karbonatisering och urlakning samt saltinnehåll kan erhållas genom kemisk analys. Med hjälp av tunnslipsanalys kan betongens sammansättning studeras, t ex kan typen av ballast utläsas, cementpastans kvalitet bedömas samt luftporvolymen, porfördelningen och vattencementtalet bestämmas. Dessutom kan nedbrytningsfenomen som karbonatiseringsgrad och urlakningsgrad studeras.

2.3.2.5 Övriga hjälpmedel

Att oförstörande kontrollera betongens kvalitet i ytan kan enkelt göras med hjälp av en studshammare. Betongens hårdhet fås genom att avgöra återstudsens styrka när hammaren studsar tillbaka vid en stöt. Studshammaren ger endast kvalitativa mått på hårdheten men är i gengäld lätt att ta med och enkel att använda. Den används främst för att i fält identifiera områden med undermålig kvalitet på betongen.

Metoder som ger en bild av betongens kvalitet nära ytan är de med begränsat förstörande provning. Metoderna är relativt enkla och kan utföras i färdig konstruktion, men innebär även en lokal förstörelse av konstruktionens ytskikt. Principen är att belasta en liten betongvolym tills brott sker. Detta kan göras genom inskjutning av projektil (inträngningsprov), utdragning av ett koniskt prov samt avbrytning av ett cylindriskt element. Jämfört med studshammaren ger resultaten inte några väsentligt bättre möjligheter att bestämma hållfastheten.

Metoder för att mäta relativ fuktighet i betong kan avslöja porös, vattenbemängd och nedbruten betong. Fuktigheten avläses efter att jämvikt uppnåtts, men temperaturvariationer kan ge upphov till stora mätfel, [5].

Under vatten kan en videokamera användas för att studera en ytas beskaffenhet samt dokumentera yttre tecken på skada och ytskador. Videokamera kan även användas vid okulär besiktning av borrhål för att se sprickmönster eller andra typer av inre skador. Genom bomknackning finns en möjlighet att detektera ytliga delamineringar. Med hjälp av magnetometrar kan armeringens placering beträffande såväl läge som djup bestämmas.

2.3.3 Nya instrumentbaserade kontrollmetoder

I [7] och [11] beskrivs nyare metoder för att kontrollera betong. Metoderna är instrumentbaserade och kontrollerar betongen genom oförstörande provning. I följande kapitel sammanfattas dessa kort.

2.3.3.1 Introduktion

Ett antal olika angreppssätt är tänkbara i valet av metod för att kontrollera betong i anläggningar. Mätningarna kan grunda sig på flera olika fysikaliska grundprinciper och kan utföras med olika typer av mätutrustningar. Valet är också beroende på storleken och formen hos den konstruktionsdel som ska kontrolleras.

En grundläggande indelning kan vara att utgå ifrån de fysikaliska förändringar som kan detekteras. Vid svängningsmätningar studeras hela konstruktionens rörelser vid naturlig eller påförd belastning. Vid vågutbredningsmätningar undersöks mekaniska och elektromagnetiska vågrörelser i ett medium. Strålningsmätningar baseras på högfrekvent elektromagnetisk vågutbredning. Andra metoder bygger på mätningar av värmekonduktivitet, magnetiska fält och elektriska fält.

En del metoder är lämpliga för kontinuerlig övervakning andra kan endast användas vid enstaka mättillfällen, [11]. Metodiken vid avsökning varierar beroende på vad respektive metod klarar av. Vissa utrustningar är utformade för mätningar i en viss punkt andra för mätningar över en hel yta. Med hjälp av så kallad skannerteknik kan till och med en hel volym studeras.

Fältmässigheten, det vill säga enkelheten vid användandet i fält, varierar för metoderna. På mätutrustningen kan ställas krav som att den är snabb, tillförlitlig, kompakt, robust, vattentät, strömsnål samt har låg vikt och är enkel att hantera.

2.3.3.2 Svängningsmätningar

Vid svängningsmätningar utnyttjas att för en viss frekvens uppstår resonans i en begränsad kropp med specifika materialegenskaper. När dessa materialegenskaper ändras, på grund av exempelvis en spricka eller inneslutning av annat material, förändras även kroppens egensvängningsfrekvens (resonansfrekvens). För att kunna använda mätningar av en provkroppens egensvängning kan mätningarna översättas och jämföras med en modellerad provkropp.

Vid svängningsmätning sätts provkroppen i svängning och den dynamiska responsen, det vill säga egenfrekvensen och dämpningen, mäts. Dessa parametrar översätts till teoretiska modala parametrar, egensvängningsfrekvenser, dämpfaktorer och former för egenmoderna, med hjälp av signalanalys för att sedan kunna jämföras med de rumsliga egenskaperna i en modellerad provkropp. De rumsliga egenskaperna massa, styvhet och dämpning är grunden i den strukturella modell som byggs upp i elementform med hjälp av Finite Element Metod (FEM).

De förändringar i modala parametrar som kan förväntas av en skada är t ex att egenfrekvenserna skiftar nedåt med ökande skada och att dämpning ökar, [7]. Mätfel kan uppstå på grund av t ex störande vibrationer vid mätning. För dammkonstruktioner har mätnoggrannheten verifierats och bedömts mycket god. Vidare kan fel uppstå i signalanalysen då den dynamiska responsen översätts till modala parametrar.

Tre möjliga varianter till experimentella studier av konstruktioners svängning finns:

- Bestämning av strukturens svängningsnivåer under naturliga belastningar, det vill säga mätningar görs för att uppskatta påkänningar i konstruktionen vid drift.
- Kända exciteringar (påtvungad svängning) sätter strukturen i svängning vilket gör att strukturens svängningsbeteende och modeller för detta kan verifieras. Två problem kan ställas upp: analysproblemet och syntesproblemet, [7]. Vid lösning av analysproblemet fås strukturens rörelser genom att laster och ett modellerat system är kända. I syntesproblemet fås systemets dynamiska egenskaper, egenfrekvens och dämpning, genom att laster och uppmätta rörelser är kända.

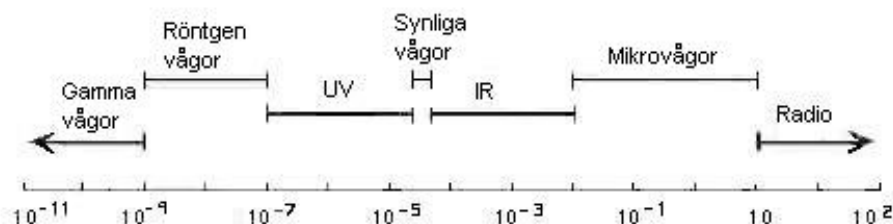
Det är i första hand syntesproblemet som ligger till grund för metoder för tillståndskontroll. Tre metoder för tillståndskontroll presenteras i [7]:

- Dynamisk responsmätning
- Experimental Modal Analysis (EMA)
- EMA med uppdatering med FEM

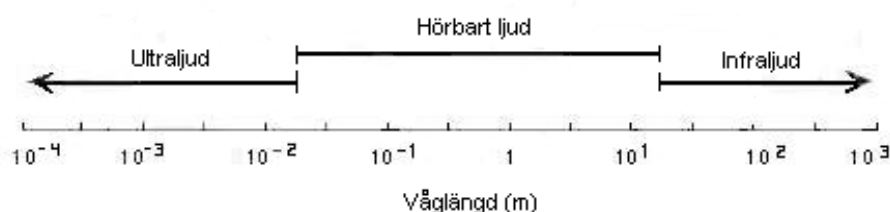
2.3.3.3 Vågutbredningsmätningar

Vid vågutbredningsmätningar studeras den vågrörelse som uppstår då en lokal svängning fortplantas genom ett medium. Det finns två typer av vågrörelser som är användbara som grund för mätning, [7]. Dels finns mekaniska vågor som uppkommer då en partikel rubbas ur sitt jämviktsläge och sedan genom mekanisk påverkan flyttar rörelsen vidare genom materialet. Mätmetoder som baseras på mekaniska vågor

använder utrustning som avger och mäter akustiska stötvågor. Dels finns elektromagnetiska vågor som fortplantar sig som en svängning i elektrisk fältstyrka och reflekterar förändringar i elektrisk ledningsförmåga. Vid vågutbredningsmätningar studeras de elektromagnetiska vågor som finns i ultrakortvågsområdet som ligger ovanför de vanliga radiofrekvenserna och mäts med hjälp av radar. Vid strålningsmätningar betraktas de elektromagnetiska vågor som uppstår genom gammastrålning vilket sker i frekvenser ovanför de för ultraviolett ljus, se kapitel 2.3.3.4 Strålningsmätningar nedan.



Figur 2.24 Våglängder i det elektromagnetiska frekvensspektrat



Figur 2.25 Våglängder i ljudets frekvensspektra.

En vågs styrka och därmed amplitud dämpas när vågen fortplantar sig genom ett material. Dämpningen utgörs av materialets absorption som ger en dämpning av vågfältets penetration samt av spridning av vågorna som orsakas av reflektioner mot små diskontinuiteter i vågens utbredningsriktning. Vid val av mätmetod och utrustning måste hänsyn tas till materialets absorption.

Vid vågutbredningsmätningar utnyttjas fenomenet att reflekterande vågor uppkommer vid diskontinuiteter i materialet eller i gränssnitt mellan olika material. Mätmetoderna går då ut på att analysera tiden det tar för ekot att nå ytan då vågens utbredningshastighet är känd.

Avgörande för den reflekterande vågens styrka är skillnaderna i materialens impedans, z . Den akustiska impedansen är indirekt beroende av ett materials densitet och elasticitetsmodul vilket medför att en akustisk (mekanisk) våg kan reflekteras där dessa ändras. Inneslutningar av nedbrutet material kan ha ändrade materialegenskaper eller ökad porositet och därmed orsaka reflexer, [7]. Luftfyllda hålrum, dvs gränssnittet mellan betong och luft, ger nästan total reflektion medan vattenfyllda hålrum, gränssnittet mellan betong och vatten, kan förväntas reflektera nästan 70 % av den infallande vågens energi. Vid armering, gränssnittet mellan betong och stål, är

reflektionen också nästan 70 %. Skador på grund av frost och alkalikiselsyra – reaktioner kan analyseras med hjälp av exempelvis SASW (se nedan), [14]. Rayleigh – och tryckvågor avslöjar utbredningen av inre sprickbildningar och porositet i betongen.

Den elektriska impedansen är frekvensberoende och bestäms av dielektricitetsstalet, den magnetiska susceptibiliteten och i viss mån den elektriska konduktiviteten, [7]. Reflektioner kan ske där förändringar i vattenkvot, joninnehåll och eventuellt elektriskt ledande komponenter, som armeringsjärn, finns. Dessa kan ses som diskontinuiteter där variationer i radiovågshastighet uppstår. De elektromekaniska vågorna reflekteras vid inneslutningar eller vid gränssnitt mellan olika material. Starkt nedbruten och porös betong reflekterar först när den är vattenbemängd. Även fuktig betong med salter kan ge reflexer. Vattenfyllda hålrum och armeringsjärn reflekterar ca 60 % av den elektromagnetiska vågens energi och ca 45 % reflekteras vid luftfyllda hålrum. Penetrationen i materialet beror till stor del på vågens frekvensinnehåll och materialets ledningsförmåga. Högre frekvenser och material som anses vara goda ledare minskar penetrationen.

Följande vågutbredningsmetoder, som presenteras närmare i [7], är för närvarande utvecklade och kan användas vid kontroll av betongkonstruktioner i vattenkraftanläggningar:

Kontrollmetoder med hjälp av stötvågor (mekaniska vågor):

- Ultra Pulse Velocity (UPV)
- Ultra Pulse Echo (UPE)
- Seismic Echo (SE)
- Impact Echo (IE)
- Impulse Response (IR)
- Spectral Analysis of Surface Waves (SASW)
- Quantitative Ultrasonics (QU)
- Acousto Ultrasonics (AU)
- Acoustic Emission (AE)
- Cross-hole Sonic Log (CSL)
- Ultraljudstomografi

Kontrollmetoder med hjälp av elektromagnetiska vågor:

- Ground Penetrating Radar (GPR)
- Flerantenn system för radarmätning (MRS)
- Radar scanner system (SARA)
- Radartomografi

2.3.3.4 Strålningsmätningar

Vid strålningsmätningar används elektromagnetiska vågor i mycket höga frekvenser. Vid dessa mätningar studeras inte vågornas eventuella reflektion, refraktion eller frekvens utan det är strålningsintensiteten som är av intresse. Strålningsintensiteten minskar med materialets absorption vilket i sin tur beror på materialets porositet och täthet. Beroende på hur strålkällan utformas och hur strålningen tas emot kan

intensiteten genom konstruktionen mätas. Därmed kan det avgöras om det finns håligheter eller materialskillnader i konstruktionen. Även armeringsjärn kan upptäckas.

