

INVENTERING AV SPRICKBILDNING I AGGREGATNÄRA BETONGKONSTRUKTIONER

RAPPORT 2019:579



BETONGTEKNISKT PROGRAM
VATTENKRAFT



Inventering av sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner

**KJELL MEITON
LJILJANA PLAVSIC
AXEL KRISTENSSON
JONAS BJÖRNSTRÖM**

Förord

De svenska vattenkraftverken dimensionerades för att mer eller mindre vara i drift dygnet om. I dagsläget utnyttjas istället en allt större del av vattenkraften för att balansera den ökande andelen förnybar energi i energisystemet. Med ett ökat antal start och stopp utsätts stål- och betongkonstruktioner i och runt aggregaten för fler temperatursvängningar och därmed ökad risk för sprickbildning.

Syftet med detta projektet är att erhålla bättre kunskap om omfattningen av sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner. Kartläggningen har genomförts av Kjell Meiton, Ljiljana Plavsic, Axel Kristensson, Jonas Björnström som alla arbetar som konsulter på Norconsult.

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

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

Sammanfattning

På senare år har sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner uppmärksamats då denna typ av skador kan vara en möjlig orsak till uppkomna problem med vibrerande och felriktade rotoraxlar i vattenkraftverk.

Någon sammanställning av omfattningen av sprickbildning och de därpå följande problem som kan uppstå, eller på vilket sätt detta föranleder vattenkraftsbranschen att åtgärda sprickproblem i aggregatfundament har hittills inte utförts.

Med anledning av detta har Norconsult AB, på uppdrag av Energiforsk, utfört en enkätundersökning riktad mot de flesta större och medelstora vattenkraftbolagen i Sverige och sammanställt resultaten i denna rapport.

Det primära syftet med denna rapport är att erhålla en bättre bild av omfattningen av sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner och hur dessa skador möjligen relaterar till aggregattyp och driftsätt, rutiner angående besiktning av betongkonstruktioner samt vilka åtgärder som tillsatts efter skadeuppkomst.

En enkätförfrågning har utförts där anläggningsansvariga har haft möjlighet att beskriva sina erfarenheter och rutiner gällande sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner. Enkäten består av följande fyra delar:

- Aggregatinformation
- Tillståndskontroll och besiktningar
- Sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner
- Åtgärder och reparationer

Resultatet av enkätförfrågningen kan sammanfattas enligt nedan:

- Det förekommer generellt en relativt stor osäkerhet kring betongkonstruktionen, sprickbildning samt de rutiner som rör besiktning och dokumentering. Besiktning utförs oregelbundet och oftast av intern personal i första hand.
- Det finns en avsaknad av tillräcklig kunskap om sprickornas inverkan på aggregatet och ofta upplevs inte sprickbildning som något betydande problem.
- Sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner förekommer i en femtedel av de undersökta aggregaten. I två femtedelar av fallen förekommer ingen sprickbildning och i resterande två femtedelar av fallen så vet man inte om sprickbildning förekommer eller inte.
- Generellt verkar det förekomma mest sprickbildning kring statorfundamenten, jämfört med övre armkors och nedre armkors.
- Förekomst av sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner varierar relativt oberoende av år för driftstart. Dock har sprickor identifierats i några fler aggregat från 1970-talet.
- Bland de undersökta aggregaten är de allra flesta primärreglerande vilket tyder på att detta är det driftsätt som är vanligast förekommande i dagsläget.

Utifrån den begränsade datamängden går det inte att avgöra huruvida driftsättet är avgörande för förekomst av sprickbildning.

- I de fall där sprickbildning identifierats har det i två tredjedelar åtgärdats. Åtgärder tillsätts oftast efter utredning och råd från extern konsult. I vissa fall har ofördelaktiga vibrationer påträffats vilket även ställt krav på åtgärder. Reparationsmetoder varierar beroende på bakomliggande orsak till sprickuppkomst. Vanliga metoder innefattar vattenbilning och återgjutning samt injektering med epoxi och cement.

Summary

Concrete cracking in structures near hydroelectric generators has in recent years been observed since this type of damage could be a possible cause to further problems such as vibrating and misaligned rotors. However, any overview of the extents of these cracks and the possible resulting problems, has up until this point not been compiled. For this reason, Norconsult AB has on behalf of Energiforsk been conducting a survey aimed at the major hydropower companies operating in Sweden and summarized the results in this report.

The primary aim of this report is to obtain a better picture of the extents of concrete cracking in structures near hydroelectric generators and how these damages could relate to properties such as generator type, operating mode, routines regarding inspection of the concrete structure and repairs after damages has occurred.

A survey has been conducted where hydro plant managers has had the opportunity to express their experiences and routines regarding concrete cracking in structures near hydroelectric generators. The survey consists of the following four parts:

- Generator information
- Condition monitoring and inspections
- Concrete cracking near generators
- Repairs and other measures

The results of the survey can be summarized as below:

- There is generally a relatively large uncertainty regarding the concrete structure, cracking and the routines regarding inspections and documentation. Inspections are performed irregularly and usually primarily by internal staff.
- There is a lack of sufficient knowledge of the impact of concrete cracks near the generator and cracking is often not perceived as a significant problem.
- Concrete cracking in structures near generators occurs in of fifth of the examined cases. In two-fifths there were no cracking and in the remaining two-fifths the occurrence of cracks were unknown.
- Generally, the most prominent area for concrete cracks seems to be around the stator foundations, compared to the upper and lower arm brackets.
- The occurrence of cracking in generator-near concrete structures varies relatively independently regardless of year of operation start. However, cracks have been identified in some more structures from the 1970s.
- Most of the examined generators area primarily regulated, which indicates that this is the most common mode of operation today. Based on the limited data, it is not possible to determine whether the operating mode is crucial for the occurrence of concrete cracking.
- In the structures where cracking has been identifies, repairs and other measures has been applied in two-thirds of the cases. Measures are usually applied after investigation and recommendations from external consultants. In

some cases, unfavorable vibrations have been encountered which has increased the requirement for repairs. The repair method varies depending on the underlying cause of crack initiation. Common methods include hydro demolition and re-casting as well as injection with epoxy or cement.

Innehåll

1	Inledning	10
1.1	Bakgrund	10
1.2	Syfte	13
1.3	Metod	13
1.4	Avgränsningar	13
2	Teoretisk bakgrund	15
2.1	Aggregattyper	15
2.2	Infästningstyper	16
2.2.1	Statorinfästning	16
2.2.2	Övre armkorsinfästning	17
2.2.3	Nedre armkorsinfästning	18
2.3	Driftsätt	19
2.4	Betongsprickor	19
3	Utformning av enkät	21
3.1	Aggregatinformation	21
3.2	Tillståndskontroller och besiktningar	21
3.3	Sprickbildning i betongkonstruktioner	21
3.4	Åtgärder och reparationer	22
4	Resultat och analys av enkät	23
4.1	Besiktning och tillståndskontroll	23
4.2	Sprickbildning i betongkonstruktionen	24
4.2.1	Sprickbildning med avseende på infästningstyp	25
4.2.2	Sprickbildning med avseende på aggregattyp	26
4.2.3	Sprickbildning med avseende på år för driftstart	26
4.2.4	Sprickbildning med avseende på driftsätt	27
4.3	Åtgärder efter skadeuppkomst	28
5	Detaljstudie av två anläggningar	30
5.1	FALL 1	30
5.1.1	Bakgrund	30
5.1.2	Besiktning 2014-10-23	31
5.1.3	Besiktning 2018-07-17	33
5.1.4	Analys av demonterade statorfundament	34
5.1.5	Sammanfattning och slutsatser	35
5.2	Fall 2	36
5.2.1	Bakgrund	36
5.2.2	Beslut om åtgärder i samband med besiktning 2013-06-18	39
5.2.3	Val av injekteringsmetod	40
5.2.4	Besiktning 2014-06-17	41
5.2.5	Sammanfattning och slutsats	41

6	Diskussion	43
6.1	Resultat	43
6.2	Metodval	43
6.3	Felkällor	43
7	Slutsatser	44
7.1	Fortsatta studier	45
7.1.1	Utökat underlag	45
7.1.2	Bristande förståelse om sprickförekomst	45
7.1.3	Rutiner och metoder för utförande av sprickbesiktning	45
7.1.4	Effekt av spännförankringar för att motverka sprickbildning	46
8	Referenser	47

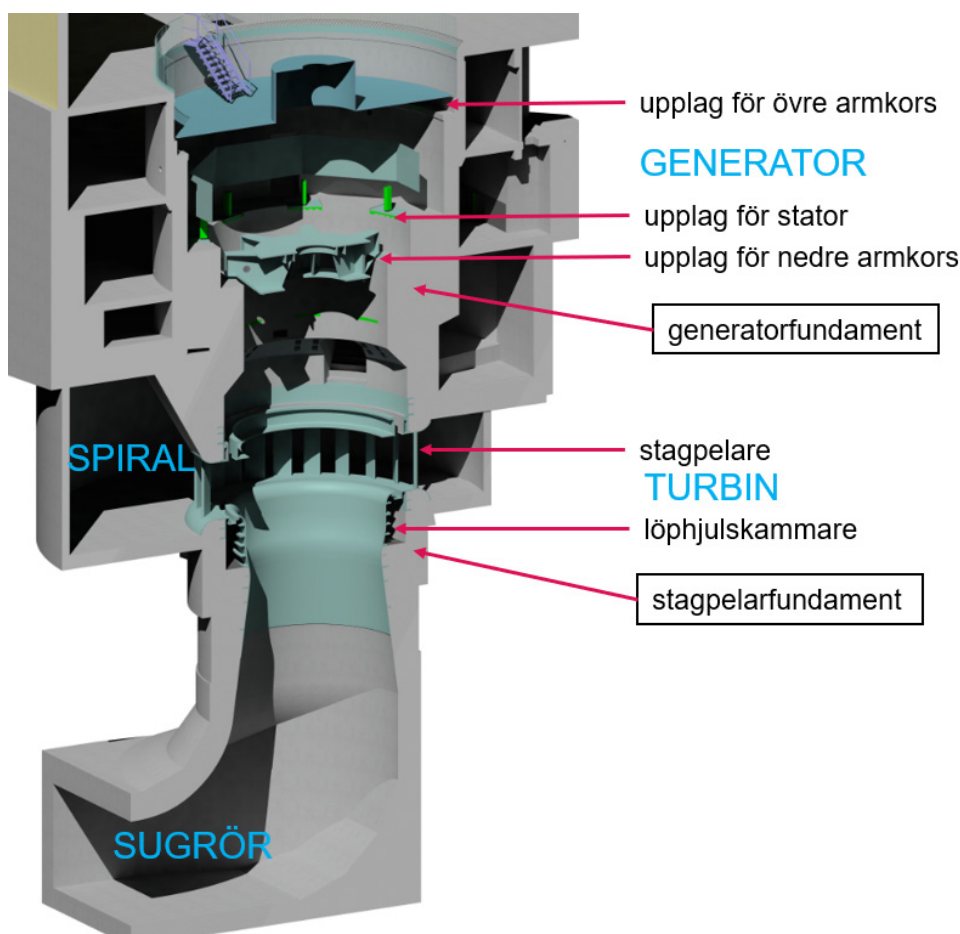
Bilagor

Bilaga 1 – Enkätförfrågan

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

På senare år har sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner uppmärksamats och i vissa fall även åtgärdats då man befarar att skadorna kan ge följdproblem exempelvis med tilltagande sprickbildning och problem med vibrerande och felriktade turbinaxlar i vattenkraftaggregat. I framförallt äldre vattenkraftsaggregat med vertikalaxlat Francis- eller Kaplanaggregat har, vid statusbesiktningar inför förnyelse i ett antal anläggningar, skador i form av sprickor i betongfundament upptäckts. I Figur 1 nedan illustreras aggregatnära betongkonstruktion i tvärsnitt.

