



Gemensam betongteknisk FoU inom kraftindustrin

Sammanställning av workshop 2009

Elforsk rapport 10:77



Manouchehr Hassanzadeh, Arvid Hejll, Mårten Janz Augusti 2010

Förord

Vattenkraftföretagen*) har via Elforsk stöttat forskning och utveckling inom det betongtekniska området sedan början av 90-talet.

Programmet är inriktat på ett kostnadseffektivt förvaltande av vattenkraftindustrins betongkonstruktioner. Syftet är att ge ett kvalificerat stöd till vattenkraftföretagen.

Målet är att ta fram verktyg, riktlinjer, utförandebeskrivningar och teknik som fyller industrins behov, bl a genom att koppla resultaten till RIDAS med tillämpningsanvisningar. Målet är också att bygga kompetens. En uttalad ambition är att samarbeta med övrig industri och landets tekniska högskolor.

Programmet administreras med hjälp av en styrgrupp med följande ledamöter:

Malte Cederström, Vattenfall AB Vattenkraft

Johanna Feldtman, E.ON Vattenkraft Sverige AB

Martin Hansson, Statkraft Sverige AB

Erik Nordström, Vattenfall AB Vattenkraft

Markus Eriksson, Skellefteåkraft

Karin Persson, Fortum

Stefan Norberg, Fortum

Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen

Marcus Hautakoski, Vattenregleringsföretagen

Cristian Andersson, Elforsk AB

Stockholm augusti 2010



Cristian Andersson

Elforsk AB

*)Vattenfall AB Vattenkraft, Fortum Generation, E.ON Vattenkraft Sverige AB, Skellefteå Kraft AB, Statkraft Sverige AB, Jämtkraft AB, Sollefteåforsens AB, Karlstads Energi AB, Jönköping Energi AB deltar i treårsperioden (2007-2009) av ramprogrammet "Underhåll och förnyelse av betongkonstruktioner".

Sammanfattning

Ett ökat behov av fördjupade kunskaper som rör betongtekniska beständighets- och belastningsrelaterade frågeställningar finns inom vatten-, kärn- och vindkraft. Samtliga kraftslag ser en ökad aktivitet när det gäller bygg- och anläggningsfrågor. De befintliga kraftverken inom vatten- och kärnkraft genomgår effekthöjningar och livslängdsförlängningar. För dessa kraftslag finns ett ökat behov av tillståndsbedömning och reparation av betongkonstruktioner, dels med hänsyn till återställning och livslängdsförlängning och dels med hänsyn till ökat vattenflöde (vattenkraft) och effekthöjning (kärnkraft). För Vindkraftens anläggningar är frågeställningarna i huvudsak inriktade på beständighets- och belastningsrelaterade problemställningar för nybyggnation på land och till havs. Liknande frågeställningar finns även för eventuell nybyggnation av kärnkraftsverk, vattenkraftverk samt vågkraftverk.

Traditionellt har Forskning och utveckling (FoU) gällande betonganläggningar styrts av samhällets andra sektorer än energisektorn såsom transport-, kommunikations- samt bostadssektorn. Resultaten har dock kommit till användning inom energisektorn, i många fall genom vidareutveckling och anpassning. För närvarande finns två betongrelaterade forskningsprogram inom Elforsk som tillgodoser kraftindustrins betongrelaterade frågor, nämligen "Elforsk Betongtekniska Programmet" som bedrivs av programområdet Vattenkraft, är inriktat mot Vattenkraften och det andra programmet, "Elforsk Betongtekniska Program Kärnkraft" som bedrivs av programområdet El- och Värmeproduktion, är inriktat mot kärnkraften. Vindkraft är en relativt ung och än så länge liten kraftresurs i Sverige men planerade anläggningar och anläggningsparker är många. Med ökat byggande inom vindkraften ökar behovet av FoU. Antalet betongrelaterade forskningsprojekt inom vindkraft ökar. Branschgemensam betongrelaterad forskning inom vindkraft sköts av Vindforsk som finansieras till 50 % av energimyndigheten. Energiföretag och andra industriföretag med anknytning till vindkraft finansierar andra hälften.