Följande kontrollmetoder är baserade på radioaktiv strålning och används för strålningsmätning och finns presenterade i [7]:

- Gammagrafi
- Radiografi; exempelvis High Energy Computed Radiography (HECR).
- Radioskopi

2.3.3.5 Termografi

Vid termografianalys mäts variationer i värme, dvs infraröda strålning, som avges från ett objekt. Genom att veta ett visst materials värmeledningsförmåga (värmekonduktivitet) kan variationer i avgiven värmestrålning avslöja avvikelser i materialets homogenitet. Metoden kan användas genom att aktivt skapa en värmegradient eller passivt med en värmegradient som uppkommer naturligt, [11]. Metoden kan användas för att kontrollera en konstruktions täthet – och isoleringsegenskaper och därmed hitta hålrum och delamineringar. Metoden används även för att indikera läckvägar i en konstruktion med ensidigt vattentryck med avvikande temperaturer mellan upp – och nedströmssida, [5].

2.3.3.6 Mätning av magnetiska fält

De magnetiska kontrollmetoderna används till största del för att verifiera armeringens läge och täckskiktets tjocklek. Dock utvecklas nya typer av mycket känsliga magnetiska sensorer som kan känna av mycket små variationer i magnetisk fältstyrka.

2.3.3.7 Elektriska metoder

De elektrokemiska metoderna baseras på mätningar av potentialer, strömmar eller elektromagnetiska fält som antingen förekommer naturligt eller skapas genom en extern källa. Andra metoder baseras på den elektriska resistivitet som finns i betongen. Beroende på betongens porositet, mängden vatten i betongens porer och porvattnets resistivitet kan svar fås om betongens fukttillstånd och kopplingar till armeringens kondition, [5].

De flesta metoderna ger i huvudsak svar på armeringens korrosionsutveckling. Andra metoder används för exempelvis täckskiktetsmätning med hjälp av elektromagnetism.

Kontrollmetoder för mätning med hjälp av elektricitet:

- Potentialmätning (Galvanostatic pulse method)
- Polarisationsresistans
- AC-impedans
- Resistivitet
- Fuktmätning
- Täcksiktetsmätning (Covermeter)

2.3.4 Tillståndskontroll

Tillståndskontroll av betong går ut på att fastställa det fysiska tillståndet för konstruktionen, [8]. I ett första steg kan metoder ge indikation om i vilka lägen konstruktionen uppvisar störst sannolikhet för att vara skadad. Nästa steg är att med metoden detektera att någon typ av skada föreligger. För att kunna bedöma det fysikaliska tillståndet behövs därefter läget för defekten och dess storlek bestämmas. En övre nivå på resultat från mätningar skulle kunna vara att bestämma skadetyper och grad av skada med hjälp av någon kontrollmetod.

2.4 Problemställningar

Utifrån olika referenser redovisas nedan en sammanställning av problemställningar där mätningar kan utföras med hjälp av icke-förstörande provning. Problemställningarna är intressanta ur och anpassade för att användas vid kontroll av betong i vattenkraftanläggningar. Följande referenser har exempel på teoretiska eller praktiska tillämpningar av icke-förstörande provningar:

- Utvärdering av befintliga metoder för oförstörande provning av betong i kraftanläggningar, Christian Bernstone, [11].
- A practical Guide to Non-Destructive Testing of Concrete Structures, P. Shaw och J. Rasmussen, [14].
- Non-Destructive Testing of Concrete in Structures, http://www.mint.gov.my/PRODUCTS/BTI/nde/Ndt_Concrete_details.html, Malaysian Institute for Nuclear Technology Research, [15].
- Tillståndskontroll av betong i kraftanläggningar, Ulrika Wiberg, [7].
- Möjligheter till kontroll av betongkonstruktioner med oförstörande mät- och utvärderingsmetoder, Ulrika Wiberg, [8].
- Galvanostatic Pulse Method, Thomas Frölund, [16].
- Mätning och utvärdering av broars tillstånd, bilaga 1, Karin Pettersson, [5].

Nedan ges en kort förklaring till problemställningen, rekommenderade metoder som kan användas utifrån respektive referens samt eventuella krav som ställs på metoden. Sammanställningen är inte heltäckande och bör användas som en första överblick över befintliga metoder för respektive problemställning. Erfarenheten att använda vissa metoder för några av problemställningar är i vissa fall knappa men har ändå tagits med då potentialen finns (PF) för dessa metoder.

Ett förtydligande av terminologin kan behövas. Fotografi innebär mätning av synligt ljus, termografi av infraröd strålning och radiografi av röntgenstrålning. Vid tomografi undersöks ett visst skikt i en kropp.

2.4.1 Mätning av öppna sprickor

Mätning av öppna sprickor vilka är vinkelräta mot betongens yta. Sprickornas utbredning (u), vidd (v) och djup (d) kan mätas.

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[11, problem 1]	UPV, UPE, IE, SASW, AE (PF)
[14]	SASW, UPE, IE

[15]	Termografi (u), Fotografi (u,v), Ultraljud (d)
[7]	
[8]	GPR, SE, IR, IE, UPV, Svängningsmätning

2.4.1.1.1.1.1 Krav

[11, problem 1]	Sprickdjup > 1 dm.
-----------------	--------------------

2.4.2 Mätning av läckage genom sprickor (Elforsk Rapport 99:45)

Vatten tränger in i och rör sig genom konstruktionen. Detta kan uppstå vid ensidigt vattentryck och det finns då möjlighet att mäta läckaget på den torra sidan.

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[11, problem 2]	Termografi (PF), AE (PF)
[7]	Termografi
[5]	Termografi

2.4.3 Verifiering av injekteringsbruks inträngning (Elforsk Rapport 99:45)

Hålrum och sprickor kan injekteras med olika typer av injekteringsmedel. Beroende på medlet finns möjligheter att detektera dessa och verifiera dess utfyllning av sprickor. I [11, problem 8] konstateras att potential finns för vissa metoder vad gäller denna problemställning, speciellt om de används i kombination. Dock är försöken i [11, problem 8] utformade så att mätningar genomförs före, efter och under tiden för själva injekteringsarbetet för att på så vis verifiera den utförda reparationen. Likväl finns potential att hitta hålrum och sprickor efter utförd injektering med hjälp av oförstörande provningsmetoder.

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[11, problem 8]	Ultraljudstomografi (PF), Radarskanner (PF), IE (PF), Röntgen (PF)

2.4.4 Mätning av hålrum och inneslutningar

Endast i referens [11] görs skillnad på luftfyllda hålrum och vattenfyllda hålrum samt hålrum med förändrade materialegenskaper. I övriga referenser antas att ett hålrum (void/honeycombing) är en luftfylld hålighet. Mätningen innebär både lokalisering och storleksbestämning av hålrum eller inneslutning.

2.4.4.1 Luftfyllt rum

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[11, problem 5]	IE, SASW, Radar, Högenergiröntgen, UPE (PF)
[14, test 2]	Radiografi, UPE, IE, SASW, Radar
[15]	Termografi, Radar, Ultraljudsmätning, Radiografi
[7]	Termografi

[8]	GPR, SE, IR, IE, UPV, Termografi, Radioaktivitet
[5]	Termografi

2.4.4.2 Vattenfyllt rum

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[11, problem 6]	IE, SASW, Radar, Högenergiröntgen, UPE (PF)
[7]	Termografi
[8]	GPR, SE, IR, IE, Termografi
[5]	Termografi

2.4.4.3 Förändrade materialegenskaper

I en konstruktion kan finnas zoner med porös och fuktig betong på grund av exempelvis frostsprängning eller alkalisk – reaktioner.

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[11, problem 4]	UPV (PF), IE, SASW, Radar, Resistivitet
[11, problem 7]	IE, SASW, Radarskanner, Resistivitet, Termografi
[14]	SASW, UPV, IE

<u>Krav</u>	
[11, problem 4]	Område med nedbrutet material i anslutning till ytan. Alla dimensioner > 1 dm.
[11, problem 7]	Område med egenskaper som skiljer sig från konstruktionen i övrigt. Alla dimensioner > 1 dm. Avstånd från ytan > 1dm.

2.4.5 Mätning av delaminering/spjälkning

Mätning av sprickor som finns parallellt med ytan.

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[11, problem 3]	UPE, IE, SASW, Radar, Radarskanner
[15]	Termografi, Radar, Ultraljudsmätning
[8]	GPR, IR, IE, SASW, UPV, Svängningsmätning
[5]	Termografi

2.4.5.1.1.1.1 Krav

[11, problem 3]	Djup till spricka > 1dm Sprickhöjd > 5 dm Spricklängd >> 5 dm
-----------------	---

2.4.6 Mätning av betongtjocklek

2.4.6.1 Konstruktionstjocklek, exempelvis balk

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[11, problem 10]	IE, SASW, Radar, UPE (PF)
[14, test 1]	Radiografi, UPE, IE, SASW, Radar
[15]	Ultraljudsmätning, Radiografi
[8]	GPR, IR, IE, SASW
[5]	Radar

2.4.6.2 Tjocklek av betong gjuten mot berg

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[11, problem 11]	IE, SASW, Radar, UPE (PF)
[8]	SASW

2.4.7 Mätning mot armering

Mätningar kan utföras mot armering och ingjutna kabelrännor.

2.4.7.1 Mätning av läge och storlek

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[14, test 3]	Covermeter, Radar, UPE, Radiografi
[15]	Radar, Ultraljudsmätning, Radiografi, Magnetism eller elektromagnetism
[8]	GPR
[5]	Täckskiktsmätning, Röntgen

2.4.7.2 Korrosion

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[14]	Radiografi
[15]	Radiografi, Magnetism eller elektromagnetism, potentialmätning
[7]	Potentialmätning, Polarisationsresistans, Resistivitet
[8]	Potentialmätning, Polarisationsresistans, Resistivitet
[16]	Galvanostatic Pulse Method (Potentialmätning)
[5]	Potentialmätning, Polarisationsresistans

2.4.8 Mätning av betongens egenskaper

Fastställandet av betongens hållfasthet och elasticitet som sannolikt blir sämre då materialet bryts ned. [7] anger metoder som kan bedöma *uniformitet relativt inom en konstruktion*, vilket antas påverka hållfasthet och elasticitet. [8] anger metoder för att detektera porositet och nedbrutna skikt vilket antas kunna avgöra både hållfasthet och elasticitet.

2.4.8.1 Betongens styrka/hållfasthet

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[14]	Mekaniska vågor, Radar, Radiografi
[15]	Rebound hammer, Ultraljudsmätning
[7]	UPV, IR
[8]	SE, SASW, UPV, Termografi, Radioaktivitet
[5]	Resistivitet

2.4.8.2 Betongens elasticitet (Elasticitetsmodul)

<u>Referens</u>	<u>Metod</u>
[14]	UPE, IE, SASW
[15]	Ultraljudsmätning
[7]	UPV, IR
[8]	SE, SASW, UPV, Termografi, Radioaktivitet
[5]	Resistivitet

2.5 Speciella förutsättningar för betong i vattenbyggnads konstruktioner

Nedan beskrivs några speciella förutsättningar som påverkar betongens beständighet. Dessa råder speciellt vid vattenbyggnadskonstruktioner och eventuellt andra anläggningskonstruktioner som broar och tunnlar. Dock sällan för betong i hus för kontor och bostäder.

2.5.1 Ensidigt vattentryck

Vissa betongkonstruktionsdelar kan få utstå ett ensidigt vattentryck då en sida av konstruktionen gränsar mot vatten och de andra sidorna mot luft eller angränsande konstruktionsdelar. När vattnet transporteras från den ena sidan till den andra löses cementpastan/kalket upp och transporteras med. På detta sätt urlakas betongen på kalk vilket gör att betongen kan få försämrade hållfasthets- och beständighetsegenskaper. Urlakning kan även ske genom diffusion, [1]. En annan trolig konsekvens av ensidigt vattentryck vid exempelvis vattenkraftkonstruktioner är en ökad risk för sprickpropagering. I en vattenfylld spricka i exempelvis en uppströms vägg antas att det skapas en temperaturgradient mellan det kalla vattenfyllda utrymmet och den varma maskinsalen. Därmed skulle vattnet närmast maskinsalen kunna värmas upp och expandera vilket skulle kunna medföra ökade sprickbredder i väggen. Konstruktionsdelar som kan få utstå ensidigt vattentryck är monoliter i dammar, vägg mellan turbinutrymme (vattenfyllt) och maskinsal samt andra väggar i ett kraftverk.