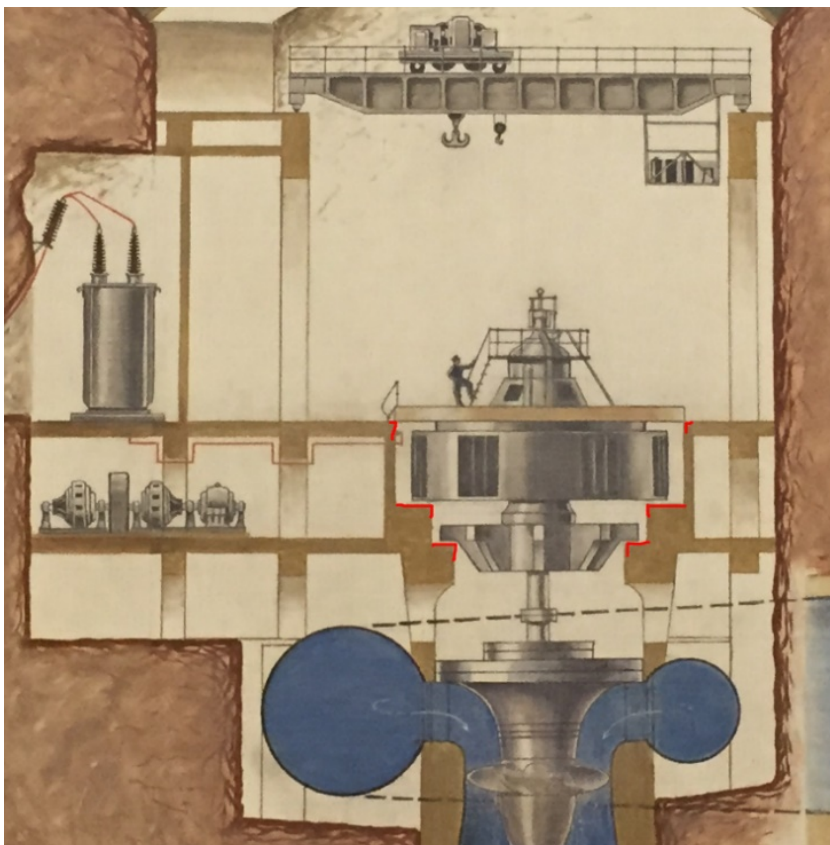


Figur 1 - Snitt genom kraftstation med delar av maskinutrustning

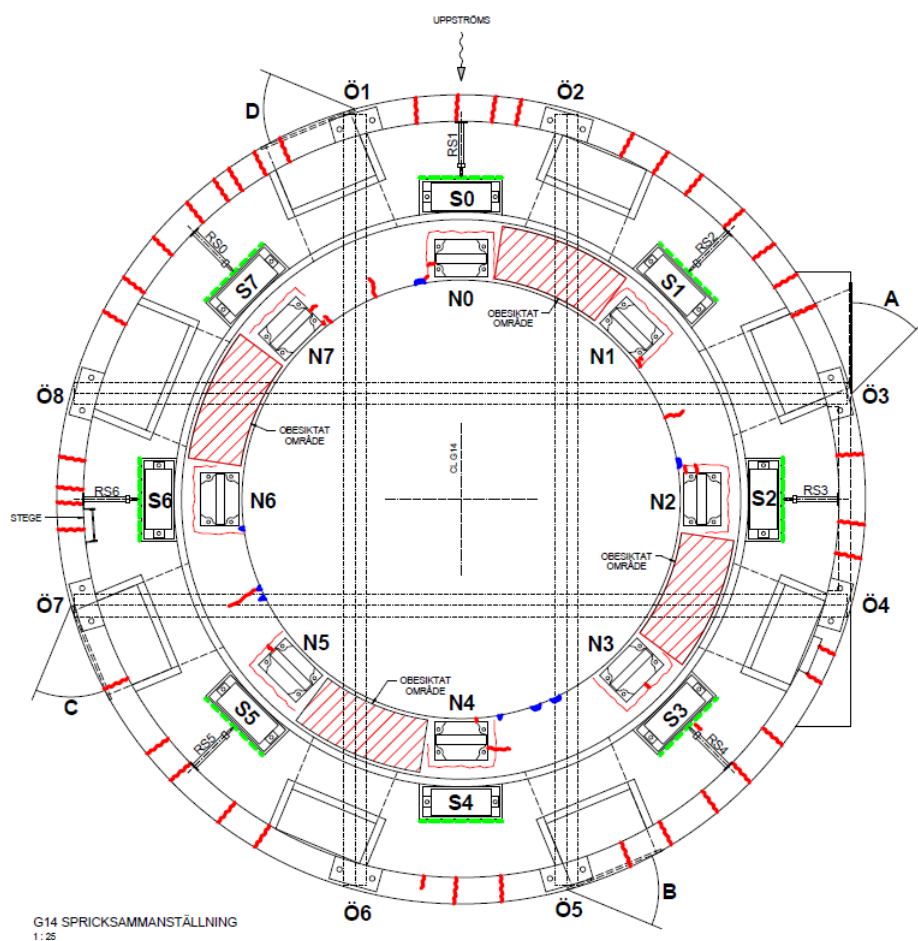
Orsaken till dessa sprickors uppkomst kan bland annat härledas till brister i statorfötternas rörelseförmåga. En annan orsak skulle kunna vara varierande temperatur i betongfundament orsakat av förändrade driftsituationer med många fler startar och stopp än vad anläggningarna ursprungligen var avsedda och dimensionerade för. Några faktiska belägg för att förändrat driftsätt orsakar

sprickbildning kan dock inte påvisas i tidigare utförda utredningar beträffande sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner.

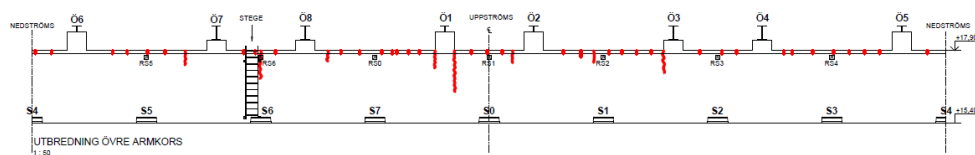
Företrädesvis har sprickor observerats vid infästning till övre armkors, vid statorupplag och upplag för nedre armkors. I Figur 2 till 5 nedan visas förekomst av sprickor i generatorfundament som får exemplifiera ett hur typiska sprickor kan förekomma i aggregatnära betongkonstruktioner.



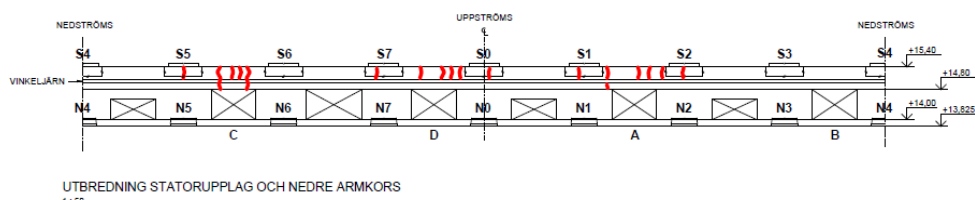
Figur 2 - Snitt genom fundament med markerat läge för sprickförekomst i rött.



Figur 3 - Spricksammanställning i plan markerat i rött. Betongskador är blåmarkerade. Upplag för övre armkors Ö1–Ö8, upplag för stator S0-S7 och upplag för nedre armkors N0–N7.



Figur 4 - Spricksammanställning i utbredning av generatorvägg under övre armkors.



Figur 5 - Spricksammanställning i utbredning av generatorvägg under stator och nedre armkors.

Problemet med sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner har tidigare studerats utifrån olika aspekter och redovisats bl.a. i Elforskrapporter [1]-[3].

Däremot har inte något statistiskt underlag funnits tillgängligt för att se omfattningen av problematiken.

1.2 SYFTE

Det primära syftet med denna rapport är att erhålla en bättre bild av omfattningen av sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner, hur dessa skador möjligen relaterar till aggregattyp och driftsätt samt vilka åtgärder som tillsatts efter skadeuppkomst.

1.3 METOD

En enkätförfrågning har utförts där anläggningsansvariga har haft möjlighet att beskriva sina erfarenheter och rutiner gällande sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner.

Enkäten har skickats till större och medelstora vattenkraftsbolag i Sverige, vilka är Statkraft Sverige AB, Uniper, Fortum, Jämtkraft AB, Mälarenergi AB och Vattenfall Vattenkraft AB.

Enkätförfrågningar har skickats ut och besvarats aggregat för aggregat vilket innebär att antalet förfrågningar innefattar totalt ca 180 st aggregat. Antalet svar som har inkommit är 69 st.

Enkäten är uppdelad i följande fyra delar och innehållet beskrivs ytterligare i kapitel 3.

- Aggregatinformation
- Tillståndskontroll och besiktningar
- Sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner
- Åtgärder och reparationer

Enkäten har förmedlats till kraftverksbolagen i syfte att uppnå en god variation av aggregattyper, geografiska lägen, typ av driftsätt och effekt.

Vidare har även en mer detaljerad studie av två anläggningar utförts. Detta är anläggningar där man har identifierat problem med sprickbildning och tillsatt åtgärder.

1.4 AVGRÄNSNINGAR

Det ligger utanför uppdragets omfattning att i detalj beskriva bakomliggande orsaker till sprickornas uppkomst eller att föreslå åtgärder för att avhjälpa problemen.

Sammanställningen av statistiskt säkerställda resultat begränsas av antalet undersökta aggregat. Totalt har data för 69 st. aggregat erhållits. Kvaliteten på den inkomna informationen varierar en hel del då kunskapsnivån kring betongkonstruktionen varierar bland kraftbolagen.

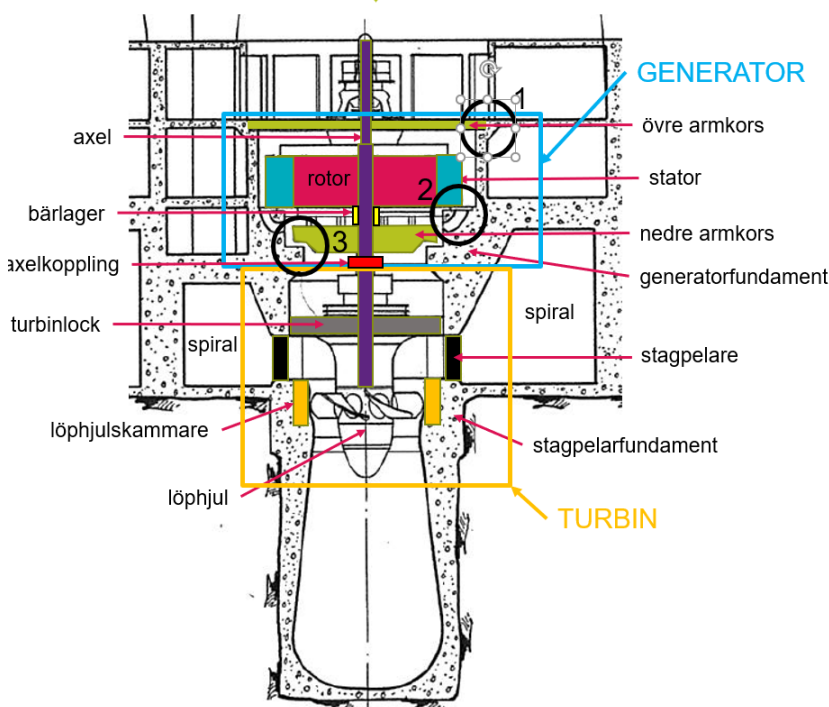
I ett antal anläggningar har upplag för främst stator och nedre armkors förankrats med hjälp av spännförankringar. Några av dessa förankringar har installerats i

konstruktionen redan vid uppförandet av anläggningen medan andra har installerats i efterhand vid förnyelse, reparation eller vid t.ex byte av generator. Någon särskild översyn beträffande dessa spännstags effekt avseende deras förmåga att motverka sprickbildning har inte formulerats eller efterfrågats i frågeenkäten. En sådan förfrågan skulle kräva en ganska omfattande redogörelse av frågeställningen för att erhålla korrekta svar och skulle även kräva en ytterligare arbetsinsats från anläggningsägarna. Därför har denna fråga utelämnats i denna undersökning.

2 Teoretisk bakgrund

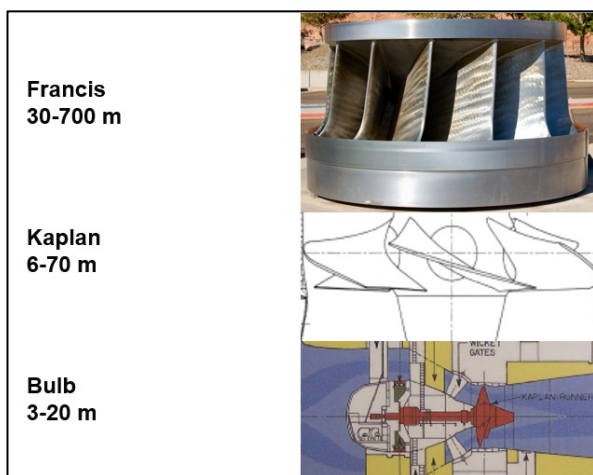
2.1 AGGREGATTYPER

Ett aggregat består av turbin, generator med axeln mellan dem och tillhörande kringutrustning, enligt Figur 6.



Figur 6 – Aggregatdelar med numrerat läge för infästningar - övre armkors (1), stator (2) och nedre armkors (3)

Aggregat har olika uppställningar beroende av bärlagrets läge, under eller över rotorn och kan vara vertikal eller horisontell. Turbinen väljs beroende av vattenflöde och fallhöjd enligt Figur 7. Det är de typer som förekommer i Sverige. En bulb är en rörturbin och inte en typ av turbin, det är mer en fråga om uppställning och har vanligtvis en Kaplanturbin.



Figur 7 – Turbintyper i Sverige beroende av fallhöjd.

2.2 INFÄSTNINGSTYPER

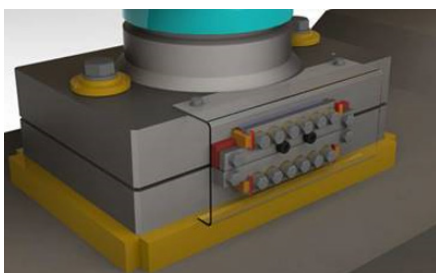
Det är viktigt att förstå vilka krafter och moment som förs ner i betongen och hur olika typer av infästningar fungerar avseende möjligheter och begränsningar för kraftöverföring via fundamentplattor till betongkonstruktionen. Infästningstyp bedöms vara en viktig parameter vid bedömning av sprickor i aggregatnära betongkonstruktioner. Exempelvis innebär ledade, rörliga eller glidande infästningar att vissa deformationer tillåts och kraft- och momentfördelningen över infästningarna omfördelas i systemet. Infästningar kan utformas på många olika sätt.

2.2.1 Statorinfästning

Statorn för över krafter från egenvikt, magnetiska laster och lagerlaster till fundamentet. Det är svårt att exakt definiera typ av statorinfästningar avseende infästningsanordning (rörlig eller fast) eftersom nästan varje aggregat är unikt. Statorfötter kan vara: rörliga (glidande, flexpelare, oblika flexpelare) eller fasta. Se exempel nedan i Figur 8 – 11.



Figur 8 – Rörlig, glidande fot. Foten kan glida i radiell led för att ge lägre krafter pga. termisk utvidgning



Figur 9 - Statorfoten står på lameller vilket gör den rörlig i radiell led för att ge lägre krafter pga. termisk utvidgning



Figur 10 - Fast statorfot. Ger större radiella krafter pga termisk utvidgning



Figur 11 – Fast men flexande statorfot (första två bilder till vänster visar en oblik pelare)

2.2.2 Övre armkorsinfästning

Övre armkors (balkar) vilar i ena änden på statorn och i andra änden på generatorväggen. Den för över lagerlaster till statorn och eventuellt till fundament beroende av infästning. Den bär också övre täckning och maskintopp (kombinator). Infästning kan vara fast eller ledad (kan röra sig i skruvleden med hjälp av håltolerans) i radiell riktning, enligt Figur 12 - 15 nedan.



Figur 12 - Ledad och odämpad – ger små krafter till fundament om den kan röra sig i skruvhålen.



Figur 13 - Övre armkorsinfästning – Fast och odämpad - ger höga krafter från termisk utvidgning



Figur 14 - Fast och dämpad ger låga radiella krafter och dämpning av vibrationer



Figur 15 - Fast och odämpad.