Erfarenheterna från övriga samhällssektorer visar att det kan finnas många beröringspunkter mellan olika sektors betongrelaterade FoU trots skillnader i utformning och användning av betongkonstruktioner. Exempel på gemensamma beröringspunkter för olika konstruktionstyper i olika kraftslag är förspänning och efterspänning av betong, analys av vibrationer i maskinfundament, fukt- och värmetransport inom material och mellan material och omgivning, nedbrytningsmekanismer samt tillståndsbedömning och reparation.

En workshop anordnades 24 september 2009. Syftet var att

- Identifiera de FoU-områden som kraftindustrins olika grenar kan samverka
- Identifiera och beskriva projekt som kan samfinansieras
- Undvika dubbelarbete och höja kvaliteten på FoU-projekten

Under workshopen presenterade inbjudna talare från olika kraftgrenar sina konstruktioner samt de övergripande behov av FoU relaterade till respektive konstruktionstyper. Denna rapport är baserad på presentationerna och diskussionerna därefter.

I kapitel 3,4,5 refereras presentationer om respektive kraftslags konstruktioner samt beständighets- och belastningsrelaterade problemställningar och de

identifierade grundforskningsbehoven. I kapitel 3 beskrivs vattenkraft, i kapitel 4 beskrivs kärnkraft samt i kapitel 5 beskrivs vindkraft.

Kapitel 6 är ett generellt kapitel om gemensamma frågeställningar som är indelat i beständighet och belastning. Beständighetsproblematik för betongkonstruktioner är ett referat av presentationen från workshopen om beständighet som hölls av Lars-Olof Nilsson från Byggnadsmaterial, LTH. De gemensamma belastningsrelaterade problemen för betongkonstruktioner inom kraftindustrin härstammar delvis från presentation av Tomas Ekström från Energo-retea samt från författaren Manouchehr Hassanzadehs (Vattenfall R&D) samlade erfarenheter.

Slutsatserna från workshopen och denna rapport är att det finns grundläggande forskningsbehov där två eller samtliga kraftgrenar kan samverka. De viktigaste FoU-områdena där samverkan bör ske är processerna inom förändringsprocessernas initieringsskede, d.v.s. kring förutsättningarna för att en skadeprocess skall initieras. Utöver detta finns möjligheter till samverkan med FoU-frågor som rör nyproduktion, tillståndsbedömning och reparation.

Summary

An increased demand for deeper knowledge regarding durability and load depending degradation are present at hydro, nuclear and wind power plants. Increased activities regarding construction and maintenance within all power sources are apparent. At existing plants, mainly hydro and nuclear plants, increased effective output power and lifetime extension projects are carried out. Those activities caused an increased demand for assessment and repair of concrete structures, partly to restore and to extend the lifetime and partly to increase the power output in hydro plants (increase the water flow) and nuclear plants. For wind power plants, which are either newly built or planned to be erected the main questions are also related to durability and/or load depending degradation for both on-shore and off-shore plants.

Research and Development (R&D) of concrete structures have traditionally been governed by the needs from transportation and residential industry rather than the energy industry. However, the results from R&D have been successfully used in the energy industry, although in many cases further development has been needed.

Two R&D programs for concrete structures exist within Elforsk, one concerns hydro power industry and the other program concerns nuclear power industry. Wind power is a relatively young energy source in Sweden. An increased number of plants will increase the needs of concrete related R&D projects.

The experience from R&D projects from other communities shows that similar R&D questions exist at different sectors regardless difference in design and function of concrete structures.

Examples where interaction between different kinds of structures at different types of power plants are pre- and post-tensioned concrete, analysis of vibrations and the cracks due to these vibrations, moisture and heat transfer within and between materials and surrounding environment, degradations processes and assessment and repair methods.