2.5.2 Generatorinfästningar/Undergjutningar

Betongkonstruktioner i anslutning till en generator utsätts för krafter av olika slag. Krafterna är delvis generatorns med tillhörande komponenters egentygnd men också dynamiska krafter som uppstår i och med generatorns egensvängning. Dynamiska krafter kan genereras på grund av generatorns egenfrekvens, vid start och stopp samt då oregelbundna svängningar uppstår på grund av fel i generatorn. Dynamiska krafter behöver inte innebära några problem för betongkonstruktioner som är dimensionerade

för dem. Dock utsätts betongen och armeringen för utmattning och en försämrad vidhäftning mellan generator och fundament kan leda till ökade rörelser i konstruktionen. Om det uppstår sprickor kan sekundära skador göra sig gällande exempelvis läckage och kalkutfällningar.

2.5.3 Anslutning berg – betong

Det finns ett intresse av att inspektera en konstruktions kontaktyta mellan berg och betong. Detta för att se om kontakten mellan ytorna fortfarande är intakt efter gjuttillfället. Det kan tänkas att anslutningen har spruckit upp och att läckage har initierats, speciellt om det av någon anledning uppkommit dragkrafter i snittet mellan berg och konstruktion. Även om en konstruktion är förankrad i berget och därmed dimensionerad för att uppta dragkrafter, skulle det vara av intresse att se om anslutningen är intakt. Vidare är det intressant att studera förankringens kondition med avseende på korrosion, vidhäftning mot berg, etc.

2.5.4 Fogar

Gjutfogar och dilationsfogar finns inte bara i vattenbyggnadskonstruktioner. Dock kan konsekvenserna bli ganska omfattande då en gjut- eller dilationsfogs kondition eller funktion är bristfällig. En undermåligt utförd gjutfog kan innehålla håligheter eller utgöras av porös betong. Detta kan leda till läckage och omfattande urlakning av betongen.

Dilationsfogar är fogar som skall tillåta rörelser av konstruktionsdelarna, detta utan att läckage uppstår. Dilationsfogarna i exempelvis Månsbo kraftverk är konstruerade så att väggarna har bestrukits med asfalt och en tätningsplåt har gjutits in mellan väggarna. Det är av intresse att se om dessa är intakta efter lång tid.

2.5.5 Reparationer

Reparationer vid vattenbyggnadskonstruktioner blir speciella då syftet med dem inte enbart är ur belastnings- eller stabilitetssynpunkt. Andra reparationer blir nästa alltid utsatta för vattentransport med varierande vattentryck och bör därmed vara beständiga mot detta. Reparationer av exempelvis sprickor och läckage bör vara beständiga mot ensidigt vattentryck.

2.6 Undersökningsmöjligheter

Nedan presenteras olika möjligheter som kan vara intressanta vid undersökning och utvärdering av betong i äldre vattenbyggnadskonstruktioner. Sammanställningen är utarbetad med hjälp av kunskaper och erfarenheter från människor inom branschen. En workshop anordnades under våren 2005 vid Vattenfall Utveckling i Älvkarleby där specialister med betongkompetens från Vattenfall Utveckling samt representanter från konsultföretag med specialistkunskaper om oförstörande provning diskuterade möjligheterna vid Månsbo kraftverk. Vid workshopen behandlades intressanta skadefenomen, relevanta konstruktionslösningar och möjligheter till oförstörande provning.

2.6.1 Verifiering av OFP-metoder som hjälpmedel

Verifiering av olika provningsmetoders möjlighet till detektering och kvantifiering av olika skador, variation hos betongens egenskaper, etc. Flertalet konstruktionsdelar med olika förutsättningar skulle kunna undersökas. Genom att utföra provning på olika konstruktionsdelar kan metoderna utvärderas i fråga om genomträngningsförmåga, upplösning, störningsmekanismer, tillgänglighet, etc.

2.6.2 Verifiering av korrelationen mellan olika provningsmetoder

Jämförande provning med olika metoder med avseende på olika parametrar för verifiering av korrelationen mellan dem. Ett flertal förutsättningar styr hur de olika metoderna kan jämföras med varandra. Exempelvis är konstruktionens volym, armeringstäthet, tillgänglighet, närvaro av fukt och provningsmetodens fysikaliska princip avgörande. Metoderna kan vara både förstörande och oförstörande.

2.6.3 Verifiering av konstruktionslösningars funktion efter mycket lång tid

Undersökning av konstruktionslösningars tillstånd och funktion med avseende på olika parametrar. Även konditionen hos materialen. Exempelvis dilations- och gjutfogars tillstånd efter mycket lång tid.

2.6.4 Verifiering av reparation utförd efter lång tid

Verifiering av reparation med avseende på kondition, funktion, livslängd, etc. Även verifiering av vilka eventuella miljöfaktorer och laster som påverkar konstruktionsdelen. Exempelvis kan gjutfogar hos pågjutningar och injekteringar undersökas. Intressant är att undersöka utförd injektering med avseende på omfattning av injektering, inträngningsdjup, hållfasthet, beständighet, metod, etc. Även kan undersökas om faktorer som ensidigt vattentryck, nivåskillnader eller typ av sprickor inverkar på injekteringar efter lång tid. Det är även av intresse att utvärdera olika oförstörande metoders lämplighet att undersöka utförda reparationer.

Möjligheten finns att undersöka injekteringsbruks inträngningsförmåga i sprickor med hjälp av ultraljudstomografi, radarskanner, IE och röntgen.

2.6.5 Undersökning av betongkvalitet

Undersökning av och variation hos betongens egenskaper som porositet, densitet, hållfasthet, elasticitet, ballaststorlek, armeringsinnehåll, etc. Möjlighet finns att avgöra korrelationen mellan elasticitetsmodul – tryckhållfasthet – ljudhastighet.

För att undersöka betongens porositet, hållfast och elasticitet skulle svängningsmättningsmetoder kunna användas, som radar, UPV, UPE, SE, IR, SASW. Även olika typer av strålningsmätning, termografi, resistivitetsmätning och utborrning av betongkärnor är aktuella. För undersökning av armering kan UPE, radar, radiografi och magnetiska metoder användas.

Fastställandet av om och hur betongens kvalitet varierar inom konstruktionsdelen. Exempelvis kan undersökas om hållfastheten varierar i höjd- eller djupled i en vägg

som utsätts för ensidigt vattentryck. 2 – 3 väggpartier skulle kunna utvärderas och jämföras. Även kan undersökas vilken inverkan urlakning har på betongens hållfasthet.

2.6.6 Relativundersökning av konstruktionsdelar

Jämförande undersökning av olika konstruktionsdelars, exempelvis väggar, kondition vid olika förutsättningar. Exempelvis jämförelse av olika väggar/väggpartiars kondition vid till synes olika status (olika mycket sprickor, olika sprickvidder, etc.).

2.6.7 Undersökning av sprickor

Undersökning av konstaterade sprickor kan ske på olika konstruktionsdelar med avseende på olika parametrar. Undersökningen kan exempelvis ske på olika nivåer i en vägg samt där olika skador är synliga. Intressant är att se hur sprickorna ser ut i exempelvis en vägg som är utsatt för ensidigt vattentryck. Även vid generatorfundament, vilka antas utstå lastväxlingar vid start och stopp av turbinerna, kan eventuella synliga sprickor studeras. Sprickorna kan röra på sig eller vara inaktiva samt vara vattenförande eller torra.

Om sprickor upptäcks i en konstruktionsdel är det av intresse att se dess läge, utbredning och omfattning vid olika nivåer och djup i väggen. Samtidigt som eventuella sprickor undersöks kan den hydrostatiska tryckfördelningen mätas och eventuella självläkta sprickor undersökas.

Sprickor kan undersökas med hjälp av UPV, UPE, SE, IE, IR, SASW, radar och utborrning av betongkärnor. Vattenförande sprickor kan även undersökas genom termografi.

2.6.8 Undersökning av sprickor med hjälp av övertryck

Genom att skapa ett övertryck med hjälp av vatten kan sprickmönster och sprickutvidgning studeras.

2.6.9 Undersökning av sprickors förmåga till självläkning

Undersökning om självläkning har skett där sprickor med urlakning finns. Sprickors benägenhet att läka av sig själva ökar med minskat sprickdjup, [1]. Olika beräkningsmodeller kan användas för att verifiera sprickbredd, kalkutfällning och läckage.

2.6.10 Undersökning av sprickförekomst

Undersökning av sprickförekomst vid konstruktionsdelar som förmodas ha varit utsatta för dynamiska laster. Fundamenten för generatorerna är intressanta att undersöka eftersom de antas utstå lastväxlingar dels under generatorernas ordinära drift samt vid start och stopp av turbinerna. Exempelvis antas sprickor kunna uppstå kring armeringsjärnen vid generatorfundamenten.

2.6.11 Undersökning av hydrostatisk tryckfördelning

Undersökning av det hydrostatiska trycket i en vägg som har vatten på ena sidan. Intressant skulle vara att analysera korrelationen mellan det hydrostatiska trycket, meter vattenpelare, frekvens av sprickor och variationer i kalkkoncentration i väggens

tjocklek. Detta skulle kunna ske på olika nivåer i väggen samt där olika skador är synliga.

2.6.12 Verifiering av kontakten/vidhäftningen mellan berg och betong

Undersökning kan ske av gränssnittet mellan berg och betong med avseende på kondition, vidhäftning, injekteringar, förankringsjärn, etc. Undersökningen skulle kunna utföras genom: oförstörande provningsmetoder, urborring av betongkärnor och observation med hjälp av titthålskamera, (BIPS).

Gränssnittet mellan berget och betongen skulle kunna ses som en fysisk förändring i materialet. Detta kan detekteras med hjälp av UPV, UPE, IE, SASW, radar, termografi och röntgen.

2.6.13 Verifiering av konstruktionslösning: injektering – spännstål

Där sådan lösning finns, eventuellt i kontakten mellan betong och berg. Verifiering skulle kunna ske av parametrar som omfattning av injektering, injekteringsdjup, vidhäftning, hållfasthet, beständighet, etc.

2.6.14 Verifiering av erosion/frostsprängning

Verifiering och undersökning av skador eventuellt orsakade av frostpåverkan med eller utan erosion. Det är troligt att exempelvis utloppspelarna får utstå frostsprängning och eventuellt erosion på grund av strömmande vatten under och i vattenlinjen. Skador som krackeleringssprickor och avskalning kan då uppstå vilket kan medföra att armeringen friläggs och korrosion initieras.

2.6.15 Undersökning av armeringskorrosion

Undersökning om armeringskorrosion har skett i utvald konstruktionsdel. Parametrar att utvärdera vid konstaterad armeringskorrosion skulle kunna vara omfattning av korrosion, orsakande mekanismer, aktuellt täckskikt, omfattning av sprickor, miljö, laster, etc.

Metoder för att mäta läge och storlek av armering kan vara UPE, radar, täckskiktmetare, radiografi, GPM samt magnetiska metoder. För att avgöra armeringens korrosionsutveckling kan metoder som radiografi, potentialmätning samt mätning av polarisationsresistans och resistivitet användas.

3 Besiktning av Månsbo kraftverk och Avesta Storfors dammar

Den praktiska genomgången av Månsbo kraftverk, för detta examensarbete, gjordes i slutet av oktober 2004. Besiktningen bestod i en okulär inspektion av betongkonstruktionsdelar som bedömts intressanta hos de olika dammdelarna och Månsbo kraftverk, se kapitel 4. Skadorna och den förmodliga orsaken till respektive skada antecknades och fotograferades. I vissa extra intressanta eller mer ovanliga skadefall noterades extra information, som skadans omfattning och utbredning.

Vissa begränsningar avgjorde omfattningen på detta examensarbete och därmed fanns inte möjligheten att genomföra en mer noggrann besiktning. Dels räckte tid och ekonomiska resurser endast till en mer övergripande okulär besiktning av konstruktionsdelarna dels kunde endast besiktning ske av de delar som var tillgängliga då anläggningen var i drift. Därmed fanns ingen möjlighet till någon mer fysisk genomgång av konstruktionsdelarna, som t ex urtagning av betongkärnor eller inspektion med hjälp av oförstörande provningsmetoder. Examensarbetet har avgränsats till att enbart omfatta Månsbo kraftverksbyggnad.