2.2.3 Nedre armkorsinfästning

Nedre armkors bär vanligtvis ett bärlager och/ eller ett styrlager vilket ger att det utsätter fundamentet för olika radiella, tangentiella och axiella krafter och moment.

Typiska infästningsdetaljer för nedre armkors enligt Figur 16 – 17.



Figur 16 - Fast - ger stora radiella krafter från termisk utvidgning



Figur 17 - Fast men flexibel i radiell led som ger lägre laster på grund av termisk utvidgning.

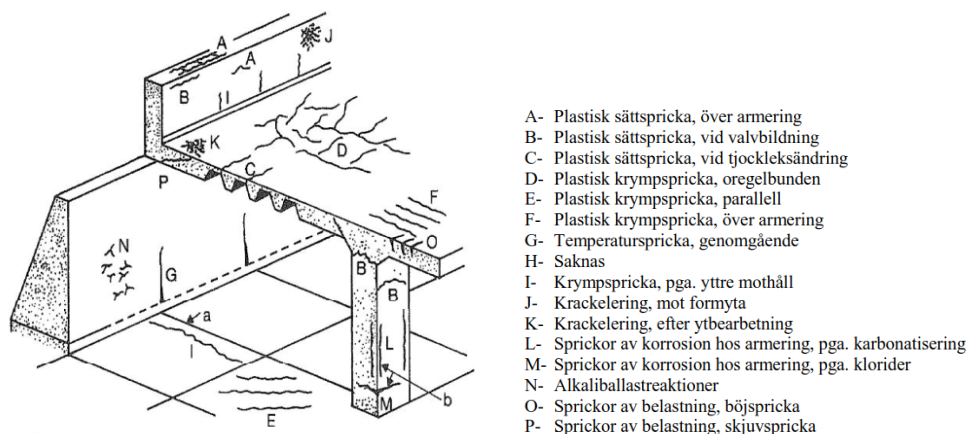
2.3 DRIFTSÄTT

Vattenkraftverk kan användas för att generera såväl baskraft (den mängd el som alltid behövs) som reglerkraft (elproduktion som kan startas snabbt för att möta variationer i efterfrågan, t.ex. mycket el på morgonen och mindre på natten). Frekvensreglering hjälper till att hålla frekvensen stabil på nätet och kan delas upp i primär och sekundärreglering. Frekvensreglering innebär reglering av pådrag och kan även innebära fler start och stopp och större belastning på konstruktionen jämfört med kontinuerlig baskraft, vilket möjligen skulle kunna vara kopplat till förekommande sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner.

2.4 BETONGSPRICKOR

Sprickbildning i betong kan uppstå ifrån flera typer av externa och interna effekter vilka kan sammanställas i följande tre kategorier, se Figur 18 - 19.

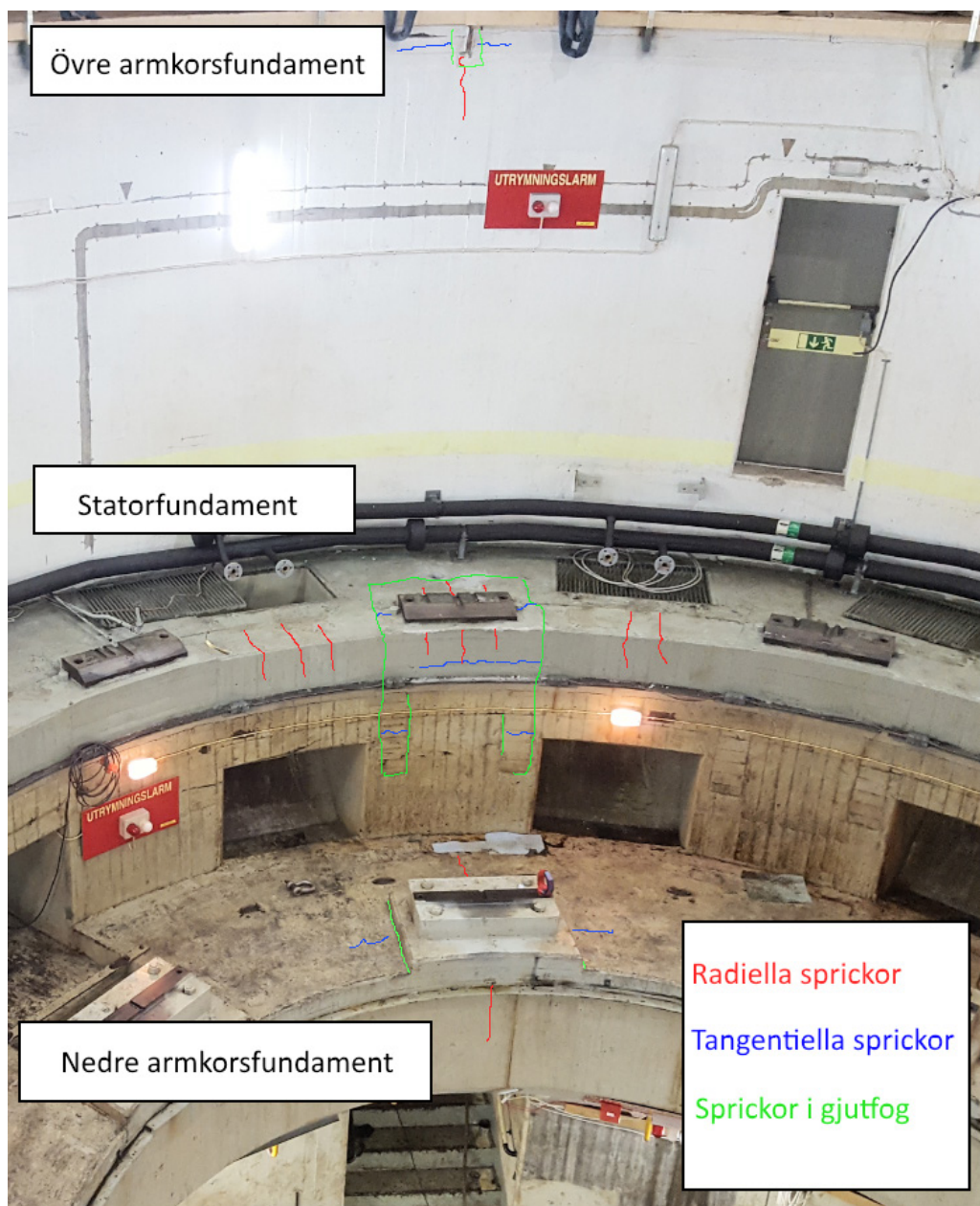
- **Materialtekniska sprickor:** Beaktar sprickor som uppkommer från kemiska processer samt tvångskrafter från krympning och temperaturvariation.
- **Belastningssprickor:** Uppkommer vid överbelastning av konstruktionen, inverkan av långtidsbelastning och krypning samt sättning i grund.
- **Sprickor från bristande utförande:** Vanligt förekommande sprickor inkluderar plastiska krympsprickor, temperaturhårdningssprickor och sprickor i fogar.



Figur 18 – Exempel på olika typer av sprickbildning i betongkonstruktioner. (Petersons, 1994)

Beträffande sprickbildning i ett generatorfundament blir konsekvensen att armeringsstålet måste ta upp huvuddelen av dragspänningarna och därmed försämras styvheten betydligt, särskilt då stålet når sin sträckgräns och börjar plasticera. Generatorfundament är utsatta för utmattningsslaster och i förekommande fall termiska laster vid start och stopp.

Efter uppsprickning ökar deformationshastigheten och sprickorna propagerar snabbare. (M. Larsson 2008)



Figur 19 – Typ av sprickor som kan förekomma i ett generatorfundament.

3 Utformning av enkät

Frågeenkäten har utformats i syfte att smidigt och enkelt kunna besvaras av anläggningsansvarig för de olika aggregaten. Syftet är att sammanställa generell information om aggregaten, rutiner kring besiktning samt skadebildning och åtgärder för aggregatnära betongkonstruktioner. För detaljerad genomgång av enkäten hänvisas till Bilaga 1.

3.1 AGGREGATINFORMATION

Denna del fokuserar på att samla information som rör det aktuella aggregatet (turbintyp) däribland följande parametrar:

- Aggregattyp: Kaplan, Francis, Rörturbin, m.fl.
- Driftstart, årtal för det aktuella aggregatet.
- Driftsätt: Baskraft, primärreglerande aggregat eller sekundärreglerande aggregat.
- Infästningsdetaljer för armkors och stator. Beskriver styvhets- och dämpningsegenskaper för de olika infästningarna.

3.2 TILLSTÅNDSKONTROLLER OCH BESIKTNINGAR

Del två belyser kraftverksbolagens rutiner gällande kontroll och besiktning av betongkonstruktionen i aggregatnära miljöer.

- Tillståndskontroller: Frågor kring huruvida de utförs, hur ofta, och om de inkluderar kontroll av den aggregatnära betongkonstruktionen.
- Besiktning av betongkonstruktioner och hur ofta de utförs.
- Krav på besiktningsmannens kompetens och metoder.
- Dokumentation av sprickbesiktning och vad som inkluderas i besiktningsrapport.

3.3 SPRICKBILDNING I BETONGKONSTRUKTIONER

Denna del behandlar följande:

- Huruvida sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner förekommer och i så fall var i konstruktionen samt vilken typ av sprickbildning.
- När skadorna upptäcktes samt uppskattad trolig orsak.
- Om befarad risk för sprickbildning eller skador orsakat störningar i driften, ändrat körsätt eller avbrott.

3.4 ÅTGÄRDER OCH REPARATIONER

Slutligen sammanställs information gällande de åtgärder som tillsats till följd av problematik med sprickbildning:

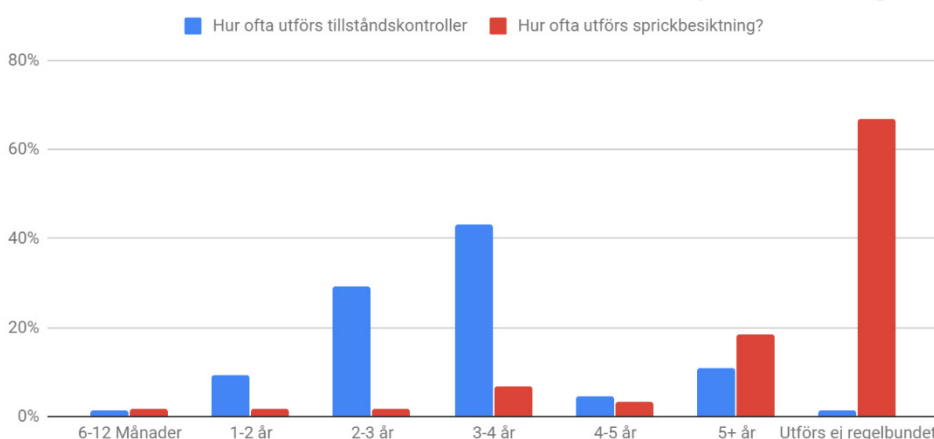
- Huruvida åtgärder har tillsats och i så fall på vilka beslutsgrunder.
- Beskrivning av vilka reparationsmetoder som använts, däribland vattenbildning och återgjutning, cementinjektering, epoxiinjektering samt polyuretaninjektering.
- Kostnader för utförda reparationer samt produktionsbortfall.

4 Resultat och analys av enkät

4.1 BESIKTNING OCH TILLSTÅNDSKONTROLL

Tillståndskontroller av generator, turbin och axel utförs regelbundet för näst intill samtliga av de undersökta aggregaten, se Figur 20. Tidsintervallet mellan kontrolltillfällena har viss variation men c:a 75% av de tillfrågade utför kontroller var 3:e år. Om det finns kompetens på plats vid tillståndskontroll utförs även en kontroll av aggregatnära betongkonstruktioners kondition i 25% av fallen.

Hur ofta utförs tillståndskontroller och Hur ofta utförs sprickbesiktning?



Figur 20 - Frekvens för tillståndskontroll och sprickbesiktning. Y-axeln beskriver andel aggregat i procent.

Gällande särskild besiktning av sprickor i betongfundament så uppger endast en fjärdedel av de tillfrågade att besiktning sker regelbundet och frekvensen för dessa tillfällen är betydligt lägre än motsvarande för tillståndskontroller. Vid frågan om varför besiktning av betongkonstruktioner ej utförs framgår följande punkter:

- Bristande kunskap om sprickornas inverkan på aggregatet
- Särskild besiktning av betongkonstruktioner kräver avstängning av aggregatet
- Vid misstanke om betongskada/spricka anlitas besiktningsman
- Betongkonstruktioner är svårtillgängliga
- Upplevs inte som något betydande problem
- Inga rutiner under våra FU stopp som berör betongkonstruktioner.
- Har inte utfört kontroll av sprickor tidigare
- Upplevs inte som något betydande problem
- Lite bortglömt skulle jag tro, om det uppmärksammats sprickor i vattenväg utförs besiktning

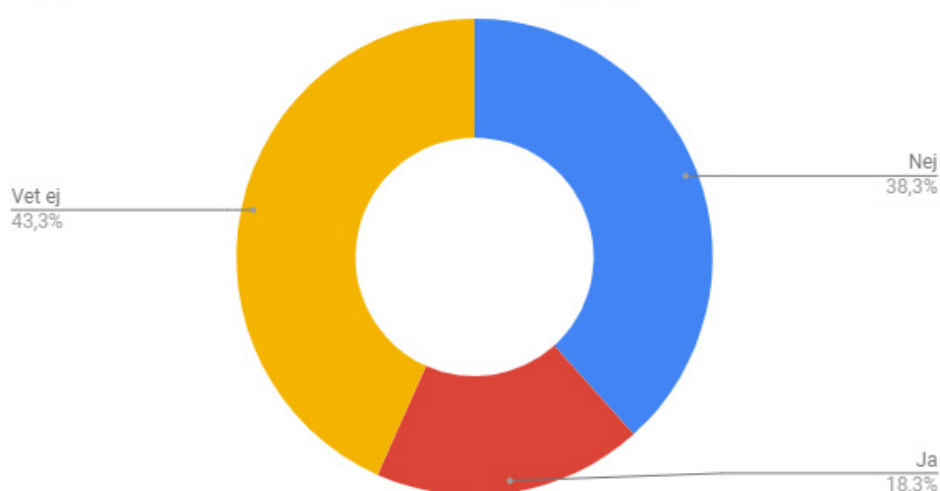
Generellt så verkar besiktningar utföras av intern personal i första hand och extern konsult kopplas in då man upptäcker problem med sprickor. Stora krav ställs på besiktningsmannens kompetens, dock är det inte särskilt många av de tillfrågade som specificerar kompetenskrav mer noggrant. Vissa kräver minst 10 års erfarenhet medan andra inte vet vilka krav som ställs.