A workshop was arranged in September 2009. The purpose was to:

- Identify the R&D areas where interaction could be possible.
- Identify and describe projects which could be jointly financed.
- Avoid duplication of work and increase the quality of R&D project.

Invited speakers from different power sources presented their concrete constructions and the general needs of R&D related to specific concrete construction. This report is based on the presentation and the following discussions.

Chapter 3, 4 and 5 regards the presentations from each power source, the durability problem and load depending degradation, and the identified R&D needs. Chapter 3, 4 and 5 deal with R&D needs related to the hydro power, nuclear power and wind power respectively. Chapter 6 deals generically with the common R&D issues divided in two main topics namely, durability and load depending degradation. The durability issues regarding concrete structures are based on the presentation performed by Lars-Olof Nilsson (Lund University, Building Materials). The chapter of degradation caused by loads is

based partly on presentation by Tomas Ekström (Energoretea) and partly on the experience of M. Hassanzadeh.

The conclusion of the workshop and this report is that R&D within different power industry branches should be co-ordinated. The main R&D issues where co-ordination will be most beneficial are the processes which control the initiation of the degradation of concrete structures, such mass transport processes, and issues dealing with assessment and repair methods of concrete structures.

Innehåll

1	Inledning	1
2	Workshop	3
2.1	Inledning	3
2.2	Gemensam betongteknisk FoU inom kraftindustrin	3
2.3	Program.....	4
3	Vattenkraft	5
3.1	Inledning	5
3.2	Vattenkraftens konstruktioner	5
3.3	Beständighetsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom vattenkraften.....	6
3.4	Belastningsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom vattenkraften.....	6
4	Kärnkraft	8
4.1	Inledning	8
4.2	Kärnkraftens konstruktioner	8
4.3	Beständighetsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom kärnkraften	9
4.4	Belastningsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom kärnkraften	9
5	Vindkraft	11
5.1	Inledning	11
5.2	Vindkraftens konstruktioner	11
5.3	Beständighetsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom vindkraften.....	14
5.4	Belastningsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom vindkraften.....	15
6	Gemensamma frågeställningar	17
6.1	Beständighet	17
6.2	Belastning	20
7	Slutsatser	22

1 Inledning

Volymen och tempot i kraftindustrins bygg- och anläggningsverksamhet upplevs för närvarande växande. Ägare, konsulter och entreprenörer medger växande aktivitet inom kraftindustrins bygg- och anläggningsområden. Anledningen är samhällets ökade behov av energi i allmänhet och elektricitets i synnerhet. Vidare har samhällets krav på användning av förnybar energi ökat vilket har medfört att nya energikällor utöver de "traditionella" källorna d.v.s. vatten- och kärnkraft fått märkbara andelar. Dessa faktorer har medfört att nya kraftverk har byggts och de befintliga har genomgått effekthöjning. Arbetet är inte slutfört och kommer att fortsätta. Utöver nybyggnation och effekthöjning tillkommer dessutom behovet av tillsyn och reparation av de befintliga kraftverken eftersom många är ålderstigna, t. ex vatten-, kärn- och värmekraftverk. I stora drag kan följande aktiviteter särskiljas:

- Tillståndsbedömning och reparation av kärnkraftens betongkonstruktioner, dels med hänsyn till återställning och dels med hänsyn till effekthöjning.
- Dito vattenkraftens anläggningar, samt med hänsyn till eventuellt ökat vattenflöde orsakat av klimatförändringar.
- Dito värmekraftens anläggningar.
- Nybyggnation av vindkraftsverk både på land och till havs.
- Nybyggnation av värmekraftverk

Utöver de ovannämnda bör även byggandet av eventuellt ytterligare nya kärnkraftsverk, vattenkraftverk samt vågkraftsverk nämnas. Vad det gäller FoU relaterad till kraftindustrins betonganläggningar är behovet stort, åtminstone är mängden frågeställningar som behöver besvaras stor.