Vid besiktningen konstaterades ett flertal olika typer av skador. Bedömningen är att sprickor och kalkutfällningar ur sprickor eller gjutfogar var de vanligaste skadetyperna. Kalkutfällningar förekommer i väggar och andra konstruktionsdelar vilka är utsatta för ensidigt vattentryck. Andra skador som observerades var läckage och vittrad betong samt antydning till frostsprängning och erosion vid utloppspelarna. På ett flertal ställen i kraftverket syns brunaktig färg på konstruktionsdelarna. Speciellt bra syns detta där kalkutfällningar förekommer samtidigt. Författaren är inte övertygad om detta är tecken på armeringskorrosion då betongspecialister inom Vattenfall Utveckling AB menar på att så behöver inte vara fallet. Järn eller andra ämnen som fällt ut i vattnet och alkalisk – reaktioner kan exempelvis också avge brunaktiga avlagringar. Provning av materialet kan avgöra frågan.

3.1 Workshop

Med den praktiska genomgången genomförd kunde de konstaterade skadorna vid Månsbo kraftverk kopplas samman med de kontrollmetoder för provning i betong som finns idag. I arbetet med framtagandet av möjligheter till kontroll av skador/betong utvärderades de olika provningsmetoderna, tillgängligheten samt vad som ansågs praktiskt möjligt vid ett tidsbegränsat provningsförfarande.

För att få en professionell syn på möjligheterna vid Månsbo kraftverk anordnades en workshop av Vattenfall Utveckling AB i februari 2005. Vid tillfället deltog specialister inom betongteknik samt representanter från konsultföretag vilka erbjuder tjänster inom oförstörande provning. Vid tillfället diskuterades intressanta skadefenomen, vilka möjligheter till provning som finns samt vilka konstruktionsdelar och konstruktionslösningar som är relevanta att undersöka närmare.

3.2 Framtagandet av förslag till provningsförfarande

I kapitel 4 Möjligheter till provning redovisas flertalet intressanta konstruktionsdelar i kraftverket. För varje konstruktionsdel redovisas troliga skadefenomen, tillgänglighet, aktuella möjligheter till provning och eventuellt andra intressanta uppslag. Syftet med examensarbetet är att fastställa vilka provningsmetoder och konstruktionsdelar som skall undersökas närmare vid rivningen av Månsbo kraftverk. Detta redovisas i kapitel 5 Resultat. Endast ett fåtal konstruktionsdelar och provningsmetoder kommer att hinnas med att undersökas respektive utvärderas då tiden för rivningsarbetet kommer att vara kort och de ekonomiska resurserna är begränsade.

Provning av konstruktionsdelar i betong vid Månsbo kraftverk och eventuellt Avesta Storfors dammar bör ske innan och i samband med rivningen av desamma. Under rivningens olika etapper byggs fångdammar framför inlopp och dammar vilket gör att monoliter och de vattenfyllda utrymmena i kraftverket kan studeras. Det finns då möjlighet att utföra provning på konstruktionsdelar i utrymmen som vanligtvis är vattenfyllda, vid drift. I början av rivningsarbetet tas den mekaniska utrustningen bort vilket medför bättre tillgänglighet för provning vid exempelvis generatorer och väggen mellan maskinsalen och turbinerna (uppströms vägg).

4 Möjligheter till provning

Nedan presenteras de konstruktionsdelar som bör undersökas närmare vid rivningen av Månsbo kraftverk. För varje konstruktionsdel redovisas troliga skadefenomen, tillgänglighet, aktuella möjligheter till provning och eventuellt andra intressanta uppslag.

För samtliga konstruktionsdelar bör korrelationen mellan olika provningsmetoder utvärderas om så är möjligt. Även betongens materialegenskaper och sammansättning bör undersökas. Vidare kan de oförstörande provningsmetoderna utvärderas för att verifiera lämpligheten som hjälpmedel vid betonginspektion. Intressant är att verifiera olika metoders möjlighet att detektera och kvantifiera betongens utseende och kvalitet samt eventuella skador. Där så är möjligt kan även vertikal och horisontell urtagning av betongkärnor med hjälp av borr samt filmning med borrhålskamera ske.

Genom att jämföra olika skadade och/eller oskadade konstruktionsdelar kan slutsatser dras om en konstruktions utsatthet. Möjligheten finns även att studera variationen i betongkvalitet vid olika nivåer eller vid olika positioner mellan uppströms och nedströms sidor av exempelvis en vägg. Om sprickor upptäcks är det av intresse att se sprickornas läge, utbredning och omfattning vid olika nivåer och djup i väggen.

I övrigt bör de undersökningsmöjligheter som presenteras i kapitel 2.6 utföras för de konstruktionsdelar det finns möjlighet. Dessa är:

- Verifiering av OFP-metoder som hjälpmedel
- Verifiering av korrelationen mellan olika provningsmetoder
- Verifiering av konstruktionslösningars funktion efter mycket lång tid
- Verifiering av reparation utförd efter lång tid
- Undersökning av betongkvalitet
- Relativundersökning av konstruktionsdelar
- Undersökning av sprickor
- Undersökning av sprickor med hjälp av övertryck
- Undersökning av sprickors förmåga till självläkning
- Undersökning av sprickförekomst
- Undersökning av hydrostatisk tryckfördelning
- Verifiering av kontakten mellan berg och betong
- Verifiering av konstruktionslösning: injektering – spännstål
- Verifiering av erosion/frostsprängning
- Undersökning av armeringskorrosion

4.1 Maskinsalen

Takhöjden i maskinsalen är cirka 9,50 meter från nedre golvet på nivån +14,50 till innertaket på nivån +23,00. Uppströms vägg har ett tvärsnitt i betong rakt igenom upp till cirka fyra meter ovan golv. Därefter består tvärsnittet av en betongvägg, luftspalt och en murad vägg, se ritningar i bilaga 2. Inspektion har endast kunnat ske av den nedre delen av väggen och behandlas därmed nedan.

Fotografier: 0381-0383.



Figur 4.1 Maskinsalen.

4.1.1 Dilationsfog mellan system 3 och 4

Dilationsfogen mellan system 3 och 4 ser ut att vara intakt sett från Maskinsalen. Kalkutfällningar på nedre delen av uppströms vägg tyder på att visst läckage verkar ha förekommit. Fogen utgörs enligt ritning av dubbelt asfaltstrukna sidor med tvärställda tätningsplåtar. Fogen är tillgänglig från både uppströms och nedströms väggar samt golvet i Maskinsalen. Det är även möjligt att komma åt parallellt med fogen från taket och inspektionsgångarna. Genom luftschakt och sugrör kan fogen nås genom väggarna. Fotografier: 0385, 0396-0401.

Möjlighet finns att kontrollera fogens/konstruktionslösningens funktion och kondition vid olika positioner i kraftverket. Intressant är att se om skillnader finns i funktion eller kondition vid olika platser i kraftverket. Exempelvis är visst läckage redan konstaterat från uppströms vägg i maskinsalen. Det är av intresse att undersöka den till fogen direkt intilliggande betongens kondition. Detta för att verifiera betongens kvalitet, vidhäftning mot plåtar, eventuell urlakning eller andra skador som kan ha uppstått. Genom att utföra provning i gränssnittet mellan betong och berg kan fogens anslutning mot berget undersökas.



Figur 4.2 Dilationsfogen i maskinsalen, nedströms vägg.



Figur 4.3 Dilationsfogen i maskinsalen, uppströms vägg. Läckage med kalkutfällningar vid golvet

4.1.2 Generatorfundament

Fundamenten för generatorerna är intressanta att undersöka eftersom de är utsatta för dynamiska laster. Fundamenten antas utstå lastväxlingar dels under generatorernas ordinära drift samt även vid start och stopp av turbinerna. Inga skador är konstaterade eftersom det varit svårt att komma åt att inspektera. Helt eller delvis nya fundament har förmodligen gjutits i och med byte av generatorer år 1974. Fundamenten är tillgängliga från maskinhallen om den mekaniska utrustningen avlägsnas och förmodligen även från undergående luftschakt.

Fotografier: 0382.

Det kan tänkas att fundamenten är hårt armerade, vilket kan medföra problem vid exempelvis användandet av radar som undersökningsmetod. De nyare partierna som gjutits kan antas motsvara reparationer som utförts. Dessa skulle nu kunna undersökas för att verifiera om reparationerna varit lyckade.

Intressant är att verifiera fundamentens kondition och funktion efter lång tid. Kan de dynamiska lasterna ha medfört att sprickbildning uppstått i konstruktionerna eller kanske minskad vidhäftning hos gjutfogarna? Det är även intressant att undersöka betongens kvalitet med avseende på elasticitet och hållfasthet. Betongen skulle kunna undersökas radiellt från armeringsjärnen för att se om hållfastheten ändras med avståndet.

4.1.3 Uppströms vägg

Uppströms vägg i maskinsalen utsätts för både ensidigt vattentryck och vibrationer från generatorerna. Detta kan tyckas påverka konstruktionen genom exempelvis urlakning eller försämring av betongens kvalitet. Inga större skador syns dock förutom de sprickor med kalkutfällningar som finns vid genomföring av turbinaxlarna, se kapitel 4.1.4. Nedströms sida av uppströmsväggen är tillgänglig från maskinsalen och ovansidan av väggen kan nås från taket. Dock står en låg tegelmur till takkonstruktionen samt en traversbalk ovanpå väggen (vid taket) vilket gör det svårt, men inte omöjligt, att mäta där.

Betongens kvalitet i väggen är intressant att undersöka då den utstått ensidigt vattentryck under lång tid. Samtidigt kan denna konstruktionslösning verifieras. Inga direkta skador har konstaterats men urlakad betong och sprickor kan förväntas. Genom att jämföra olika skadade och/eller oskadade väggpartier kan slutsatser dras om väggens utsatthet. Möjligheten finns även att studera variationen i betongkvalitet vid olika nivåer i väggen eller vid olika positioner mellan uppströms och nedströms sidor av väggen. För att kunna utvärdera om betongen i uppströmsväggen har påverkats på grund av ensidigt vattentryck måste denna jämföras med liknande betong någonstans i kraftverket vilken inte är utsatt för ensidigt vattentryck. Detta referensobjekt undersöks och utvärderas på samma sätt med samma förutsättningar i övrigt. Se kapitel nedan för möjliga referensobjekt.

Om sprickor upptäcks i väggen är det av intresse att se dess läge, utbredning och omfattning vid olika nivåer och djup i väggen. Samtidigt som eventuella sprickor undersöks kan den hydrostatiska tryckfördelningen mätas och eventuella självläkta sprickor undersökas. Genom vertikal borring från ovansidan skulle betongens kvalitet och gränssnittet mellan betong och berg kunna studeras. Det finns även möjlighet att filma i de vertikala borrhålen för att okulärt bedöma kvalitet och eventuella skador.

4.1.4 Uppströms vägg – vid genomföringar för länkarmer och turbinaxlarna

Sprickor och kalkutfällningar konstateras vid genomtag runt och mellan länkarmer för turbinreglering och genomtag för turbinaxel. Speciellt vid system 3 och 4, där även försök till lagning/övermålning har skett. I och med byte av generatorer år 1974 utfördes antagligen nya pågjutningar i väggen vid genomföringarna av de olika axlarna. Observera att ritningarna från 1930-talet visar på en bredare genomtagning vid system 1. Förmodligen är det ur gjutfogar och inte sprickor som viss kalkutfällning kommer från. Kalkutfällningar och förmodade korrosionsprodukter finns i gränssnittet mellan betong och metall vilket kan vara intressant att undersöka. Mycket kalkutfällningar syns från gjutfogar vid genomtag för turbinaxel, system 4.



Figur 4.4 Maskinsalen uppströms vägg, system 3. Kalkutfällningar från eventuell sprickbildning samt försök till övermålning syns.

Väggpartierna närmast runt genomföringarna för turbinaxlarna antas vara utsatta för lastväxlingar dels under generatorernas ordinära drift samt även vid start och stopp av turbinerna. Väggarna är tillgängliga från maskinhallen och främre inspektionsgången. Fotografier: 0402-0404, 0411, 0412, 0392-0395.

Intressant är att verifiera väggens kondition och funktion efter lång tid på de ställen där axlarna genomkorsar. Kan de dynamiska lasterna ha medfört att sprickbildning uppstått i konstruktionerna eller kanske förstöring av gjutfogarna? Betongens kvalitet vid genomföringarna är intressant att undersöka då den utstått både ensidigt vattentryck under lång tid och vibrationer från generatorerna. Även i gränssnittet mellan betong och metall kan det vara relevant att undersöka betongens kvalitet. De nyare partierna som gjutits kan antas motsvara reparationer som utförts. Dessa skulle nu kunna undersökas för att verifiera om reparationerna varit lyckade.