Dokumentationen av sprickbildning sker på många olika sätt och med varierad grad av noggrannhet. Här finns även en hel del okunskap då mer än hälften av de tillfrågade inte vet vad som dokumenteras. I de flesta fallen dokumenteras sprickor i en besiktningsrapport med fotobilaga. I vissa fall utförs en mer noggrann kartering med mätning av sprickvidd, spricklängd och sprickdjup. I enstaka fall utförs en mer noggrann analys av sprickornas inverkan på betongens styvhet.

4.2 SPRICKBILDNING I BETONGKONSTRUKTIONEN

Denna del av enkätförfrågningsen syftar till att sammanställa information om hur omfattande problematiken med sprickbildning är i de olika anläggningarna. Svaren på frågan om det förekommer sprickbildning tyder på relativt stor okunskap om problemets omfattning då drygt 40 % av de tillfrågade inte visste om sprickor förekommer eller inte. Av de som hade svar på frågan framgår att sprickbildning förekommer på ungefär en tredjedel av alla aggregat, se Figur 21.

Har sprickbildning kring armkorsinfästningar, statorfundament, stagpelare eller löphjulskammare identifierats hos det aktuella aggregatet?



Figur 21 – Sprickbildningen omfattning i de undersökta anläggningarna.

Resultaten tyder på att sprickbildning ofta uppkommer vid drifttagande efter byggnation eller förnyelse samt vid haveri.

I några få inkomna svar, c:a 3 av 70, har det uppgetts att sprickor förekommer i löphjulskammare, stagpelare och servoinfästningar.

Sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner har gett upphov till följande förändringar och komplikationer:

- Minskad effekt
- Ändrat körsätt
- Omfördelning av belastning mellan aggregat
- Justeringar och extra kontroller

- Inget ändrat körsätt, men stopp för utredning och mätning utförs fortlöpande
- Ändrat körsätt, för närvarande begränsningar av reglering, FCR tillåts ej, A-FRR i begränsad omfattning
- Extra kontroller fram till aggregatförnyelse
- Injektering, omkonstruktion, förstärkning

4.2.1 Sprickbildning med avseende på infästningstyp

Nedan i Tabell 1 presenteras infästningstyp för de fallen där sprickbildning förekommer vid övre armkorsfundament, statorfundament eller nedre armkorsfundament. Fasta infästningar verkar vara något mer framträdande bland de aggregat där sprickbildning förekommer men det är svårt att fastställa något direkt samband. Sprickor verkar vara något mer framträdande vid statorfundament. Detta skulle möjligen kunna bero på att dessa ytor är mer tillgängliga och sprickor kan lättare identifieras vid besiktning. Fördelningen av fundamentlaster mellan armkors- och statorfundament varierar beroende på aggregatets utformning och det är inte möjligt att generellt bedöma vilket område som belastas mest. Det är dessutom är det svårt att exakt definiera infästningstyp vilket ger en osäkerhet i inkomna svar.

Beträffande sprickvidder har inga uppgifter om detta inkommit och det har inte heller begärts i frågeenkäten då en sådan förfrågan skulle ha inneburit ett alltför omfattande undersökande arbete hos anläggningsägarna.

Tabell 1 - Infästningstyp i de fall där sprickbildning uppkommit

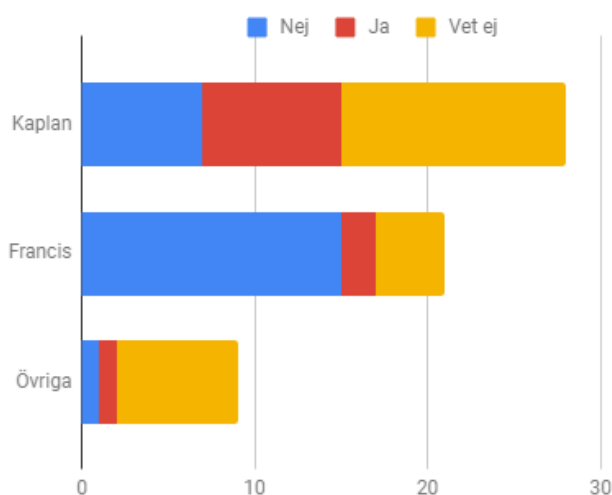
Infästningstyp övre armkors	Typ av sprickbildning som förekommer
Rörlig	Radiella sprickor, Tangentiella sprickor
Fast	Diverse sprickor i hela generatorfundamentet
Fast, Förspänd	Radiella sprickor, I spiralingjutning
Infästningstyp stator	Typ av sprickbildning som förekommer
Oblika ben	Radiella sprickor, Tangentiella sprickor
Fast	Radiella sprickor, Tangentiella sprickor
Rörlig	Tangentiella sprickor, Sprickor i gjutfogar
Fast, Odämpad	Radiella sprickor, Tangentiella sprickor
Rörlig	Diverse sprickor i hela generatorfundamentet
Fast, Ingjuten i betongkonstruktion	Sprickor i gjutfogar, Sprickor i undergjutningar av statorfötterna.
Fast, Odämpad, Oblik	Tangentiella sprickor, Sprickor i gjutfogar

Infästningstyp stator	Typ av sprickbildning som förekommer
Rörlig, Dämpad, Glidande	Radiella sprickor, Tangentiella sprickor, Sprickor i gjutfogar
Infästningstyp nedre armkors	Typ av sprickbildning som förekommer
Fast	Diverse sprickor i hela generatorfundamentet
Fast, Förspänd, Odämpad	Radiella sprickor, Tangentiella sprickor
Fast, Odämpad	Tangentiella sprickor, Sprickor i gjutfogar

4.2.2 Sprickbildning med avseende på aggregattyp

Förekomsten av sprickor verkar vara mer framträdande hos aggregat av typ Kaplan jämfört med Francis, enligt Figur 22. Här är viktigt att understryka att denna korrelation inte behöver innebära orsakssamband. Dessutom är osäkerheten stor med en betydande mängd svar där man inte vet om sprickor förekommer eller inte.

Har sprickbildning kring armkorsinfästningar, statorfundament, stagpelare eller löphjuskammare identifierats hos det aktuella aggregatet?



Figur 22 - Förekomst av sprickor för olika typer av aggregat. X-axeln uttrycks i antal aggregat.

4.2.3 Sprickbildning med avseende på år för driftstart

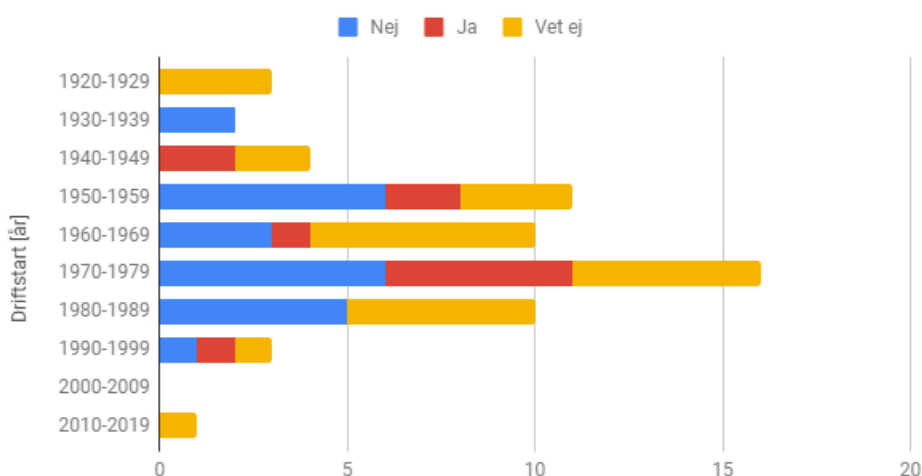
Sprickor kring aggregatnära betongkonstruktioner har analyserats i relation till år för driftstart, se Figur 23. Även i detta fallet är osäkerheten i resultaten relativt stor då många av de tillfrågade inte hade någon uppfattning om sprickförekomsten i betongen kring aggregatet. Flest aggregat med sprickförekomst är de med driftstart på 1970-talet. Möjligen skulle detta kunna kopplas till variationer i de

byggnormer och byggregler som ligger till grund för utformningen av anläggningarnas betongkonstruktioner.

Exempelvis har i gällande betongnormer krav på cementshalt, tryckhållfasthet, vattencementtal, inblandning av silikastoft och flygaska, täckande betongskikt, cementtyper och miljöklasser varierat mycket och med tiden skärpts.

Beträffande krav på maximal sprickvidd ställdes ända fram till 1979 inga myndighetskrav på detta. Därefter har kravet på den maximalt tillåtna sprickvidden varierat tämligen kraftigt. (Fagerlund G, 2010)

Har sprickbildning kring armkorsinfästningar, statorfundament, stagpelare eller löphjulskammare identifierats hos det aktuella aggregatet?



Figur 23 - Förekomst av sprickor i relation till året för driftstart. X-axeln uttrycks i antal aggregat.

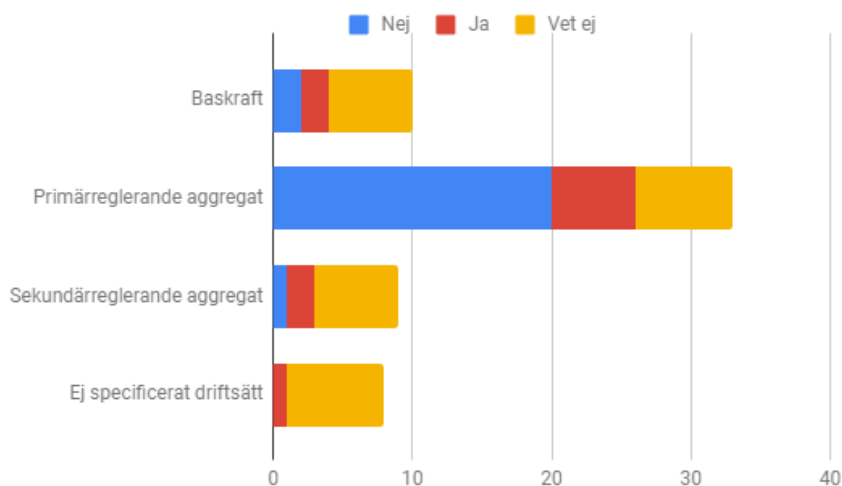
4.2.4 Sprickbildning med avseende på driftsätt

En annan viktig parameter vid analys av sprickor i aggregatnära betongkonstruktioner är driftsättet hos aggregatet. Figur 24 tyder på att en majoritet av aggregaten agerar primärreglerande. Gällande förekomst av sprickor så är det svårt att dra några direkta slutsatser då osäkerheten i de inkomna svaren är relativt stor.

Osäkerheten kan främst bero på hur man tolkar begreppen primär- respektive sekundärreglering eller skillnader i driftsätt för respektive regleringssätt, se 2.3 **Driftsätt**. Att ett aggregat är primär- eller sekundärreglerat behöver inte nödvändigtvis betyda många start och stopp som kan ge ogynnsamma temperaturväxlingar. Det kan även betyda att driften regleras med hjälp av på- eller avdrag av flödet via ledskenor, vilket i så fall endast har en marginell

inverkan på temperaturen i generatorkammaren.

Har sprickbildning kring armkorsinfästningar, statorfundament, stagpelare eller löphjulskammare identifierats hos det aktuella aggregatet?

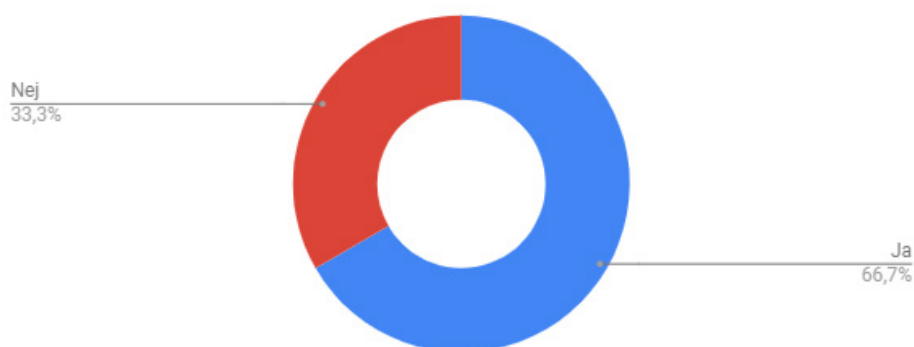


Figur 24 – Förekomst av sprickor för aggregat med varierande driftsätt. X-axeln uttrycks i antal aggregat.

4.3 ÅTGÄRDER EFTER SKADEUPPKOMST

För en stor andel av de aggregat där sprickor i aggregatnära betongkonstruktioner förekommer har åtgärder tillsats enligt Figur 25.

Har sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner åtgärdats för det aktuella aggregatet?



Figur 25 - Har åtgärder tillsats mot sprickbildning i de fallen där skador förekommit.

Reparationsmetoder omfattar i många fall vattenbildning och återgjutning och epoxiinjektering eller cementinjektering. I vissa fall förekommer mekanisk bilning. Reparationsmetod beror på bakomliggande orsaker för sprickuppkomst och är aggregatspecifikt. Följande faktorer ligger ofta till grund för att åtgärder satts in:

- Efter utredning t.ex. beräkningskontroll
- Rädsla för spricktillväxt
- Råd från extern konsult
- Efter att ofördelaktiga vibrationer identifierats
- Förebyggande

5 Detaljstudie av två anläggningar

I uppdraget har en mer detaljerad studie av två anläggningar utförts. Det är anläggningar där man har identifierat problem med sprickbildning, där besiktning av sprickbildning har utförts och där åtgärder satts in för att avhjälpa problemen.