Traditionellt har FoU gällande betonganläggningar styrts av samhällets andra sektorer än energisektorn såsom transport-, kommunikations- samt bostadssektorn. Resultaten har dock kommit till användning inom energisektorn, i många fall genom vidareutveckling och anpassning. Vidareutvecklingen och anpassningen har utförts genom olika doktorandprojekt samt uppdrag som olika universitet, forskningsinstitut och konsulter har utfört.

Numera satsar kraftindustrin relativt ansevärda resurser riktade mot kraftindustrins betonganläggningar. Satsningarna kanaliseras genom Elforsk där stora elbolag är med som finansiärer. För närvarande finns två betongrelaterade forskningsprogram inom Elforsk. Det ena programmet, "Elforsk Betongtekniska Programmet" som bedrivs av programområdet Vattenkraft, är inriktat mot Vattenkraften och det andra programmet, "Elforsk Betongtekniska Program Kärnkraft" som bedrivs av programområdet El- och Värmeproduktion, är inriktat mot kärnkraften. Kärnkraftsprogrammet är nytt och börjar sin verksamhet under januari 2007. Vindkraft är en relativt ung och än så länge liten kraftresurs i Sverige men planerade anläggningar och anläggningsparker är många. Med ökat byggande inom vindkraften ökar behovet av FoU. Antalet betongrelaterade forskningsprojekt inom vindkraft ökar. Branschgemensam betongrelaterad forskning inom vindkraft sköts av Vindforsk som finansieras till 50 % av energimyndigheten. Energiföretag och andra industriföretag med anknytning till vindkraft finansierar andra hälften.

Elforsks båda betongprogram styrs av styrgrupper från respektive bransch d.v.s. Vattenkraft respektive Kärnkraft. Både programmen behandlar frågor med stark anknytning till betongkonstruktioner och materialet betong. Det finns tydliga skillnader mellan betonganläggningarna inom kraftindustrin. Skillnaderna kan hänföras till utformning och användning av anläggningarna, de krav som ställs på konstruktionerna samt mekaniska belastningarna respektive miljöbelastningarna. Därför kan inriktningen på FoU skilja mellan olika grenar inom kraftindustrin.

Erfarenheterna från övriga samhällssektorer visar att det kan finnas många beröringspunkter mellan olika sektors betongrelaterade FoU trots skillnader i utformning och användning av betongkonstruktioner. Till exempel kan de kunskaper som finns inom byggnadssektorn vara användbara även inom anläggningssektorn. De teoretiska grunderna för förspänning och efterspänning av betong är i stort sett det samma, liksom de grundläggande principerna för analys av vibrationer i maskinfundamen. I detalj-/komponentnivå styrs sprickbildning i material i stort sett av samma mekanismer oberoende av tillämpningsområde eller konstruktionstyp. Detsamma kan gälla även fukt- och värmetransport inom material och mellan material och omgivning. Det finns även beröringspunkter mellan olika sektorer beträffande de mekanismer som styr materialens nedbrytning. Man kan även hitta beröringspunkter beträffande tillståndsbedömning och reparation.

En workshop anordnades 24 september 2009. Syftet var att

- Identifiera de FoU-områden som kraftindustrins olika grenar kan samverka
- Identifiera och beskriva projekt som kan samfinansieras
- Undvika dubbelarbete och höja kvaliteten på FoU-projekten

Under workshopen presenterade inbjudna talare från olika kraftgrenar sina konstruktioner samt de övergripande behov av FoU relaterade till respektive konstruktionstyper. Denna rapport är baserad på presentationerna och diskussionerna därefter.