4.1.5 Södra väggen system 5

Nedre halvan av väggen har diagonala sprickor och kalkutfällningar. Vad beror sprickorna på, rörelser? Kalkutfällningar som inte kommer från sprickorna kan tyda på inhomogen betong. Väggen är tillgänglig från maskinsalen och taket vilket ger möjlighet att utföra provning både horisontellt och vertikalt. Fotografier: 0426.

För den södra väggen vid system 5 finns liknande möjligheter att utföra provning som för uppströms vägg, se kapitel 4.1.3. Bägge väggarna har utstått ensidigt vattentryck under lång tid och betongkvaliteten kan undersökas relativt mellan olika väggpartier och med ett utvalt referensobjekt. Även undersökning av sprickor är av intresse vilket kan ske genom vertikal borrar från ovansidan eller direkt från maskinsalen.

4.1.6 Uppströms vägg system 5

Nedre delen av väggen har mycket kalkutfällningar och avflagningar. Det är svårt att avgöra om det är färg som flagnar av och om sprickor finns. Väggen är tillgänglig från maskinsalen och taket vilket ger möjlighet att utföra provning både horisontellt och vertikalt.

Fotografier: 0422, 0427.

Även för uppströms vägg vid system 5 finns liknande möjligheter att utföra provning som för uppströms vägg, se kapitel 4.1.3. Bägge väggarna har utstått ensidigt vattentryck under lång tid och betongkvaliteten kan undersökas relativt mellan olika väggpartier och med ett utvalt referensobjekt. Även undersökning av sprickor är av intresse vilket kan ske genom vertikal borrhning från ovansidan eller direkt från maskinsalen.

Intressant är att verifiera väggens kondition och funktion på de ställen där axlarna genomkorsar. Betongkvalitet, eventuell sprickbildning och gränssnittet mellan betong och metall kan undersökas då väggen utstått dynamiska laster och ensidigt vattentryck under lång tid.

4.1.7 Referensobjekt

För att kunna utvärdera om en konstruktionsdel har påverkats på grund av ensidigt vattentryck måste denna jämföras med en liknande konstruktionsdel i kraftverket utan ensidigt vattentryck. Betong från detta referensobjekt undersöks och utvärderas på samma sätt med samma förutsättningar i övrigt.

Möjliga referensobjekt skulle kunna vara:

- Golv
- Vägg mellan bakre inspektionsgång och den så kallade ”kyrkan”, vilket är ett tomt utrymme uppströms den bakre inspektionsgången
- Uppströms vägg i den främre inspektionsgången
- Partier högst upp i väggarna

4.2 Främre inspektionsgångar

4.2.1 Dränrör

Mer eller mindre mängd vatten kommer ur dränrören från utrymmet vid turbinstöd (genomtag för turbinaxel). Mer vatten kommer ur dränrör vid system 1. Möjligtvis kommer mer vatten vid högre vattenstånd. Det kan finnas intresse att undersöka de konstruktionsdetaljer i stål som gränsar mot betong.

Fotografier: 0443

4.2.2 Uppströms vägg

En horisontell spricka eller gjutfog med kalkutfällningar syns utefter hela väggen cirka 1 – 2 dm ovanför golv. Väggen är tillgänglig från inspektionsgången. Sprickor finns mellan tak och uppströms vägg vilka ser ut att innehålla olja. Runt sprickorna och

väggen finns mörka partier som ser ut som olja. Fenomenet finns vid samtliga system. Kalkutfällningar syns runt sprickorna men ser äldre och avstannade ut. Väggen är tillgänglig från inspektionsgången.
Fotografier: 0446, 0444.



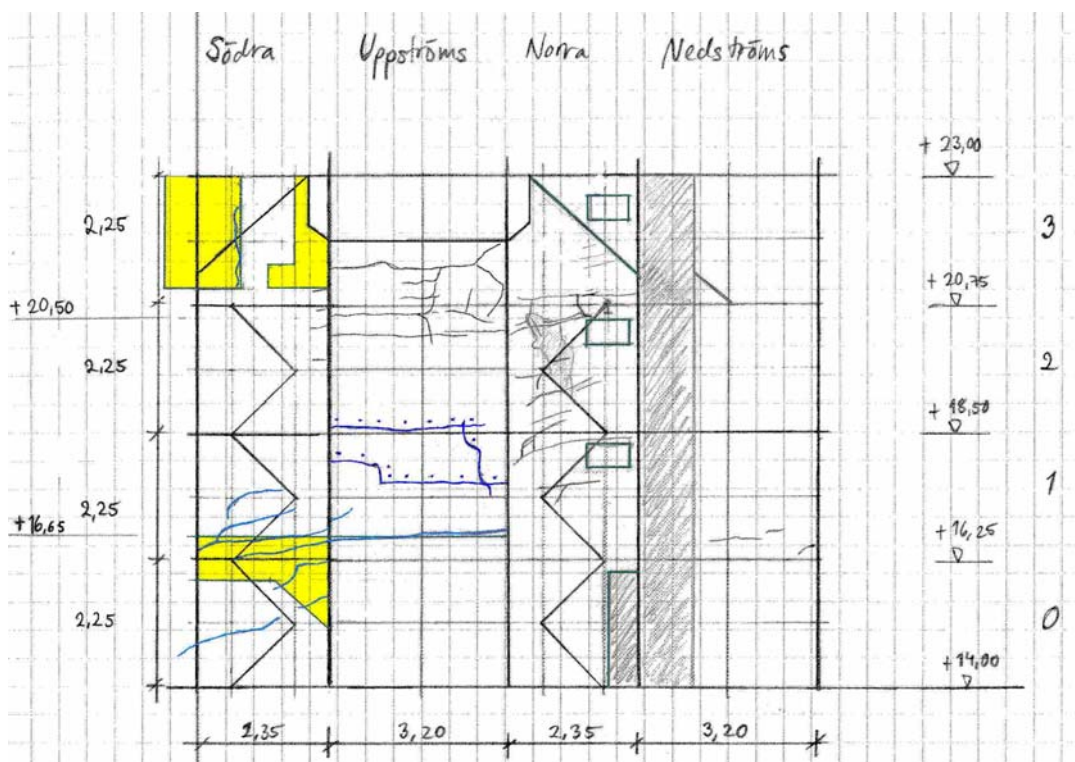
Figur 4.5 Främre inspektionsgång, uppströms vägg vid tak. Mörkare partier liknande olja syns runt sprickor.

Möjlighet finns att undersöka betongens kvalitet i den urlakade gjutfog som finns i uppströmsväggen. Jämförelse skulle kunna ske med gjutfogar på andra platser i kraftverket. Sprickorna vid taket är intressanta då de ser ut att ha självläkt till viss del. Intressant är även att utvärdera om den eventuella oljan i och runt sprickorna har haft någon inverkan på skadeförloppet.

4.3 Trapphuset

Trapphusets norra och södra väggar ansluter mot skyddsdammen och utgör med nedströms vägg trapphuset. Trapphusets uppströms vägg är i själva verket nedströms sida av skyddsdammen. Det är ca 9 meter högt och har fyra våningar. Enligt ritning så förstärks övergången mellan skyddsdammen och trapphusets södra vägg med en dilatationsfog. Samtliga väggar är tillgängliga inne från trapphuset samt från ovansidan i överbyggnaden. Därmed finns möjlighet att utföra provning längs sidorna samt vertikalt från väggarnas ovansida.

.



Figur 4.6 Ritning över trapphuset med sprickor och bakomliggande konstruktionsdelar inritade

4.3.1 Uppströms vägg i trapphuset (Skyddsdammens nedströms sida)

Väggen kan sägas innefatta tre sektioner med varierande kondition. Två sektioner uppvisar olika typer av sprickförekomst och en sektion har utsatts för injektering. Väggen kan antas vara utsatt för ensidigt vattentryck genom skyddsdammen.

På nivå +18,50 i uppströms vägg finns tre horisontella och en vertikal spricka med kalkutfällningar och eventuellt korrosionsprodukter. Dessa sprickor har en gång injekterats varför hål finns ovanför sprickorna. Hålen och sprickorna är fyllda med en stel glittrande fogmassa. Injekteringen är utförd någon gång under år 1992 enligt maskinisten.

Fotografier: 0485, 0486, 0490, 0491, 0492, 0528, 0527, 0529.



Figur 4.7 och 4.8 Vertikala och horisontella sprickor med kalkutfällningar och korrosionsprodukter som injekterats.

På nivå +20,50 i uppströms vägg finns ett antal horisontella, vertikala och diagonala sprickor med kalkutfällningar. Har sprickorna uppstått till följd av rörelser i byggnaden eller bakomliggande skyddsmur? Regelbundenheten i de horisontella sprickorna med kalkutfällningar tyder dock på att dessa är gjutfogar. Missfärgningar, som eventuellt skulle kunna vara korrosionsprodukter, syns endast från de nedre sprickorna vilket kan förklaras med att normalvattennivån enligt ritning skall vara straxt ovanför dessa, på nivå +20,50.

Fotografier: 0500, 0499, 0501, 0502, 0550, 0551, 0552, 0549.



Figur 4.9 Kalkutfällningar och eventuellt korrosionsprodukter kommer från förmodliga gjutfogar. Notera att de eventuella korrosionsprodukterna främst kommer från gjutfogen ungefär i mitten av uppströmsväggen.

Betongens kvalitet i väggen är intressant att undersöka då den utstått ensidigt vattentryck under lång tid. Samtidigt kan denna konstruktionslösning där dammens

kortsida utgör en vägg verifieras. Genom att jämföra olika skadade och/eller oskadade väggpartier kan slutsatser dras om väggens utsatthet. Möjligheten finns även att studera variationen i betongkvalitet vid olika nivåer i väggen eller vid olika positioner mellan uppströms och nedströms sidor av väggen. Genom vertikal borrhning från ovansidan skulle betongens kvalitet, injekteringens kondition samt gränssnittet mellan betong och berg kunna studeras. Det finns även möjlighet att filma i de vertikala borrhålen för att okulärt bedöma kvalitet och eventuella skador.

Sprickor med eller utan kalkutfällningar och eventuellt korrosionsprodukter finns på ett flertal ställen utmed uppströmsväggen. Dessa skulle kunna undersökas med avseende på läge, utbredning och omfattning vid olika nivåer och djup i väggen. Samtidigt kan den hydrostatiska tryckfördelningen mätas och eventuella självläkta sprickor undersökas. Orsakerna till sprickorna är okända men regelbundenheten tyder på att de är dåligt utförda gjutfogar.

4.3.2 Södra väggen i trapphuset

Den södra väggen kan även den uppdelas i två sektioner. Den undre har påtagligt med sprickor och den övre har minst en vertikal spricka. Båda sektionerna har anslutande konstruktionsdelar av betong på motsstående sidan väggen. Väggen är utsatt för ensidigt vattentryck.

På nivå +16,25 i den södra väggen finns ett flertal diagonala och parallella sprickor som har rikligt med kalkutfällningar och eventuellt korrosionsprodukter. Sprickorna är delvis vattenförande. Har de uppstått på grund av rörelser? En spricka fortsätter över till uppströmsväggen. I denna nivå skall enligt ritning botten till intaget finnas i form av en betongbalk, se figur 4.6. Fotografier: 0520, (0481, 0519, 0517, 0516), 0471, 0472, 0473, 0474, 0475, 0478.



Figur 4.10 Vatten, kalkutfällningar och eventuellt korrosionsprodukter kommer ur förmodliga gjutfogar

På nivå +21,85 på den södra väggen finns en vertikal spricka utan kalk- eller korrosionsutfällningar. Sprickan verkar gå parallellt och nästan precis vid kanten av en bakomliggande betongbalk. Balken ingår i, enligt ritning, taket till intaget.

Fotografier: 0555, 0556, 0557.

Även för södra väggen i trapphuset finns liknande möjligheter att utföra provning som för uppströms vägg, se kapitel 4.3.1. Bägge väggarna har utstått ensidigt vattentryck under lång tid och betongkvaliteten kan undersökas relativt mellan olika väggpartier och med ett utvalt referensobjekt. Även undersökning av sprickor är av intresse vilket kan ske genom vertikal borrar från ovansidan eller direkt från trapphuset.

Sprickor med eller utan kalkutfällningar och eventuella korrosionsprodukter finns på ett flertal ställen utmed den södra väggen. Vissa sprickor är delvis även vattenförande. Dessa skulle kunna undersökas med avseende på läge, utbredning och omfattning vid olika nivåer och djup i väggen. Orsakerna till sprickorna på nivåerna +16,25 och +21,85 kan vara intressanta att undersöka. Enligt ritning skall det finnas parallella konstruktionsdelar på andra sidan väggen i dessa lägen.

Vissa sprickor med kalkutfällningar kan även vara dåligt utförda gjutfogar. I dessa lägen är det intressant att undersöka betongens kvalitet och om det finns hålrum eller inneslutningar i gjutfogen.