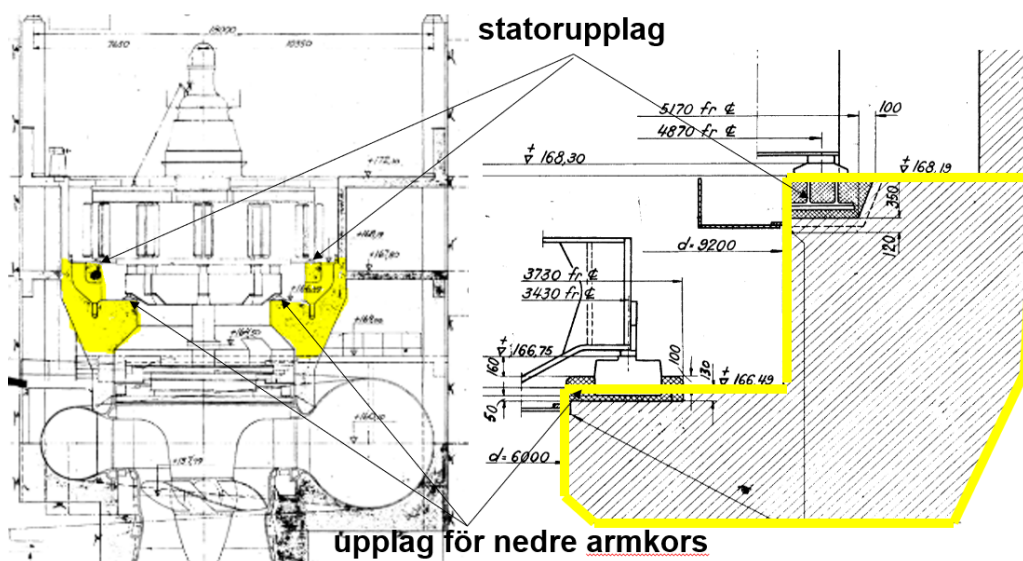
5.1 FALL 1

På uppdrag av en anläggningsägare före planerad förnyelse och byte av aggregat utfördes besiktning av Norconsult AB på uppträdande sprickbildning i ett större generatorfundament (G2). Vid aggregatbyte då statorn var demonterad, år 2018, var det möjligt att närmare inspektera sprickor, följa upp och jämföra sprickutveckling.

5.1.1 Bakgrund

Anläggningen är en underjordisk kraftstation, belägen i Luleälven. Den har tre aggregat. Aggregat G1 och G2 togs i drift år 1954. Aggregat G3 är utbyggd i en senare etapp, togs i drift år 1982 och är belägen i ett eget bergutrymme vid sidan av G1-G2. Generatorfundamentet består av en armerad ringformad betongkonstruktion enligt Figur 26

Effekt:	340 MW (2x 75,8MW + G3), Nya G2 blir 85MW
Årsprod.:	800 GWh totalt
Fallhöjd:	40 m
Aggregattyp:	Kaplan
Driftsätt:	Effektreglering
Infästn. övre armkors:	Ledad, odämpad
Infästn nedre armkors:	Fast och odämpad. Momentstyv fundamentplatta
Infästn statorupplag:	Rörlig, glidande fötter
Driftstart:	1954



Figur 26a - Snitt genom aggregat och generatorfundament med upplag för stator och nedre armkors

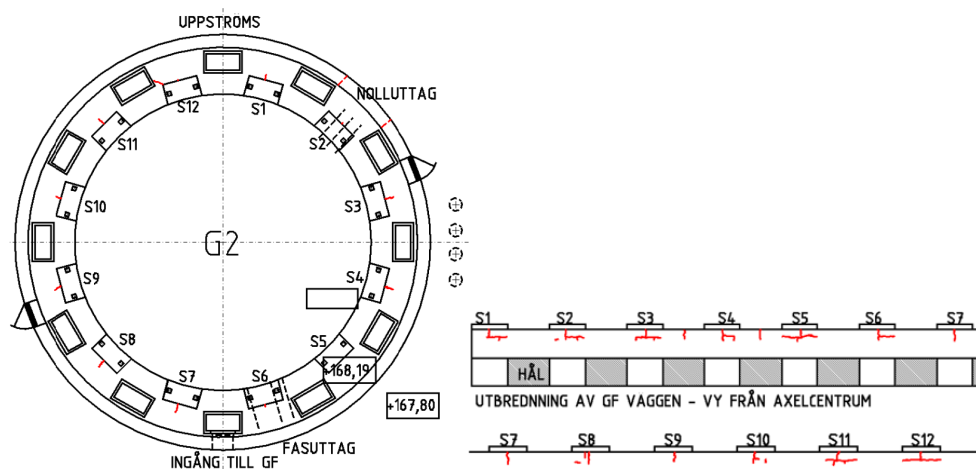
Figur 26b -Detalj av upplag (gulmarkerat i Figur 26a)

Statorupplagen är upplagda på stålbalkar (äldre IPE-balk), placerade i ursparning i konstruktionsbetongen. Stålbalkarna är i sin tur bultförankrade till konstruktionsbetongen. Stålbalkar har efter montering och injustering i höjd och sidled undergjutits med ett fingraderat lättflytande undergjutningsbruk.

Upplag för nedre armkors har utförts på ett liknande sätt men i detta fall saknas underliggande stålbalkskonstruktion då själva upplagsplåten är högre och kraftigare.

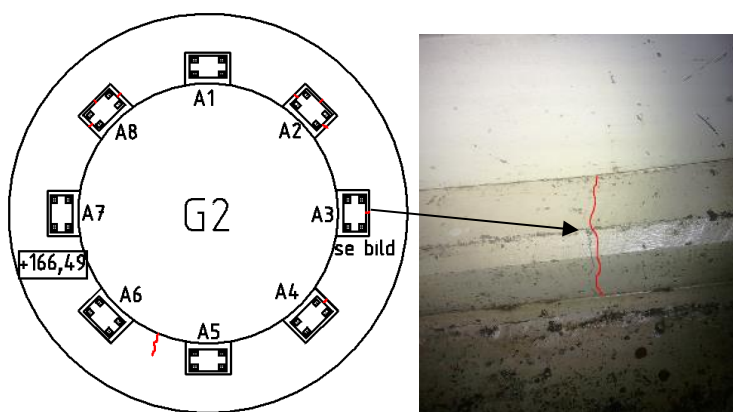
5.1.2 Besiktning 2014-10-23

Inspektionen utfördes på insidan av generatorkammaren, genom gallerdurk som ligger i dörröppnings nivå på +168,90. Det gick inte att komma närmare statorfoten på grund av trångt utrymme under gallret. Betongkonstruktionen kring alla 12 statorupplag är i relativt gott skick. Vid varje upplag, förutom nr. 5, finns det 2-15 mm långa, smala sprickor. Sprickvidd uppskattas till mindre än 0,1 mm. Sprickor mellan grundplattorna för stator gick inte att inspektera på grund av att den inte var demonterad. Skiss av sprickbildning av generatorfundamentets vägg under statorfötter visas i utbredd vy, se Figur 27. Sprickor uppkommer endast c:a 400 mm under statorfötter, som tyder på att de förekommer enbart inom undergjutet betongkonstruktion.



Figur 27 - Sprickbildning kring statorfundament från besiktning 2014, plan och vy från axelcentrum

Inspektionen av nedre armkorsupplag utfördes från insida generatorfundament och genom ingång från utsidan vägg. Utrymmet var inte så trångt som det brukar vara, ca 1,7 m högt. Mörkt och torr miljö. Upplag för nedre armkors är undergjutet. Sprickor uppträder på undergjutet betongyta, runt upplag nr. 2, 3, 4 och 8. Se skiss av sprickor och bild av spricka för upplag nr. 3 i Figur 27. På nivå +166,49, förekom endast en enskild spricka mellan upplag nr. 5 och nr. 6. Sprickvidd, som uppmätts med hjälp av bladmått, bedöms vara mindre än 0,10 mm. Sprickornas djup var ej möjligt att mäta eller bedöma visuellt. Noterat spricka mellan upplag 5 och 6 verkar vara genomgående och fortsätter neråt i väggen.



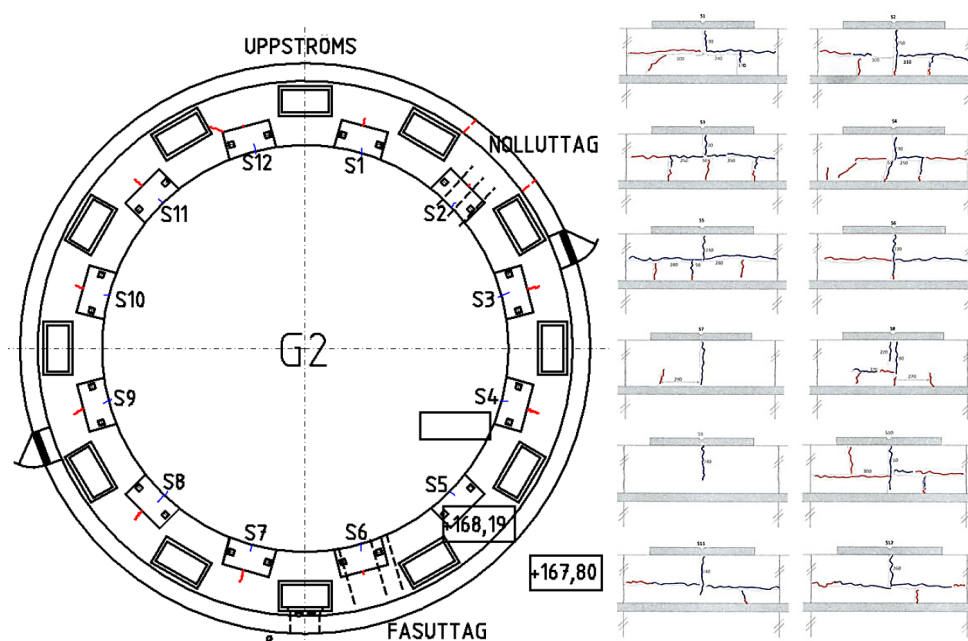
Figur 28 - Sprickbildning runt och mellan upplag för nedre armkors.

Sammanfattningsvis bedömdes betongkonstruktioner kring stator- och armkorsupplag okulärt i bra kondition med viss sprickbildning i betongen. Förekomsten av sprickor innebär en reduktion av hållfasthet och styvhet hos betongkonstruktionen varpå följande rekommendationer fastställdes:

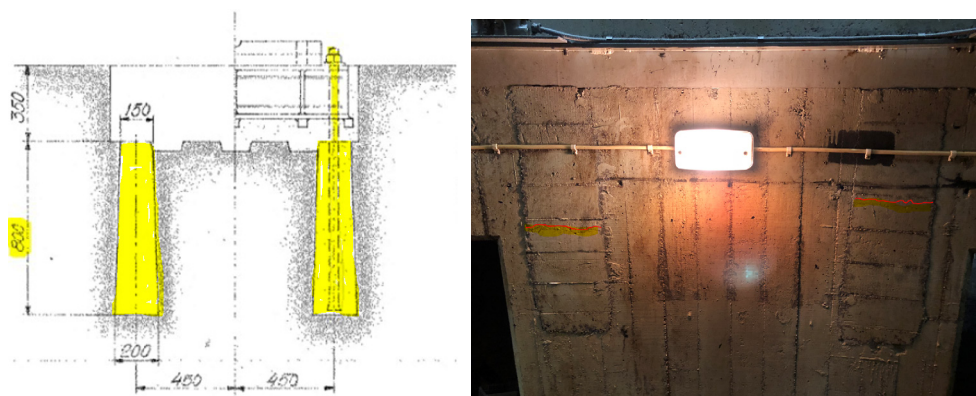
1. En statisk bärlighetsutredning bör utföras för stator- och armkorsfundament baserat på lasterna från den nya generatoren.
2. För att säkerställa erforderlig hållfasthet för framtida drift rekommenderas att befintlig betong kring statorfundament vattenbilas och ersätts med ny betong.

5.1.3 Besiktning 2018-07-17

Då statorn var demonterad kunde betongen kring statorfundamenten med enkelhet inspekteras. Nedan sammanfattas sprickorna som identifierades vid besiktningstillfället 2018-07-17. Sprickor finns även på sidan mot axeln, som sträcker sig rakt ner i väggen, se Figur 29. Blå sprickor identifierades vid tidigare besiktning år 2014 och röda kompletterande sprickor vid besiktning 2018. Några korta horisontella sprickor noterades i undergjutningar i ursparningar för befintliga förankringsbultar, se Figur 30.



Figur 29 - Sprickbildning kring statorfundament i plan.



Figur 30 - Sprickbildning i undergjuten betong kring statorfundamentbultar.

Resultaten verkar indikera att sprickorna har ökat i utsträckning. Detta skulle kunna bero på ett förändrat driftmönster eller genom uppkomst av tvångskrafter till följd av temperaturlastningar. Möjligen kan man argumentera för att det var mycket enklare att upptäcka sprickor vid den senaste besiktningen då statorn var bortplockad. Detta skulle kunna innebära att de mer utsträckta sprickorna fanns vid det tidigare besiktningstillfället men då var mycket svåra att identifiera.

Statisk bärighetsberäkning av statorinfästningen och upptäckten om tillväxt hos sprickbildning låg till grund för beslutet att ta bort befintliga fundament och ersätta dessa.

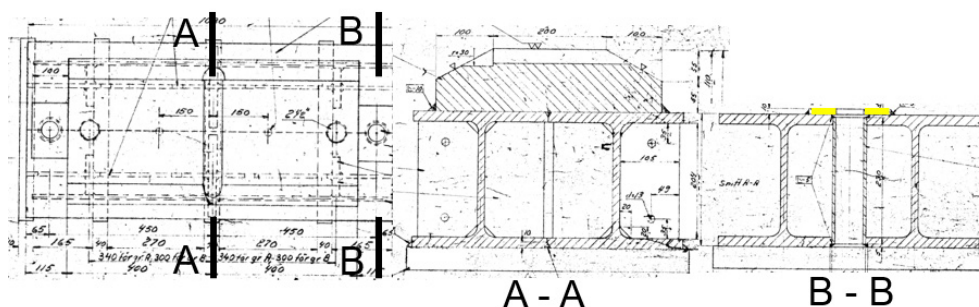
5.1.4 Analys av demonterade statorfundament

Några månader efter besiktningen år 2018 revs befintliga statorfötter genom sömborrning och vadersågning, Figur 31. Det utfördes senare vattenbilning och undergjutning av de nya fundamentplattorna.