2 Workshop

2.1 Inledning

För att kunna samordna betongteknisk FoU inom kraftindustrin krävs att de problemställningar som är signifikanta för respektive kraftslag presenteras för anläggningsägare inom de övriga kraftslagen, dvs. vattenkraftägare presenterar sina konstruktioner och belastningar för kärn- och vindkraftsfolk osv. För vattenkraftens förutsättningar och konstruktioner presenterade Erik Nordström från vattenfall och Tomas Ekström från Energoretea. För kärnkraftens konstruktioner och förutsättningar presenterade Jan Gustavsson (Ringhals). För vindkraftens konstruktioner saknades anläggningsföreträdare. Därför presenterade Lars Johansson från Ramböll Sverige AB och Manouchehr Hassanzadeh från Vattenfall R&D vindkraftkonstruktionernas förutsättningar. För övrigt finns det konsulter och forskare som arbetar övergripande med betongtekniska frågeställningar inom flera kraftslag. Gemensamma betongtekniska beständighetsfrågor presenterade Lars-Olof Nilsson från Byggnadsmaterial, LTH och gemensamma lasttekniska förutsättningar presenterade Tomas Ekström från Energoretea. Workshopens deltagare deltog också aktivt i ett grupparbete uppdelade efter vilka kraftslag man normalt arbetar med. I gruppdiskussionerna diskuterades vilka FoU-frågor som ansågs vara branschgemensamma och viktigast att samordna.

2.2 Gemensam betongteknisk FoU inom kraftindustrin

För att underlätta samarbete och kunskapsöverföring vad gäller FoU mellan kraftindustrins olika teknikgrenar anordnades en workshop i september 2009. Under workshopen identifieras och exemplifieras gemensamma problemställningar och forskningsbehov. Presentationerna och de diskussioner som fördes under seminariet presenteras i denna rapport och kan ligga till grund för framtida gemensamma satsningar, framför allt inom Elforsk.

2.3 Program

Introduktion	
Beskrivning av konstruktioner	Varje teknikgren beskriver uppbyggnaden övergripande och visar detaljer som är specifika för teknikgrenen.
Lokala defekter och konstruktionsfogar - global konsekvens	Vilka lokala defekter, inbyggda eller orsakade av nedbrytning eller last, kan förekomma och hur kan de påverka konstruktionen i stort.
Gruppdiskussion	
Lunch	
Sammanställning av förmiddags gruppdiskussion	
Beständighet - gemensamma problemställningar och grundforskningsbehov	Olika för teknikgrenen typiska beständighetsproblem beskrivs och den gemensamma forskning som behövs för att lösa dessa problem visas.
Belastning och bärförmåga - gemensamma problemställningar och grundforskningsbehov	Olika för teknikgrenen typiska problem beskrivs och den gemensamma forskning som behövs för att lösa dessa problem visas. Vilka modeller, normer, beräkningsprogram, belastningsfall, etc. används och vad behöver utvecklas vidare. Vad kan vara gemensamt med andra typer av anläggningar?
Diskussion	

3 Vattenkraft

3.1 Inledning

Innehållet i detta kapitel baseras till stor del på de vattenkraftrelaterade föreläsningar som hölls vid workshopen:

- Betongkonstruktioner i vattenkraften, Erik Nordström, Vattenfall AB
- Laster på vattenkraftskonstruktioner, Erik Nordström, Vattenfall AB
- Vattenkraftsbelastningar och analyser, Tomas Ekström, EnergoRetea
- Temperaturanalyser på dammar, Tomas Ekström, EnergoRetea

3.2 Vattenkraftens konstruktioner

Inom vattenkraften finns det betongkonstruktioner med vitt skilda funktioner. Dels finns de dämmande konstruktionerna som t.ex. utskovsdammar, anslutningsdammar och intagskonstruktioner. I dammbyggnaden finns även jordhållande konstruktioner (t.ex. stödmurar) och energidämpande konstruktioner (t.ex. utskovsöppningar, energiomvandlare och ledmurar). Betongkonstruktioner som utgör en del av dammen är ur ett säkerhetsperspektiv de viktigaste dammdelarna. Därför finns det i RIDAS ett regelverk som definierar hur dessa skall dimensioneras så att de med tillfredsställande säkerhet uppfyller krav på funktioner som täthet, stabilitet och bärförmåga. Kraven gäller både vid utförande och under dammens livslängd.