4.3.3 Fog vid skyddsdammens nedströms sida mot kraftverksbyggnaden

En dilationsfog finns mellan skyddsdammens nedströms sida och trapphusets södra vägg. Fogen utgörs enligt ritning av dubbelt asfaltstrukna sidor med tvärställda tätningsslåtar. Fogen är inte visuellt synbar och har därmed inte inspekterats närmare. Fogen är tillgänglig från ovansidan av skyddsdammen samt genom trapphusets uppströms vägg.

Möjlighet finns att kontrollera fogens/konstruktionslösningens funktion och kondition vid olika positioner längs väggen. Det är av intresse att undersöka den till fogen direkt intilliggande betongens kondition. Detta för att verifiera betongens kvalitet, vidhäftning mot plåtar, eventuell urlakning eller andra skador som kan ha uppstått. Genom att utföra provning i gränssnittet mellan betong och berg kan fogens anslutning mot berget undersökas.

4.4 Bakre inspektionsgångar

De bakre inspektionsgångarna har indelats i Förmaket, L-gången och Bakre inspektionsgången.

Förmaket

4.4.1 Norra väggen och nedströms vägg samt tak

Utmed norra och nedströms belägna väggar samt tak finns diagonala sprickor som har delvis missfärgade och kalkutfällningar. Sprickorna har en gång reparerats med någon ytlig fogmassa enligt maskinisten, kanske på grund av läckage. Hur har sprickorna uppstått; genom rörelser? Väggar och tak är tillgängliga från den bakre inspektionsgången.

Fotografier: 0567 – 0571, 0562 – 0566.

Undersökning av sprickorna skulle kunna ske för att utvärdera olika provningsmetoder samt för att verifiera korrelationen mellan metoderna. Undersökning av sprickorna

skulle även kunna ske för att verifiera betongens kvalitet, urlakning samt eventuella håligheter. Det är även av intresse att undersöka eventuell armeringskorrosion och då hur långt korrosionsförloppet har skridit. Den utförda reparationen kan utvärderas med avseende på kondition och funktion.

4.4.2 Nedströms vägg och södra väggen samt tak

Utmed väggar och tak finns flertalet diagonala sprickor med kalkutfällningar och eventuella korrosionsprodukter. Hur har sprickorna uppstått; genom rörelser? Kalkutfällningar och eventuellt korrosionsprodukter syns även från gjutfogar i taket. Fuktiga partier som syns på exempelvis nedströms vägg tyder på att läckage och sprickor finns. Ur en diagonal spricka i den södra väggen sker ett kraftigt läckage av vatten. Detta vattenflöde varierar med vattenståndet enligt maskinisten. Väggar och tak är tillgängliga från den bakre inspektionsgången.

Fotografier: 0574, 0577, 0579, 0593, 0591, 0581, 0583, 0585, 0587, 0612.

Taket: 0595, 0599.



Figur 4.11 och 4.12 Diagonala sprickor med läckage, kalkutfällningar och eventuella korrosionsprodukter. Större läckage ur en spricka i väggen mot inloppet för system 5.

Även på dessa väggar skulle undersökning av sprickorna kunna ske för att utvärdera olika provningsmetoder samt för att verifiera korrelationen mellan metoderna. Undersökning av sprickorna skulle även kunna ske för att verifiera betongens kvalitet, urlakning samt eventuella håligheter. Det kraftiga läckage kan tyda på att en större urlakning har skett och det kan vara intressant att undersöka hur det har uppstått. Det är även av intresse att undersöka eventuell armeringskorrosion och då hur långt korrosionsförloppet har skridit.

4.4.3 Borrhål i golv

En betongkärna har borrats ut ur golvet vid system 5. Hålet är borrarat under 2003, se rapport 13075-648, [17], från provning vid Älvkarleby betonglabb. Hålet är vattenfyllt; är det på grund av vattenförande sprickor eller tillrinnande vatten? Möjlighet finns att titta med borrhållskamera.

Fotografier: 0605, 0606.

4.4.4 Vattenfyllt utrymme

Mellan intag och bakre inspektionsgång finns ett utrymme som är delvis vattenfyllt. Utrymmets tillkomst är förmodligen ett sätt att spara betong på. Enligt ritning skall berggrunden framträda i utrymmet, men detta är inte verifierat. En lucka finns i "förmaket" för att ta sig in i utrymmet. Möjligheter till vidare provning kanske framkommer om tillträde till utrymmet ges. Potential finns för att undersöka gränssnittet mellan betong och berg.

Fotografier: 0609.

L-gången

4.4.5 Väggarna i L-gången

Kraftiga kalkutfällningar framträder ur en förmodad gjutfog i mitten av södra och uppströms väggar. Vad som finns bakom väggarna kan inte verifieras med hjälp av ritning. Förmodligen är det berg eller tomrum. Fogen ligger cirka en meter från golvet.

Fotografier: 0618, 0633, 0635, 0637.



Figur 4.13 Rikligt med kalkutfällningar ur förmodad gjutfog

Kraftiga kalkutfällningar och eventuella korrosionsprodukter syns i en förmodad gjutfog i nedre delen av hörnet på nedströms och norra väggarna. Fogen ligger cirka två decimeter från golv.

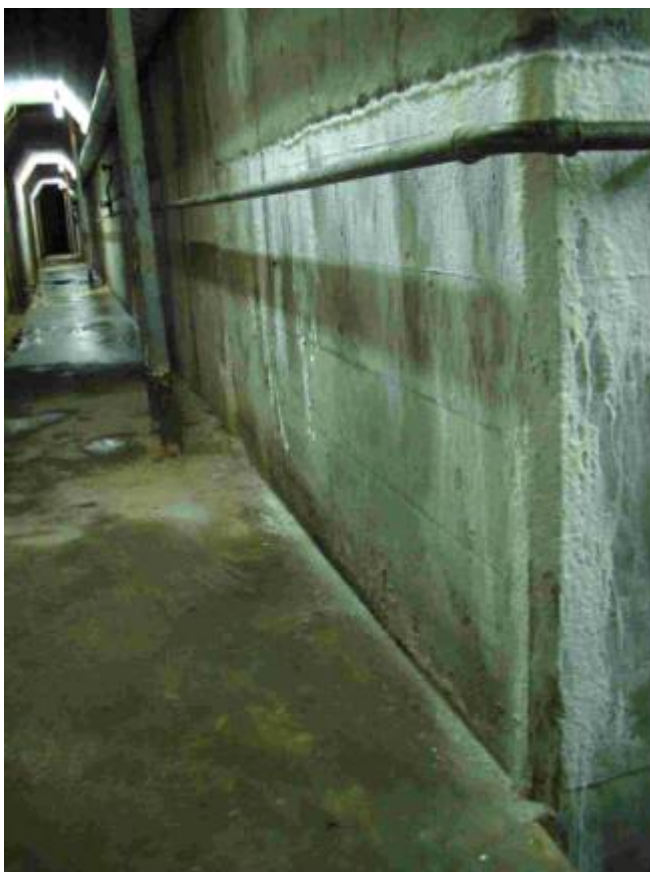
Fotografier: 0623, 0624, 0626, 0631.



Figur 4.14 Rikligt med kalkutfällningar och eventuella korrosionsprodukter ur förmodad gjutfog i nedströms/norra väggen

Undersökning av gjutfogarna skulle kunna ske för att verifiera betongens kvalitet, urlakning samt eventuella håligheter. Undersökning av sprickorna skulle även kunna ske för att utvärdera olika provningsmetoder samt för att verifiera korrelationen mellan metoderna.

Bakre inspektionsgången



Figur 4.15 Bakre inspektionsgång. Rikligt med kalkutfällningar kommer från gjutfog mitt på uppströms vägg i gången

Fotografier: 0643, 0641, (0656), 0797.

.

4.4.6 Uppströms vägg

Rikligt med kalkutfällningar framträder i en horisontell gjutfog i mitten av uppströms vägg. Kalkutfällningarna syns endast vid system 3 och 4 och slutar vid en vertikal fog mellan system 3 och 2.

Fotografier: 0643, 0641, 0663, 0710, 0721, 0722, 0730, 0797.

Undersökning av gjutfogen skulle kunna ske för att verifiera betongens kvalitet, urlakning samt eventuella håligheter.

4.4.7 Nedströms vägg

På ett flertal områden i nedströms vägg syns mer eller mindre rikligt med kalkutfällningar punktvis, utefter förmodade gjutfogar eller ur sprickor. Tyder det på hålrum eller dåligt utförd gjutning? Det finns även misstanke om armeringskorrosion på vissa platser.

Fotografier: 0685, 0687, 0695, 0696, 0739, 0740, 0759, 0760, 0761, 0764, 0766.

Rikligt med kalkutfällningar och eventuellt korrosionsprodukter syns i sprickor/gjutfogar i uppströms och speciellt nedströms vägg precis under inspektionsschakt vid system 1.

Fotografier: 0774, 0775, (0780, 0781, 0782), 0776, 0777, 0790.

Sprickor med kalkutfällningar och brunaktig betong finns vid system 4. Den brunaktiga betongen och sprickmönstret kan tyda på armeringskorrosion.

Fotografier: 0693, 0694.

Extremt mycket kalkutfällningar syns från kabelrör i väggen mellan system 4 och 3. Eventuellt syns även lite korrosionsprodukter. Det finns även stalaktiter (kalkutfällningar) från gjutfogarna mellan snedtak och tak.

Fotografier: 0697, (0698, 0699), 0701, 0703, 0704.



Figur 4.16 Extremt mycket kalkutfällningar kommer ur kabelrör i nedströms vägg.

Möjlighet finns att undersöka betongens kvalitet i de urlakade gjutfogarna som finns i uppströmsväggen. Jämförelse skulle kunna ske med gjutfogar på andra platser i kraftverket. Intressant är även att utvärdera om den eventuella oljan i och runt sprickorna har haft någon inverkan på skadeförloppet. Vid kabelröret mellan system 3 och 4 kan det vara intressant att undersöka betongen. Det skulle vara intressant att utföra en hållfasthetsanalys, eventuellt även planslipsanalys, på betong från detta ställe.

Sprickor och brunaktig betong tyder på att armeringskorrosion kan ha förekommit innanför betongtäcksiktet vid system 4. Detta kan verifieras genom provning.

4.4.8 Norra väggen

Ett speciellt oregelbundet sprickmönster finns på den norra väggen som angränsar till L-gången.

Fotografier: 0792, 0793.

Intressant skulle vara att undersöka orsaken till sprickmönstret, kan det vara alkaliskel – reaktioner? Inga uppgifter finns om reaktiv ballast, eller annat som kan orsaka alkaliskel – reaktioner, finns i kraftverkets konstruktionsdelar. Dock finns det rapporter på att det finns reaktiv ballast i dammpelarna.

4.4.9 Taket

Ur ett flertal fogar mellan snedtak och tak samt i taket syns kalkutfällningar och eventuellt korrosionsprodukter, oftast i form av stalaktiter. (Gjut)fogarna går parallellt och diagonalt i taket.

Fotografier: 0659, 0660, 0661, 0662, (0725, 0726) 0729, 0778.



Figur 4.17 Kalkutfällningar i form av stalaktiter kommer ur gjutfog mellan snedtak och tak.

Möjlighet finns att undersöka betongens kvalitet i de urlakade gjutfogarna som finns i taket. Jämförelse skulle kunna ske med gjutfogar på andra platser i kraftverket. Intressant skulle även vara att undersöka betongens och armeringens beskaffenhet genom tvärsnittet.

4.4.10 Fogen mellan system 3 och 2

Från dilationsfogen mellan system 3 och 2 syns rikligt med kalkutfällningar och eventuellt lite korrosionsprodukter längs sidorna.

Fotografier: 0733, 0732, 0731, 0730.

Se kapitel 4.1.1.

4.5 Intagen

Intagen har inte kunnat besiktigas men är konstruktionsdelar i vattenkraftverken som är utsatta och ofta måste repareras. Nu finns möjlighet att undersöka kondition och funktion hos intagen och eventuella reparationer. Intagen blir tillgängliga då tillloppet blir avskärmat med spärrdammar under rivningen.

4.6 Utloppspelare

Antydningar finns att utloppspelarna utsatts för frostsador och erosion från botten upp till ett par decimeter ovanför vattenlinjen. Skadorna har endast kunnat verifieras okulärt vid vattenlinjen. Tillgängligheten till utloppspelarna blir god vid länsdumpning av utloppskanalen. Flertalet möjligheter till provning finns vid pelarna.



Figur 4.18 och 4.19 Utloppspelarna, höst respektive vinter.