Figur 31 - Demonterade statorfundamentplattor.

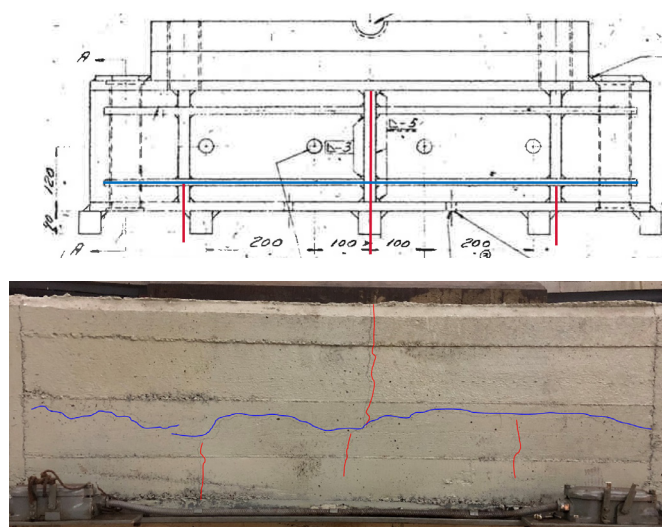
Analys av sprickor vid ett statorupplag med två ingjutna IPE-balkar - se Figur 32. Den geometriska utformningen av stål balkarna ger upphov till en stor variation i betongtvärsnittet som en försvagningszon. Det ger en koncentration av dragspänning i betongen där sprickor sannolikt kan initieras. Figur 33 visar att så är fallet med två tydliga sprickor som löper längs med de två IPE-balkarnas liv. Tangentiella sprickor vinkelrätt mot aggregatcentrum tyder på att radiella inåtriktade krafter kan vara bakomliggande orsak. Radiella sprickor har antagligen uppkommit från krymptvång i betongen. För nya statorfundament läggs extra armering in för att ta upp dessa krafter.



Figur 32. Statorupplag: Plan och tvärsnitt A och B - gulmarkerad plåt med fundamentets förankringsbultar



Figur 33 – Tangentiella och radiella sprickor nära ingjutna statorfundamentbalkar med plåt (gulmarkerat).



Figur 34. Tangentiella sprickor (blåmarkerade) och radiella sprickor (rödmarkerade) uppvisades nära ingjutna plåtar i statorfundamentbalken som framgår från skissen ovan.

5.1.5 Sammanfattning och slutsatser

För anläggningsägaren var det av stor vikt att besiktning av betongkonstruktioner utfördes i tidigt skede och att resultaten kunde följas upp och analyseras inför planerade aggregatåtgärder. Analys av sprickbildning är av stor vikt för att förstå bakomliggande orsaker och därigenom kunna rekommendera lämpliga åtgärder. Följande erfarenheter är viktiga att ta med sig:

- Systematisk dokumentering och uppföljning av sprickbildning är en förutsättning för att på ett korrekt sätt kunna utvärdera status och bärförmåga hos aggregatnära betongkonstruktioner.
- Besiktning av aggregatnära betongkonstruktioner bör utföras i tidigt skede vid planerade aggregatåtgärder. Detta är en förutsättning för att möjligheten ska finnas att följa upp resultaten.
- För att lämpliga åtgärder ska kunna implementeras måste sprickbildningens bakomliggande orsak först utredas. Denna analys bör grunda sig i kontinuerlig besiktning av aktuell sprickbildning, analys av aktuella laster och geometriska förutsättningar samt kontrollberäkning av stålkonstruktionens infästning i betong.

- Vid aggregatåtgärder då mekaniska delar är bortmonterade är det betydligt enklare att identifiera och utvärdera sprickor i betongkonstruktionen. Vid sådana tillfällen bör därför alltid en besiktning av sprickförekomst utföras, förutsatt att de givna omständigheterna möjliggör detta.

5.2 FALL 2

En mindre anläggning har valts ut för att närmare beskriva problem med sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner. Anläggningen är intressant att studera eftersom två besiktnings av sprickbildning har utförts och sprickinjektering utförts däremellan. Det som belyses nedan är utförandet av sprickbesiktning, trolig orsak till sprickbildning samt hur aggregatets driftsätt etc. kan påverka val av reparationsmetod.

5.2.1 Bakgrund

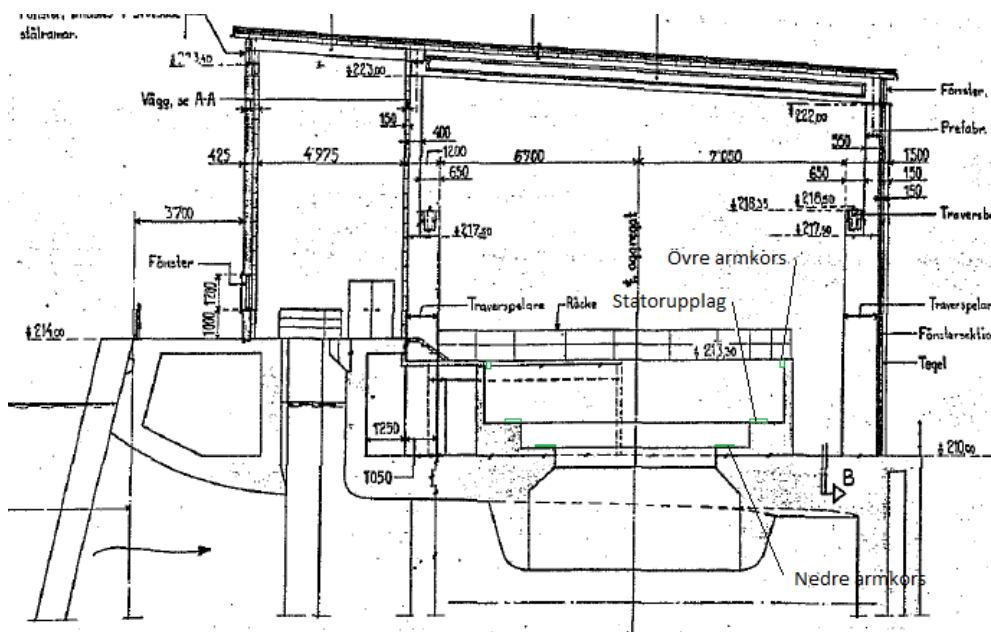
Anläggningen är beläget i Ume älv. Anläggningen består av två lika utförda kaplanaggregat G1 och G2.

Effekt:	16 MW (8 MW/ aggregat)
Årsprod.:	123 GWh totalt för G1 och G2
Fallhöjd:	9 m
Aggregattyp:	Kaplan
Driftsätt:	Vattennivåreglering. Aggregaten körs växelvis
Infästn. övre armkors:	Fast i radiell riktning, ledad i vertikalled
Infästn nedre armkors:	Fast (troligen)
Infästn statorupplag:	Fast (troligen)
Driftstart:	1964

Generatorfundamentet består av en armerad ringformad betongkonstruktion enligt Figur 35 och Figur 36.



Figur 35 - Aggregat G1



Figur 36 - Tvärsektion aggregat G1

Vid kortslutning 2013 i G1 nödstoprades aggregatet och vid inspektion direkt efter stoppet kunde driftpersonal upptäcka sprickbildning i generatorfundamentet. Enligt driftsledningen har vid besiktning av betongfundament utförd 2007 och 2010 inga större sprickor noterats varför man utgick ifrån att sprickorna uppstått vid aktuellt nödstopp.

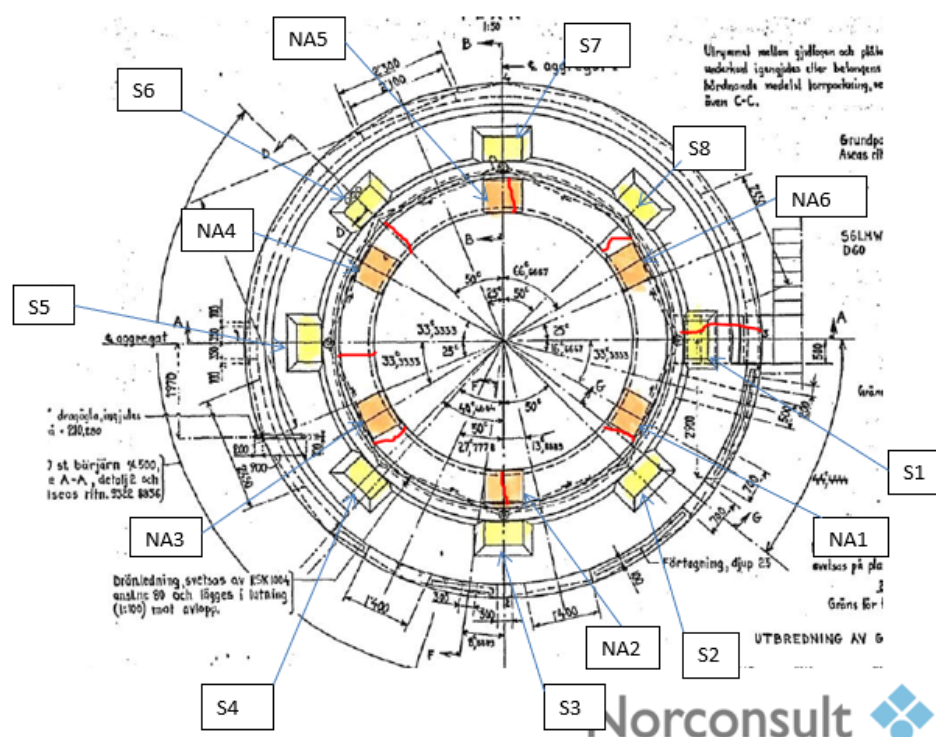
Besiktning 2013-06-18

På uppdrag av anläggningsägaren utfördes besiktning av alla synliga betongytor av generatorfundamentet i maskinsalsnivån samt synliga delar av utsida av spiral i

de två underliggande våningarna. Durkplåten över generatortoppen var delvis demonterad vid besiktningen. Även generatorfundamentet till G2 besiktades. Här kunde inga sprickor noteras. Besiktningen utfördes av Norconsult AB.

Vid besiktningen upptäcktes sprickor på vägg mellan statorupplag och upplag för nedre armkors, vid upplag för nedre armkors samt vid upplag för övre armkors.

Utrymmet nedanför upplag för nedre armkors var vid besiktningstillfället delvis intäkt av durkplåt och var ej möjlig att inspektera. Utdrag ur besiktningsrapport daterad 2013-06-24, se Figur 37.



Figur 37 - Orienteringsfigur nedan visar statorupplag S1-S8 och upplag för nedre armkors NA1-NA6. Röda linjer markerar sprickor i uk. upplag för nedre armkors samt spricka i tak i gång till generatorkammare.

Sammanställning av sprickkartering vid besiktning 2013-06-18

Betongkonstruktionen kring statorupplag, totalt 8 st. uppvisar vertikala sprickor på vägg mellan nivå +211,285 (statorupplag) ner till nivå +210,375 (upplag för nedre armkors) vid samtliga upplag utom två. Sprickvidden på vägg varierar mellan 0,15- 0,25 mm. Där statorupplagen ligger nära upplag för nedre armkors fortsätter sprickorna via horisontell betongyta på nivå +210,375 och vidare ner på vertikal vägg. Dessa sprickor har en sprickvidd på mellan 0,25 – 0,50 mm och är även synliga på uk upplag för nedre armkors. Inga sprickor var synliga på horisontell betongyta i nivå +211,285.

Tabell 2 - Sammanställning av sprickbesiktning 2013-06-18.

Konstruktionsdel	Sprickvidd	Total spricklängd
Statorupplag (+211,285)	-	Inga synliga sprickor
På vägg mellan statorupplag (+211,285) och upplag för nedre armkors (+210,375)	0,15 – 0,25 mm	3,13 m
Upplag för nedre armkors (+210,375)	0,25 – 0,50 mm	2,0 m
Nedre armkors, uk upplag i turbinkammaren	0,15 – 0,25 mm	5,6 m
Gångväg till turbinkammare, uk bjälklag	0,40 – 0,50 mm	2,5 m

5.2.2 Beslut om åtgärder i samband med besiktning 2013-06-18

I samband med besiktningen togs en diskussion mellan ägaren och Norconsult AB angående val av lämpliga åtgärder. Förutsättningarna var att ägaren hade för avsikt att utföra en förnyelse av generatoren inom kort och därför krävdes att en reparationsåtgärd kunde utföras relativt snabbt.

Två åtgärdsförslag diskuterades:

1. Utföra en noggrann beräkningskontroll med hjälp av FEM där sprickor med antagna sprickdjup skulle läggas in i modellen för att utreda om och hur uppspruckna tvärsnitt påverkade generatorfundamentets bärförmåga och styvhet.
Jämförelse mellan osprucket fundament samt eventuellt förhöjd last från förnyad generator med sprucket tvärsnitt skulle utföras.
Efter utförda beräkningskontroller skulle beslut om reparationsmetoder tas.
Vid utbyte av generator brukar man normalt sett få högre laster på fundamentet. Detta beror på att aggregaten oftast väger mer än tidigare och det tillkommer nya lastfall som bl. a. tar hänsyn till kortslutningslaster samt att dagens normer enligt Eurocode anbefaller högre lastkoefficienter.
Fördelar: En noggrann kontroll kan ge ett bättre beslutsunderlag för val av reparationsåtgärder.
Nackdelar: Högre kostnader för beställaren på grund av högre konsultarvode och produktionsbortfall under utredningstiden.
Resultatet av beräkningen kan påvisa att omfattande reparationsåtgärder med bl.a. vattenbilning och förstärkningsåtgärder som ger höga reparationskostnader och produktionsbortfall vid förnyelsen. Dessa kostnader riskerar att inte svara upp mot aggregatets intäkter under kvarvarande livslängd.
2. Utföra en enkel reparation i form av cement- eller epoxiinjektering av sprickor i betongkonstruktionen.
Fördelar: Injektering av sprickor går enkelt och snabbt att utföra till relativt låga kostnader. Tekniken är väl beprövad och kan ge goda resultat

om inträngning av injekteringsmedel och kraftöverföring i sprickor lyckas.