Det finns flera olika typer av dammbyggnader, vanliga typer är massivdammar, lamelldammar och valvdammar. Funktionen är olika för dessa tre dammtyperna och därmed i viss mån även de betongrelaterade problem som kan uppstå. Massivdammarna är den äldsta dammtypen och dess stabilitet bygger på dammens tyngd och betongen är ofta oarmerad. Lamell- och valvdammarna är generellt modernare dammtyper och är betydligt slankare konstruktioner. Därmed utnyttjas betongens bärförmåga i en högre grad än för massivdammarna och dammarna är armerade för att kunna ta upp dragkrafter.

De svenska betongdammarnas åldersstruktur är sådan att de äldsta dammarna nu är drygt 100 år. De flesta dammarna byggdes från 1900-talets början till ca 1970, därefter har endast ett fåtal nya dammar tillkommit. Betongtekniken har under denna period utvecklats åtskilligt, vilket gör att den betong som använts vid olika tidsepoker markant skiljer sig åt. Detta medför att även de betongrelaterade problemen kan skilja sig åt.

De laster dammar utsätts för är bl.a. vattenlast inkl. upptryck, islast, temperaturrörelser, jordtryck, trafiklast, våglast och den exponering dammarna utsätts för är bl.a. läckage/urlakning, nötning, frost och alkaliballastreaktioner.

Utöver de dämmande konstruktionsdelarna finns det betong i kraftstationen som inte har en dämmande funktion, t.ex. vattenvägar och aggregatupplag. Skador på dessa delar påverkar normalt säkerheten i mindre utsträckning än de dämmande konstruktionerna, men skador och haverier kan ha betydande ekonomiska effekter på grund av förlorad produktionskapacitet. Av denna anledning är även dessa delar av stor betydelse. Lasterna på dessa är både dynamiska och statiska och kan vara avsevärda.

3.3 Beständighetsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom vattenkraften

Oavsett dammtyp finns det några generella gemensamma problemställningar och svaghetszoner hos betongdammar:

- Fogar medför ofta otätheter och läckage.
- Det ständiga vattentrycket medför stor risk för urlakning av injektering, i sprickor/fogar och i betongmassan som helhet, speciellt när betong av sämre kvalitet har använts.
- Långvarig hög fuktbelastning ger en stor risk för frostsador.
- Fuktbelastningen medför även en risk för ballastreaktioner när olämplig alkalireaktiv ballast använts.
- Temperaturvariationer kan medföra sprickbildning.
- Vattenflöde i utskov och vattenvägar i kraftstationen medför nötning på betongtor.
- Urlakning kan medföra sänkt täthet och hållfasthet samt sänkt pH och därmed risk för armeringskorrosion. Försämrade täthet mot uppströmsytan medför ett ökande upptryck och försämrade stabilitet.

Kombinationer förvärrar ofta skadorna, t.ex. ger nötning minskat täckande betongskikt, vilket kan öka risken för armeringskorrosion. Synergi mellan frost och ballastreaktioner är vanliga då frost kan öppna upp sprickor som medför en högre fuktbelastning och accelererande ballastreaktioner.

Forskningsbehov finns inom alla ovanstående problemställningar. Exempel på angelägna forskningsområden är:

- Synergieffekter mellan olika beständighetsproblem.
- En långvarig fuktbelastning kan medföra att det luftporsystem som skall skydda betongen mot frostsador med tiden fylls med vatten och/eller olika reaktionsprodukter. Denna process är dåligt undersökt och den ofta extremt långvariga fuktbelastningen som dammar utsätts för utan mellanliggande uttorkning ökar risken för att luftporsystemet blir vattenfyllt. Detta kan medföra att det finns ett bortre datum för när frostbeständigheten upphör och betongdammens livslängd med avseende på frost är uppnådd.
- Frostsador är ofta större i vattenlinjen. Teorier om orsak till detta finns, men faktisk orsak är inte fastslagen.
- Reparationsmetoder anpassade till vattenkraft, t.ex. effektiv tätning av uppströmsytan och snabba reparationer av kraftstationen.
- Metoder att utvärdera status på injekteringar.