4.7 Sugrören

Sugrören har inte kunnat besiktigas men är konstruktionsdelar i vattenkraftverken som är utsatta och ofta måste repareras. Nu finns en stor möjlighet att undersöka kondition och funktion hos sugrören och eventuella reparationer. Extra viktigt anses sugrörskräken och sugrörsbotten vara. Sugrörsbotten ser ut att bestå av betongpelare med överliggare enligt ritning. Intressant skulle vara att få kännedom om hur denna konstruktionslösning ser ut idag samt hur kontakten mellan betong och berg ser ut vid pelarna.

5 Resultat

Nedan presenteras vilka provningsmetoder som kan användas samt de konstruktionsdelar som bör undersökas närmare vid rivningen av Månsbo kraftverk. Då tiden för rivningsarbetet kommer att vara kort och de ekonomiska resurserna i projektet är begränsade kommer endast ett fåtal konstruktionsdelar hinna undersökas med ett begränsat antal provningsmetoder. I bilaga 1 presenteras det konkreta förslag till provningsförfarande som kommer att användas vid rivningen.

För samtliga konstruktionsdelar bör korrelationen mellan olika provningsmetoder utvärderas om så är möjligt. Även betongens materialegenskaper och sammansättning bör undersökas. Vidare kan de oförstörande provningsmetoderna utvärderas för att verifiera lämpligheten som hjälpmedel vid betonginspektion. Där så är möjligt bör vertikal och horisontell uttagning av betongkärnor med hjälp av borr samt filmning med borrhålskamera ske. De oförstörande provningsmetoder som är aktuella att använda är Radar, Impact Echo, SASW samt metoder för att undersöka armeringskorrosion och spricksystem.

5.1 Dilationsfogen mellan system 3 och 4 i maskinsalen

Konstruktionslösningens funktion kan verifieras och närliggande betongs kvalitet bör undersökas.

5.2 Generatorfundamenten i maskinsalen

Konstruktionslösningens funktion kan verifieras, närliggande betongs kvalitet och elasticitet samt sprickförekomst kring armeringsjärnen och infästningar bör undersökas.

5.3 Södra väggen vid system 5 i maskinsalen

Tillgängligheten är sämre för uppströms vägg vid system 1 – 4. Däremot antas den södra väggen vid system 5 ha samma förutsättningar som uppströmsväggen. Denna vägg är nämligen lätt åtkomlig från taket. Undersökning kan ske av betongens kvalitet samt av sprickförekomst. Relativundersökning av olika väggpartier för att studera variationen av betongkvalitet och sprickförekomst i vertikal-, horisontal- och djupled.

5.4 Uppströms vägg i trapphuset

Väggen kan sägas innefatta tre sektioner med varierande kondition. Två sektioner uppvisar olika typer av sprickförekomst och en sektion har utsatts för injektering. Relativundersökning av olika väggpartier för att studera variationen av betongkvalitet och sprickförekomst i vertikal-, horisontal- och djupled kan utföras. Injekteringen bör studeras och sprickorna undersökas närmare. I uppströms vägg, som i själva verket är skyddsdamms nedströms sida, finns en dilationsfog som kan undersökas.

5.5 Södra väggen i trapphuset

Den södra väggen kan även delas upp i två sektioner. Den undre har påtagligt med sprickor och den övre har minst en vertikal spricka. Relativundersökning av olika väggpartier kan utföras för att studera variationen av betongkvalitet och sprickförekomst i vertikal-, horisontal- och djupled.

5.6 Referensobjekt

För att kunna utföra en bedömning av om det ensidiga vattentrycket påverkar betongen (i exempelvis uppströmsväggen) måste denna kunna jämföras med betong från en vägg som inte är utsatt. Relativundersökning av olika väggpartier för att studera variationen av betongkvalitet och sprickförekomst i vertikal-, horisontal- och djupled bör ske liknande som det utförs på konstruktionsdelar som är utsatta för ensidigt vattentryck. Betong från detta referensobjekt undersöks och utvärderas på samma sätt och med samma förutsättningar i övrigt.

Möjliga referensobjekt skulle kunna vara:

- Golvet
- Vägg mellan bakre inspektionsgång och den så kallade ”kyrkan”, vilket är ett tomt utrymme uppströms den bakre inspektionsgången
- Uppströms vägg i den främre inspektionsgången
- Partier högst upp i väggarna

5.7 Uppströms vägg vid system 1 – 4 i maskinsalen

I mån av tid bör även uppströms vägg vid system 1 – 4 undersökas. Uppströms vägg är intressant ur ett flertal perspektiv och konstruktionsdelen kan återfinnas i andra vattenkraftkonstruktioner i Sverige. Exempelvis har väggen utstått både ensidigt vattentryck och vibrationer från generatorerna under lång tid. Väggpartier bör undersökas relativt inbördes för att studera variationen i betongkvalitet och sprickförekomst i vertikal-, horisontal- och djupled. Speciellt bör partier för genomföring av generatorerna undersökas närmare, exempelvis för att se om sprickförekomsten ökar i dessa områden där dynamiska laster förekommer.

5.8 Uppströms vägg vid system 5 i maskinsalen

I mån av tid bör även uppströms vägg vid system 5 undersökas. Även denna vägg har utstått både ensidigt vattentryck och vibrationer från generatorerna under lång tid. Relativundersökning av olika väggpartier för att studera variationen av betongkvalitet och sprickförekomst i vertikal-, horisontal- och djupled kan utföras.

5.9 Sugrören

I mån av tid bör även sugrören undersökas. Sugrören har inte kunnat besiktigas men är konstruktionsdelar i vattenkraftverken som är utsatta och ofta måste repareras. Nu finns en stor möjlighet att undersöka kondition och funktion hos sugrören och eventuella reparationer. Extra viktigt anses sugrörskröken och sugrörsbotten vara. Sugrörsbotten ser ut att bestå av betongpelare med överliggare enligt ritning. Intressant skulle vara att få kännedom om hur denna konstruktionslösning ser ut idag samt hur kontakten mellan betong och berg ser ut vid pelarna. Undersökning av betongkvalitet, armeringskorrosion och eventuella sprickor samt relativundersökning av olika konstruktionsdelar kan utföras.

6 Diskussion

Besiktningen av Månsbo kraftanläggning resulterade i en mängd fotografier och noteringar om förekomst av skador på de olika konstruktionsdelarna. Resultatet är dock inte så detaljerat så att statistik om mest förekommande skador och skadeorsaker kan tas ut. Detta var heller inte syftet med examensarbetet utan besiktningen kan ses som en orientering för att skaffa sig en bild av skadefrekvensen för de olika konstruktionsdelarna vid kraftverket. Besiktningen gav, tillsammans med workshopen, förslag till konstruktionsdelar som bedömdes intressanta att utföra förstörande och oförstörande provning på. Detta medför att endast författarens egna bedömning av skadebilden vid Månsbo kraftverk kan analyseras och jämföras med de nationella och internationella skadebilderna nämnda i kapitel 2.

Syftet med examensarbetet var att föreslå konstruktionsdelar att undersöka i ett senare skede. När detta sker kan exempelvis skadeomfattningen undersökas noggrannare och jämföras med den vid besiktningen observerade. Även dolda skador, det vill säga skador som inte observerades vid besiktningen, kan påträffas.

Författarens bedömning är att sprickor och kalkutfällningar ur sprickor eller gjutfogar är de vanligaste skadetyperna i kraftverket. Andra skador som har observerats är läckage och vittrad betong. På ett flertal ställen i kraftverket syns brunaktig färg på konstruktionsdelarna. Speciellt bra syns detta där kalkutfällningar förekommer samtidigt. Enligt betongspecialister inom Vattenfall Utveckling AB behöver dessa inte vara tecken på armeringskorrosion utan kan vara exempelvis järn eller andra ämnen som fällt ut i vattnet.

I det amerikanska REMR-programmet, [9] konstaterades att vanliga skador som förekommer på vattenbyggnadskonstruktioner är sprickor, läckage och avskalning, se kapitel 2. De vid Månsbo kraftverk upptäckta skadetyperna är till stor del samma och en korrelation med den amerikanska studien skulle kunna antas finnas. Avskalning kan antas ske mest utomhus på exempelvis damm, pelare eller andra konstruktionsdelar.

Vid det forskningsprojekt som ledde till en reparationsdatabas, [10] som avslutades 1999 vid Vattenfall Utveckling AB konstaterades att de vanligaste förekommande skadorna vid vattenkraftanläggningar i Sverige var avskalning, läckage och kalkutfällningar samt sprickor då de reparationer där uppgift sänkades utelämnats. Även mot denna studie kan en korrelation antas finnas för de skadetyper som upptäckts vid Månsbo kraftverk. Avskalning antas även här antas ske mest på konstruktionsdelar placerade utomhus.

7 Litteraturförteckning

- [1] Möller, G. *et al.* (1994) *Betonghandboken del Material, utgåva 2*, AB Svensk Byggtjänst.
- [2] Möller, G. *et al.* (1982) *Betonghandboken del Material, utgåva 1*, AB Svensk Byggtjänst.
- [3] ACI, BRE, *et al.* (2002) *Concrete Repair Manual, Second Edition*, ACI.
- [4] Carlsson, C. A. & Tuutti, K. (1996) *Betongteknik*, Byggentreprenörerna
- [5] Pettersson, K. (1999) *Mätning och utvärdering av broars tillstånd*, Uppdragsrapport nr 99058, Cement och Betong Institutet, Stockholm.
- [6] Jungstedt, J. (2002) *A questionnaire for owners of hydro power and nuclear power regarding their management of maintenance*, Vattenfall Utveckling AB, Älvkarleby.
- [7] Wiberg, U. (1994) *Tillståndskontroll av betong i kraftanläggningar*, Elforsk Rapport 94:17.
- [8] Wiberg, U. (1997) *Möjligheter till kontroll av betongkonstruktioner med oförstörande mät- och utvärderingsmetoder*, Elforsk Rapport 97:18.
- [9] Bernstone, C. (1998) *Kunskapsåterföring på betongområdet från det amerikanska REMR-programmet*, Elforsk Rapport 98:33.
- [10] Björkenstam, E. (1999) *Inventering av betongreparationer utförda på svenska vattenkraftanläggningar*, Elforsk Rapport 99:28.
- [11] Bernstone, C. (1999) *Utvärdering av befintliga metoder för oförstörande provning av betong i kraftanläggningar*, Elforsk Rapport 99:45.
- [12] Fagerlund, G. (1987) *Betongkonstruktioners Beständighet – en översikt*, Cementa AB.
- [13] Fagerlund, G. (1989) *Vattenbyggnadsbetong*, Cementa AB.
- [14] Shaw, P. & Rasmussen, J. (2001) *A Practical Guide to Non-Destructive Testing of Concrete Structures*, Nordic Industrial Foundation.
- [15] Malaysian Institute for Nuclear Technology Research, *Non-Destructive Testing of Concrete in Structures*, [www-sida, http://www.mint.gov.my/PRODUCTS/BTI/nde/Ndt_Concrete_details.html](http://www.mint.gov.my/PRODUCTS/BTI/nde/Ndt_Concrete_details.html).
- [16] Frölund, T. (2001) *Galvanostatic Pulse Method*, beskrivning av metod för potentialmätning, Force Technology, Denmark.
- [17] Grändås, J-Å. (2003) *Provning av betongkärnor*, Rapport 13075-648, Betongprovningen, Vattenfall Utveckling AB, Älvkarleby.
- [18] VAST (1991), *Betong i vattenkraftanläggningar*, Kraftverksföreningens Utvecklingsstiftelse, ISBN 91 8733070.
- [19] Fortum (2001) *Projektbeskrivning Avestaforsens kraftverk*, Fortum Generation.

- [20] Flödeskommitten. (1990) *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar*, Slutrapport från Flödeskommittén, Statens Vattenfallsverk, Svenska Kraftverksföreningen & Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut.
- [21] Eriksson, H. (1985) *Rapport över dammbesiktning av betongdammen vid Avesta kraftverk i Avesta*, Sydkraft.
- [22] Johansson, G. (1996) *Dammbesiktning Avesta – Månsbo anläggningar*, Avdelningen Vattenbyggnad, AB Jacobson & Widmark.
- [23] Karlqvist, M. & Nyman, B. (1993) *Betongundersökning av Avesta Storfors kraftverk och Månsbo kraftverk*, Rapport 653040, Materialprovningen, Stockholm Konsult.