Nackdelar: Om inträngning ej blir fullgod eller fel typ av injekteringsmedel används kan kraftöverföring misslyckas och ytterligare injektering försvåras i framtiden.

Metoden förmår inte att förstärka konstruktionen för ett eventuellt tyngre aggregat eller för dagens högre lastkoefficienter enligt Eurocode.

Det beslutades att sprickinjektering skulle utföras och skälen härtill var följande:

- Den snäva tidsplanen för den redan inplanerade aggregatförnyelsen krävde ett snabbt reparationsarbete.
- Relativt låga kostnader vid arbetsutförandet.
- Injekteringsarbeten bedömdes kunna utföras samtidigt eller direkt efter inplanerad aggregatförnyelse.
- Då inga sprickor före haveriet 2013 hade upptäckts på aggregat G1 eller G2 gjorde man bedömningen att fundamentet ej utsätts för betydande dynamiska laster orsakade av ogynnsamma driftförhållanden.
- Förnyelsen av aggregatet skulle endast innefatta byte av löphjul samt demontering och renovering av generator. Därmed skulle inte större laster än tidigare påföras fundamentet.
- Betongfundamentet är placerad inomhus med konstant temperatur och i en ren miljö. Därmed var risken för smuts i sprickorna minimal, vilket ger goda förutsättningar för injektering.

5.2.3 Val av injekteringsmetod

Valet av injekteringsmedel stod mellan cementbruk och epoxi. Kriterier för injekteringsmedlet sattes till:

- Vara kraftöverförande
- I viss mån vara elastiskt för att klara dynamiska laster
- Ha god inträngningsförmåga, även i finare sprickor
- Ofarligt att handskas med ur arbetsmiljösynpunkt
- Ett medel med kända materialegenskaper som går att applicera med välkända arbetsmetoder

En teknisk beskrivning avseende injekteringsarbete med dels finkornigt cementbruk typ Sika injektering 30 med dispergeringsmedel Sika Flow-1. VCT 0,60 – 0,80 och epoxiinjektering upprättades och skickades ut på förfrågan.

Vid startmöte med vald entreprenör uttryckte de vissa farhågor för svårigheter att cementinjektera sprickorna, baserat på deras erfarenhet av liknande arbeten. Därför beslutades att man som en reservplan skulle nyttja epoxiinjektering ifall inträngningen ej gav önskat resultat.

Efter provinjektering i en spricka visade det sig att inträngningen inte var tillfredsställande, troligen på grund av att sprickan smalnade av i slutet och på djupet. Därmed utfördes, efter kontroll av arbetsmiljörisker förenat med epoxihantering, fortsättningsvis allt injekteringsarbete med epoxi. Epoximedlet som valdes var Betpox50 (Svenska Plast AB) och resultatet blev mycket bra.

5.2.4 Besiktning 2014-06-17

Norconsult AB rekommenderade att efterkontroll av fundamentet skulle utföras efter ett år och kompletterande besiktning utfördes således 2014-06-17.

Resultatet av denna sprickkartering visade att epoxiinjekteringen hade utförts väl och visat sig ha god verkan mot ökning av sprickvidder. Där injektering utförts har endast en spricka utökats i längd. Det gäller vertikal spricka vid statorupplag 2 som ökat från 400 mm till 600 mm, sprickvidden är fortfarande 0,10 mm.

För övrigt har endast några nya mindre sprickor tillkommit. De nya sprickorna har liten sprickvidd, c:a 0,05 – 0,10 mm, och är korta. Dessa sprickor finns på vägg vid statorupplag 1 och på horisontell yta intill statorupplag 3.

Vertikala sprickor mellan upplag för nedre armkors på nivå +210,375 och uk bjälklag noterades men de har troligen uppstått vid haveriet 2013 men kunde vid den första besiktningen inte upptäckas då de skyddades av durkplåtar.

I samband med besiktningen rekommenderades att kompletterande injektering skulle utföras av samtliga sprickor, såväl nya som förlängda.

Det rekommenderades även att ny besiktning skulle utföras efter utförd injektering och efter ett års kontinuerlig drift.

5.2.5 Sammanfattning och slutsats

Efter förnyad kontakt med ägaren ser de positivt på att kompletterande injektering och ytterligare en besiktning utförs så snart tillfälle ges. De erfarenheter man kan ta till sig beträffande utförd injektering som val av reparationsmetod samt utförande av sprickinventering vid aktuell kraftstation är:

- Kunskap om tidigare upptäckta sprickor är viktigt. Har besiktningar av aggregatet utförts tidigare? I så fall ska de gås igenom, gärna tillsammans med anläggningsansvarig så att man även kan ställa frågor.
- Det är av stor vikt att sprickkartering utförs noggrant. Sprickbredd och spricklängd samt lägen av sprickor dokumenteras. Om möjligt kontrolleras även sprickdjup. Sprickdjupet är intressant i det fall en FEM-analys av betongkonstruktioner ska utföras. Det finns dock idag ingen vedertagen enkel metod för mätning av sprickdjup.
- Redovisning av sprickor utförs med hjälp av planritningar och utbredningsvyer av aggregatet samtliga upplag. En noggrann redovisning är en förutsättning för att uppföljande karteringar ska kunna utföras. Det är en fördel om driftspersonal enkelt kan använda redovisningen t.ex i samband med kontroll av generatoren eller vid rondning.
- Vid val av injekteringsmetod är det viktigt att känna till aggregatets driftsförhållanden, baskraft eller effekttreglering. Är upplagen placerade nära eller långt ifrån spiralen, dvs kan man förvänta sig stora temperaturvariationer vid start och stopp? Med denna kunskap kan man bedöma risk för dynamiska belastningar och temperaturlaster.
- Provinjektering av en eller några sprickor bör alltid utföras där ansvarig konstruktör deltar. Beroende på hur väl inträngning av injekteringsmedel lyckas tas beslut på plats, i samråd med utförare, om fortsatt injektering,

justering av VCT, justering av injekteringstryck eller byte till annat injekteringsmedel. Därvidlag måste förberedelser för detta vara utförda.

- Arbetsmiljörisker beaktas särskilt vid epoxiinjektering, särskilt beträffande ventilation vid blandning och injektering inomhus.

6 Diskussion

6.1 RESULTAT

Resultatet på enkätförfrågningen återspeglar till stor del den förekommande bristen på rutiner och metoder för kontroll av sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner. Vissa anläggningsansvariga har varit väldigt tydliga och givit svar av mycket hög kvalitet och andra har inte varit lika insatta i betongkonstruktionens status. I samtal med anläggningsansvariga så ställde sig de flesta mycket positiva till tydligare och mer praktiska rutiner kring besiktning av aggregatnära betongkonstruktioner.

6.2 METODVAL

För att erhålla data av god kvalitet från ett större antal aggregat med varierade förutsättningar föll beslutet på att utföra en enkätförfrågnings. Denna insamling av data kompletterades därefter med samtal till anläggningsansvariga där möjlighet fanns att justera de svar som lämnats in genom enkäten. Denna metod bygger på att man hittar rätt person hos varje kraftbolag som kan besvara frågorna. I vissa fall har detta varit utmanande och tagit mer tid än förväntat.

6.3 FELKÄLLOR

Då enkätförfrågningen tydligt är inriktad på sprickbildning i betong och de aggregat där sådana skador förekommer finns det risk att anläggningsägarna gjort ett urval och besvarat enkäten för fler anläggningar där sådan problematik förekommer. Det är därför sannolikt att de undersökta aggregaten representerar ett urval med högre grad skador jämfört med genomsnittet. Denna felkälla reduceras genom att undersöka en större mängd aggregat.

Resultatet från rapporten hänger mycket på kvaliteten på den data som erhållits genom enkätförfrågningen. Möjligheten finns att olika anläggningsansvariga tolkat frågor på olika sätt, exempelvis vid beskrivning av infästningsegenskaper och dess verkningssätt för lastnedföring i betongkonstruktionen. För att minimera denna felkälla har kompletterande information bifogats och tillhandahållits anläggningsansvariga då de besvarade enkäten.

En annan felkälla kan vara tolkningen av hur man svarat på aggregatens driftsätt, främst gällande primär- eller sekundärreglering.

Att ett aggregat är primär- eller sekundärreglerat behöver inte nödvändigtvis betyda många start och stopp som kan ge ogynnsamma temperaturväxlingar med sprickbildning som följd. Det kan även betyda att driften regleras t.ex. med hjälp av på- eller avdrag av flödet via ledskenor, vilket i så fall endast har en marginell inverkan på temperaturen i generatorkammaren.

7 Slutsatser

Följande slutsatser kan dras från inkomna resultat i föreliggande rapport:

- Övergripande för enkätförfrågningsen är att det generellt förekommer relativt stor osäkerhet kring betongkonstruktionen, sprickbildning samt de rutiner som rör besiktning och dokumentering. I flera fall har frågor besvarats med "vet ej" vilket resulterat i en osäkerhet i slutresultaten.
- Gällande besiktning av sprickor i aggregatnära betongkonstruktioner så framgår det av enkätförfrågningsen att rutiner saknas och frekvensen för besiktningstillfällena är mycket oregelbunden. Det saknas i dagsläget kunskap om sprickornas inverkan på aggregatet och man upplever inte sprickbildning som något betydande problem. Generellt så sker besiktning av intern personal i första hand och extern konsult kopplas in då sprickuppkomst identifieras. Dokumentation av sprickor varierar i stor grad så det i dagsläget saknas rutiner för hur dessa ska sammanställas och analyseras.
- Sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner förekommer i en femtedel av de undersökta aggregaten. I två femtedelar av fallen förekommer ingen sprickbildning och i resterande två femtedelar av fallen så vet man inte om sprickbildning förekommer eller inte. Resultaten från enkätförfrågningsen tyder på att sprickbildning ofta uppkommer i samband med idrifttagande vid byggnation eller förnyelse samt vid haveri. Identifiering av sprickor leder ofta till ändrat körsätt eller stopp för utredning och mätning.
- Generellt verkar det förekomma mest sprickbildning kring statorfundamenten, jämfört med övre armkors och nedre armkors. Viktigt att beakta är att resultaten kan ha uppkommit då dessa ytor är ofördelaktigt representerade eftersom de utförandemässigt är enklare att inspektera. Fasta infästningar är något mer förekommande i de fallen då sprickbildning uppstår, dock är datamängden relativt begränsad vilket innebär att det i dagsläget inte är möjligt att dra några direkta slutsatser om orsakssamband.
- När det kommer till sprickbildning med avseende på aggregattyp så tyder resultaten på att sprickbildning är något mer förekommande för kaplanturbiner jämfört med francisturbiner. Denna korrelation behöver inte innebära orsakssamband och en relativt stor del av svaren gällande sprickbildning är "vet ej" vilket innebär att några generella slutsatser är svåra att fastställa.
- Förekomst av sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner varierar relativt oberoende av år för driftstart. Dock har sprickor identifierats i några fler aggregat från 1970-talet vilket möjligen kan härledas till dåvarande byggnormer eller materialanvändning. Här är dock osäkerheten relativt stor så det går inte dra några direkta slutsatser.
- Bland de undersökta aggregaten är de allra flesta primärreglerande vilket tyder på att detta är det driftsätt som är vanligast förekommande i dagsläget. Utifrån den begränsade datamängden går det inte avgöra huruvida driftsättet är avgörande för förekomst av sprickbildning.
- I de fall där sprickbildning identifierats har i två tredjedelar åtgärdats med avseende på sprickbildning och betongskador. Åtgärder tillsätts oftast efter utredning och råd från extern konsult. I vissa fall har ofördelaktiga vibrationer

påträffats vilket även ställt krav på åtgärder. Reparationsmetoder varierar beroende på bakomliggande orsak till sprickuppkomst. Vanliga metoder innefattar vattenbilning och återgjutning samt injektering med epoxi och cement.

7.1 FORTSATTA STUDIER

Följande frågeställningar har uppkommit under arbetets gång och bör studeras vidare.

7.1.1 Utökat underlag

Resultatet av undersökningen baseras på ett underlag av ca 70 inkomna svar från anläggningsägare. Långt fler frågeenkäter har skickats ut men har ej besvarats ännu. Vid kontakt med anläggningsägare visar det sig ofta att det är svårt att finna tid att besvara enkäter då kraftbolagens organisationer är slimmade och de som är ansvariga för driften ofta har ansvaret för ett större antal anläggningar.

Därför skulle det vara intressant att invänta fler enkätsvar för att få ett större statistiskt underlag och se hur och om detta förändrar utfallet.

En uppföljning av enkätsvar då fler svar inkommit är en förhållandevis enkel åtgärd som inte kräver någon större arbetsinsats vad gäller uttolkning och uppdatering av resultat.

7.1.2 Bristande förståelse om sprickförekomst

Inkomna svar i undersökningen visar att det råder en avsaknad av tillräcklig kunskap om huruvida det överhuvudtaget förekommer sprickor i aggregatnära betongkonstruktioner.

Därför bör det utredas vidare om vad detta kan bero på genom förnyad kontakt med anläggningsägare där svaret "vet ej" ofta förekommer. Frågor man ställa sig är:

- Gör man bedömningen att eventuella sprickor inte är något problem?
- Har inte besiktning av sprickor utförts och om inte, varför? Svåråtkomliga betongkonstruktioner, besiktning kräver särskilda avstängningar som ger kostsamma produktionsbortfall etc.?

7.1.3 Rutiner och metoder för utförande av sprickbesiktning

Rutinerna för sprickbesiktning skiljer sig avsevärt mellan olika anläggningsägare beträffande hur regelbundet och på vilket sätt det utförs. Förståelsen för sprickors uppkomst och betydelse för generatorns och turbinaxelns verkningsätt avseende vibrationer och fortsatt skadeutveckling i betongupplag är visserligen uppmärksamman men generellt sett finns inga utarbetade rutiner avseende sprickbesiktning.

Därför skulle det för anläggningsägare vara till nytta om riktlinjer för hur en sprickbesiktning ska utföras fanns tillhands. En sådan riktlinje skulle kunna ge vägledning om följande:

- Hur regelbundet och vid vilka speciella tillfällen bör en sprickbesiktning utföras. Avgörande kan vara anläggningens körsätt, upplagsförhållanden, storlek på aggregat eller tillgänglighet för besiktning.
- Vilken kompetens bör besiktningsutföraren ha. När bör egen driftpersonal respektive extern konsult med speciell kompetens anlitas. Krav på utbildning och erfarenhet.
- Hur mäts sprickbredd, spricklängd och sprickdjup. Typ av instrument och mätmetoder som kan eller bör användas redovisas.
- Hur redovisas sprickor enligt ovan. Ordningsföljd i höjddled, start och riktning runt fundamenten, krav på fotografering samt krav på skalriktighet i modell eller digital ritning etc.
- Hur utförs denna redovisning så att man enkelt kan följa upp framtida skadeutveckling. Redovisning av nya respektive äldre sprickor.
- Hur dokumenteras och arkiveras redovisningen.

7.1.4 Effekt av spännförankringar för att motverka sprickbildning

I denna undersökning har inte effekten av spännförankringars förmåga att motverka sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner efterfrågats.

Därför kan det vara intressant att utföra en särskild utredning där följande frågor behandlas:

- Är sprickförekomsten mindre vid spännförankrade upplagsplåtar eller andra utsatta konstruktionsdelar mindre än vid motsvarande konstruktioner utan spännförankringar.
- Vid förnyelse, dvs t.ex vid utbyte av generator, -ställs det större krav på betongkonstruktioners förmåga att ta upp större laster, och kan då spännförankringar vara ett bra alternativ.
- Kostnadsjämförelse mellan installation av spännförankring och omfattande betongreparation.

8 Referenser

- [1] Cracking in the concrete foundation for hydropower generators – Elforsk rapport 13:63, Richard Malm, Manouchehr Hassanzadeh, Tobias Gasch, Daniel Eriksson och Erik Nordström, 2012.
- [2] Cracking in the concrete foundation for hydropower generators Part II– Elforsk rapport 13:64, Richard Malm, Manouchehr Hassanzadeh, Tobias Gasch, Daniel Eriksson och Erik Nordström, 2013.
- [3] Förslag till dimensionerande lastfall för generator- och bärlagerarmkorsupplag –Elforsk rapport 07:54, Mats Rehn, 2007.
- [4] Fundament för vattenkraftgeneratorer – analys av krafter och deformationer, Luleå tekniska universitet, 2010:062 CIV – ISSN: 1402-1617 – ISRN: LTU-EX--10/062—SE, Mattis Larsson, 2008.
- [5] Petersons, N. (1994). Betonghandbok Material. Kapitel 19, utgåva 2. Solna: AB Svensk Byggtjänst
- [6] Fagerlund G. (2010) Betongkonstruktioners beständighet: en genomgång av officiella svenska regler 1926-2010. (Rapport TVBM; Vol. 3153) Avd. Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola

Frågeformulär

Inventering av sprickor i aggregatnära betongkonstruktioner



Bakgrund

På senare år har sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner uppmärksammats och i vissa fall även åtgärdats då man befärar att skadorna kan ge följdproblem med t.ex tilltagande sprickbildning och problem med vibrerande och felriktade turbinaxlar i vattenkraftaggregat. I framförallt äldre vattenkraftsaggregat av konventionell typ har, vid statusbesiktningar inför förnyelse i ett antal anläggningar, skador i form av sprickor i betongfundament upptäckts.

Orsaken till dessa sprickors uppkomst kan bl.a härledas till varierande temperatur i betongfundament orsakat av förändrade driftsituationer med många fler starter och stopp än vad anläggningarna ursprungligen var avsedda och dimensionerade för.

Syfte

Syftet med denna enkätförfrågan är att finna vilken typ av, och hur stor andel aggregat som uppvisar sprickbildning i betongkonstruktioner vid främst upplag för nedre och övre armkors, statorupplag, stagpelare och löphjulskammare.

Aggregatinformation

Anläggningsnamn

Ditt svar _____

Aggregatbeteckning (Exempelvis "G1")

Ditt svar _____

Aggregat-typ

- ☐ Kaplan
- ☐ Francis
- ☐ Rörturbin
- ☐ Vet ej
- ☐ Övrigt: _____

Driftstart för det aktuella aggregatet? (år)

Ditt svar _____

Driftsätt för det aktuella aggregatet?

- ☐ Baskraft
- ☐ Primärreglerande aggregat
- ☐ Sekundärreglerande aggregat
- ☐ Övrigt: _____

Typ av infästning övre armkorsfundament

- ☐ Rörlig
- ☐ Fast
- ☐ Ledad
- ☐ Momentstyv
- ☐ Förspänd
- ☐ Ospänd
- ☐ Dämpad
- ☐ Odämpad
- ☐ Ingjuten i betongkonstruktion
- ☐ Övrigt: _____

Typ av infästning nedre armkorsfundament

- ☐ Rörlig
- ☐ Fast
- ☐ Ledad
- ☐ Momentstyv
- ☐ Förspänd
- ☐ Ospänd
- ☐ Dämpad
- ☐ Odämpad
- ☐ Ingjuten i betongkonstruktion
- ☐ Övrigt: _____

Typ av infästning statorfundament

- ☐ Rörlig
- ☐ Fast
- ☐ Ledad
- ☐ Momentstyv
- ☐ Förspänd
- ☐ Ospänd
- ☐ Dämpad
- ☐ Odämpad
- ☐ Ingjuten i betongkonstruktion
- ☐ Övrigt: _____

Besiktning av aggregatnära betongfundament

1a) Utförs regelbundna tillståndskontroller av generator, turbin och axel?

- ☐ Ja
☐ Nej
☐ Vet ej
☐ Övrigt: _____

1b) Om ja; Hur ofta utförs tillståndskontroller?

- ☐ 0-6 månader
☐ 6-12 månader
☐ 1-2 år
☐ 2-3 år
☐ 3-4 år
☐ 4-5 år
☐ 5+ år
☐ Övrigt: _____

1c) Om ja; Kontrollerar man då även aggregatnära betongkonstruktionens kondition?

- ☐ Ja
☐ Nej
☐ Vet ej
☐ Övrigt: _____

2a) Utförs besiktning av betongfundament regelbundet?

- ☐ Ja
☐ Nej
☐ Vet ej

2b) Om ja; Hur ofta utförs besiktning?

- ☐ 0-6 månader
☐ 6-12 månader
☐ 1-2 år
☐ 2-3 år
☐ 3-4 år
☐ 4-5 år
☐ 5+ år
☐ Övrigt: _____

3) Om besiktning av betongkonstruktioner ej utförs, Vad beror det på? (Flera val möjliga)

- ☐ Betongkonstruktioner är svårtillgängliga
☐ Besiktningar kräver avstängning av aggregatet
☐ Upplevs inte som något betydande problem
☐ Okunskap om sprickornas inverkan på aggregatet
☐ Övrigt: _____

4a) Vilka krav ställs på besiktningsmannens kompetens och metoder för sprickkartering i betong?

Ditt svar _____

4b) Vem utför besiktning av betongkonstruktioner?

- ☐ Intern personal
☐ Extern konsult
☐ Vet ej
☐ Övrigt: _____

5) Hur dokumenteras sprickbildning?

- ☐ Fotodokumentation
☐ Mätning av sprickvidd
☐ Mätning av spricklängd
☐ Mätning av sprickdjup
☐ Analys av spricktyp/Orsak till sprickuppkomst
☐ Analys av sprickornas inverkan på betongens styvhet
☐ Övrigt: _____

Skador i aggregatnära betongkonstruktioner

6) Har sprickbildning kring armkorsinfästningar, statorfundament, stagpelare eller löphjulskammare identifierats hos det aktuella aggregatet?

- ☐ Ja
☐ Nej
☐ Vet ej
☐ Övrigt: _____

7) Var förekommer sprickor? (Flera svar möjliga)

- ☐ Vid övre armkors
☐ Vid statorfundament
☐ Vid nedre armkors
☐ Vid stagpelare
☐ Vid löphjulskammare
☐ Övrigt: _____

8a) Vilka typer av sprickor förekommer vid övre armkors?

- ☐ Radiella sprickor
☐ Tangentiella sprickor
☐ Sprickor i gjutfogar
☐ Övrigt: _____

8b) Vilka typer av sprickor förekommer vid statorfundament?

- ☐ Radiella sprickor
☐ Tangentiella sprickor
☐ Sprickor i gjutfogar
☐ Övrigt: _____

8c) Vilka typer av sprickor förekommer vid nedre armkors?

- ☐ Radiella sprickor
☐ Tangentiella sprickor
☐ Sprickor i gjutfogar
☐ Övrigt: _____

9) Hur upptäcktes skadorna?

- ☐ Vid sprickbesiktning
☐ Vid tillståndskontroll
☐ Vid haveri
☐ Övrigt: _____

10) När uppkom sprickorna?

- ☐ Efter byggnation
☐ Efter drifttagande
☐ Efter haveri
☐ Efter ombyggnad/förnyelse
☐ Övrigt: _____

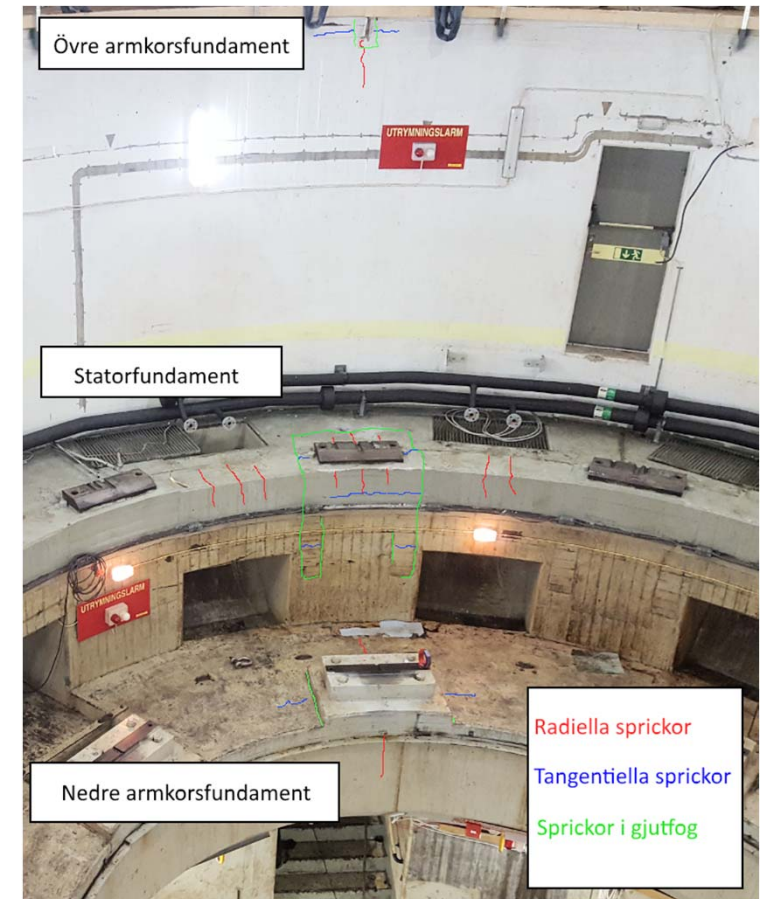
11a) Har befarad risk för sprickbildning eller skador orsakat störningar i driften, ändrat körsätt eller avbrott?

- ☐ Ja
☐ Nej
☐ Vet ej

11b) Om ja; Hur då?

- ☐ Ändrat körsätt
☐ Minskad effekt
☐ Omfördelning av belastning mellan aggregat
☐ Övrigt: _____

Exempel på sprickbildning:



Åtgärder mot uppspruckna betongkonstruktioner

12) Har sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner åtgärdats för det aktuella aggregatet?

- ☐ Ja
- ☐ Nej
- ☐ Vet ej
- ☐ Inga betongsprickor förekommer hos det aktuella aggregatet
- ☐ Övrigt: _____

13) På vilka beslutsgrunder har åtgärder satts in?

- ☐ Förebyggande, Rädsla för spricktillväxt
- ☐ Råd från extern konsult
- ☐ Efter utredning
- ☐ Efter att ofördelaktiga vibrationer identifierats
- ☐ Övrigt: _____

14) Vilka reparationsmetoder har använts?

- ☐ Vattenbilning och återgjutning
- ☐ Cementinjektering
- ☐ Epoxiinjektering
- ☐ Polyuretaninjektering
- ☐ Vet ej
- ☐ Övrigt: _____

15a) Vilka kostnader har lagts ned på reparationer? (Årlig kostnad per anläggning)

Ditt svar _____

15b) Vilka kostnader har lagts ned på produktionsbortfall? (Årlig kostnad per anläggning)

Ditt svar _____

INVENTERING AV SPRICKBILDNING I AGGREGATNÄRA BETONGKONSTRUKTIONER

Sprickbildning i aggregatnära betongkonstruktioner uppmärksammas eftersom den här typen av skada är en möjlig orsak till problem med vibrerande och felriktade rotoraxlar i vattenkraftverk. Det har tidigare saknats en överblick av omfattningen av sprickbildning och de problem som kan uppstå.

Här redovisas resultaten från en enkätundersökning av stora och medelstora vattenkraftbolag i Sverige. Dessutom har en detaljstudie utförts på två anläggningar där problem kring sprickbildning förekommit och åtgärdats.

Resultaten visar vikten av en systematisk dokumentation och uppföljning av sprickor i aggregatnära betongkonstruktioner. Det är en förutsättning för att korrekta och kostnadseffektiva åtgärder ska kunna genomföras. Den här undersökningen belyser att sprickbildning förekommer i cirka en femtedel av de undersökta aggregaten. I flera fall är kunskapen bristande kring konstruktionens status och bärförmåga, vilket är ett resultat av att det saknas entydiga rutiner för att besiktiga sprickor vilket resulterar i en osäkerhet hos slutresultaten.

Ett nytt steg i energiforskningen

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



Energiforsk