A Bilagor

Provningsförfarande vid Månsbo kraftverk

Nedan presenteras olika förslag på de provningar som planeras vid Månsbo kraftverk. I den första fasen finns tillfälle att undersöka dilationsfog och generatorfundament i maskinsalen, den södra väggen vid system 5 i maskinsalen samt trapphusets uppströms och södra väggar. I mån av tid kan även uppströms vägg i maskinsalen undersökas. Förutom nämnda syften ingår analys av betongens beskaffenhet (materialegenskaper och sammansättning) vid samtliga konstruktionsdelar. Vid senare tillfälle, vid en andra fas, finns möjlighet att undersöka exempelvis sugröret och parametrar som vidhäftning mellan berg och betong.

Vid samtliga konstruktionsdelar planeras vertikal och horisontell uttagning av betongkärnor med hjälp av borr samt filmning med titthålskamera i borrhålen. Oförstörande provningsmetoder som planeras att använda är Radar, Impact Echo, SASW samt metoder för att undersöka armeringskorrosion och spricksystem.

Trapphuset

Trapphusets norra och södra väggar ansluter mot skyddsdammen och utgör med nedströms vägg trapphuset. Trapphusets uppströms vägg är i själva verket nedströms sida av skyddsdammen. Det är ca 9 meter högt och har fyra våningar. Här finns det ett stort potentiellt intresse med att utföra provning. Enligt ritning så förstärks övergången mellan skyddsdammen och stationsväggen med en dilatationsfog. I bägge väggarna finns möjlighet att borra vertikalt.

Uppströms vägg (skyddsdammens nedströms sida)

Väggen kan sägas innefatta 3 sektioner med olika status. Två sektioner uppvisar olika typer av sprickförekomst och en sektion har utsatts för injektering. Detta innebär bl a att ofp inifrån trapphuset skulle kunna jämföras med provning av en kropp med ett oändligt djup, vilket skulle kunna verifiera de olika metodernas genomtränglighet. Samtidigt finns det tillgång till väggens överkant vilket betyder att det kommer att vara möjligt att borra vertikala kärnor som senare kan analyseras. Borrhålen bör också filmas (BIPS). Syften med valet av denna provningsposition presenteras nedan:

- Relativundersökning av väggar med till synes olika status (olika mycket sprickor och olika sprickvidder)
- Undersökning om fogens tillstånd, alternativt en verifiering av möjligheten att undersöka detta med hjälp av OFP.
- Variationer av betongens egenskaper i både vertikal- och horisontalled
- Undersökning av e-modul med avseende avstånd från väggens yta
- Undersökning av sprickor i väggen
- Jämförande provning av OFP-resultat och FP via analys av borkärnor och BIPS
- Verifiering av utförd injektering på nivå +18.50.

Södra väggen

Den södra väggen kan även den uppdelas i två sektioner. Den undre har påtagligt med sprickor och den övre har minst en vertikal spricka. Båda sektionerna har anslutande konstruktionsdelar av betong på motstående sidan väggen. Samma syften till provning gäller denna vägg som för uppströmsväggen.

A.1 Slutgiltigt förslag till provningsförfarande vid Månsbo kraftverk

Genomgående dilatationsfog

Genom kraftverket löper en dilatationsfog som är, i det flesta fall, lättåtkomlig. Dilatationsfogen går att "komma åt" ovanifrån både på taket och i maskinhallen. Underifrån genom inspektionsgångarna och i vertikal led både i inspektionsgångarna och i maskinhallen. Syftet med provningen av denna fog är:

- Kontrollera fogens/konstruktionslösningens beständighet och närliggande betong vid olika positioner i kraftverket
- Jämförande provning av OFP-resultat och FP via analys av borrhärdor och BIPS

Ingjutningsgods, generatorinfästningar samt annan infästning.

Detta gäller speciellt för generator 2. Generators infästning består av gångstänger som är ingjutna i golvet i maskinhallen. Syftet med provningen av dessa ingjutningar är:

- Verifiering av konstruktionslösningens resultat och den närliggande betongen
- Undersökning av e-modul med avseende på radiellt avstånd från järnen
- Undersökning av sprickförekomst kring järnen
- Jämförande provning av OFP-resultat och FP via analys av borrhärdor och BIPS

Uppströmsväggen, nedbrytning och ensidigtvattentryck

Uppströmsväggen i maskinsalen har stått under ensidigtvattentryck under drygt 70 år nu, här finns det stora möjligheter att undersöka hur betongens egenskaper har förändrats (förutsätter att det utförs liknande provningar på en representativ betong som inte utsatts för detta vattentryck). Tillgängligheten är sämre för uppströms vägg vid system 1 – 4. Däremot antas den södra väggen vid system 5 ha samma förutsättningar som uppströmsväggen. Denna vägg är nämligen lätt åtkomlig från taket vilket möjliggör vertikal borrhärdning. Syftet med denna provning är:

- Studera eventuella sprickors status, beroende på position i vertikal- och horisontalled men också beroende på läget i djupled (uppströms/nedströms i väggen)
- Betongens egenskaper (bl.a. e-modul) i djupled (uppströms/nedströms i väggen) vid olika positioner på väggen.
- Jämförande provning av sektioner på väggen som okulärt bedöms olika
- Jämförande provning av OFP-resultat och FP via analys av borrhärdor och BIPS

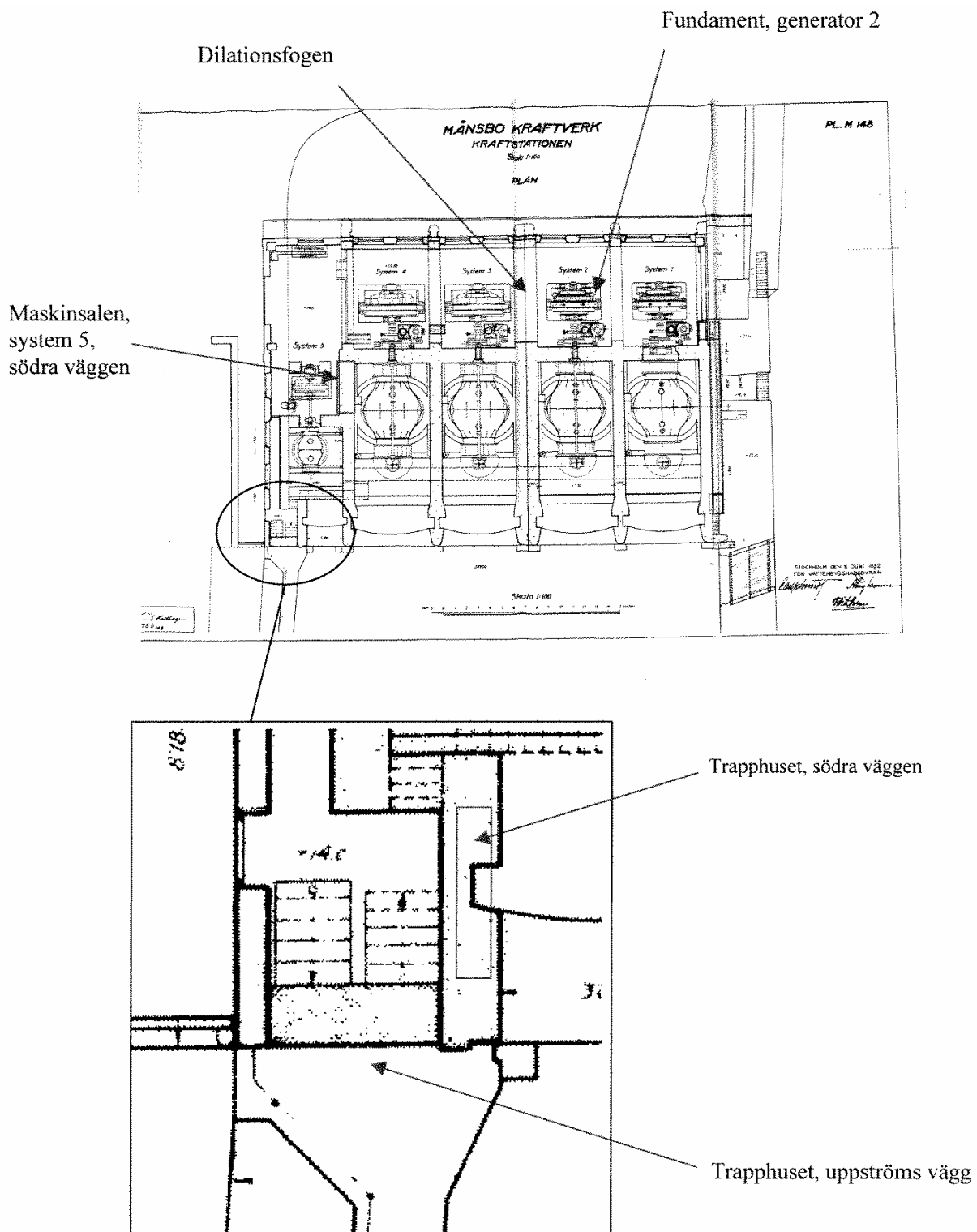
Referensvägg

För att kunna utföra en bedömning av om det ensidiga vattentrycket påverkar betongen (i exempelvis uppströmsväggen) måste denna jämföras med en betong från en vägg som inte är utsatt. Provning av denna referensbetong kan utföras på konstruktionsdelar som:

- Golv
- Vägg mellan bakre inspektionsgång och den sk "kyrkan"; tomt utrymme uppströms inspektionsgång.
- Uppströms vägg i främre inspektionsgång
- Partier högst upp i väggarna

Syftet med provningen är:

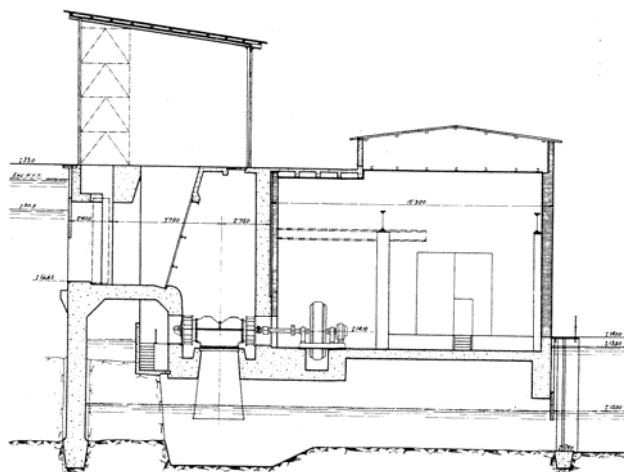
- Undersökning av kontaktytans tillstånd OFP och FP (kan också innefatta ingjutna bultar)
- Provning av vidhäftningshållfasthet
- Jämförande provning av OFP-resultat och FP via analys av borrhärdor och BIPS



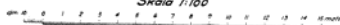
MÄNSBO KRAFTVERK
KRAFTSTATIONEN
Skala 1:100

PL. 3

Tvårsektion genom växelströmsaggregatet



Skala 1:100



Stockholm den 8. Okt. 1922
För Vattenbyggnadsstyrelsen
17823

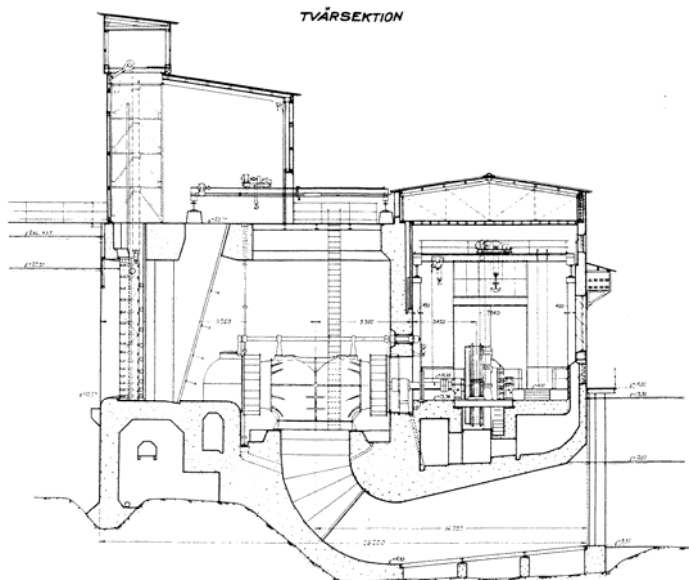
STOCKHOLM DEN 1 NOV. 1922
FÖR VATTENBYGGNADSBYRÅN

Carlström
Ståhl

MÄNSBO KRAFTVERK
KRAFTSTATIONEN
Skala 1:100

PL. M 147

TVÅRSEKTION



Skala 1:100



Stockholm den 8. Okt. 1922
För Vattenbyggnadsstyrelsen
17823

STOCKHOLM DEN 8 JUNI 1922
FÖR VATTENBYGGNADSBYRÅN

Carlström
Ståhl

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