3.4 Belastningsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom vattenkraften

Även med avseende på belastning finns det några generella gemensamma problemställningar och svaghetszoner hos betongdammar:

- Igensatt och därmed försämrade dränering och/eller urlakade injekterings-skärm ger ökande upptryck och därmed även en sänkt stabilitet.

- Dynamiska laster finns i många olika konstruktionsdelar, t.ex. finns högfrekventa laster runt aggregaten. Mer lågfrekventa dynamiska laster finns i vattenvägar (t.ex. svallning) och på dammkonstruktionen (årstidsberoende temperaturvariation).
- Temperaturrörelser förorsakar inre tvång och därmed risk för sprickbildning.
- Ridas dimensioneringsregler baseras fortfarande på säkerhetsfaktorer och inte partialkoefficienter.
- Förankringar är hårt utnyttjade och måste kunna kontrolleras.
- Stabiliteten påverkas av förändringar i konstruktionen, t.ex. frostsador och temperatursprickor.'
- Islaster

Från dessa problemställningar kan bland annat följande forskningsbehov identifieras:

- Det kan finnas ett behov att ändra dimensioneringsreglerna så att även Ridas använder partialkoefficienter och därmed ansluter till BBK.
- Verktyg för att bedöma/beräkna orsak till belastningsskador, t.ex. beräkna temperaturvariationens inverkan bör vidareutvecklas. Här är även intressant att studera beständighetsrelaterade och belastningsrelaterade problem parallellt.
- Mer avancerade verktyg för att bedöma/beräkna noterade belastningsskadors effekt på säkerhetsmarginalen bör utvecklas. Idag är man oftast hänvisad till enkla handberäkningar, vilka troligen underskattar bärförmågan och ger därmed onödigt dyra åtgärder.
- Dynamiska lasters effekt, t.ex. med avseende på utmattning, bör studeras.
- Sprickors uppförande samt hur betong – armering samverkar, speciellt i skadade zoner, t.ex. i frostskadade eller spruckna områden.

4 Kärnkraft

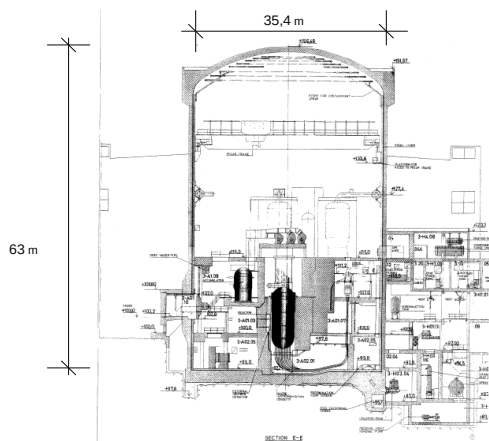
4.1 Inledning

Detta kapitel sammanfattar presentationen om de konstruktionstekniska förutsättningarna för byggnader vid kärnkraftverk i Sverige. De vanligaste beständighets- och belastningsrelaterade problemen samt forskningsbehovet för dem har belysts separat.

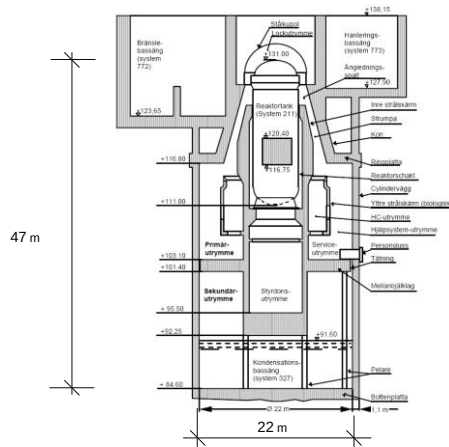
Jan Gustavsson från Ringhals presenterade hur kärnkraftverk fungerar ur ett byggtekniskt perspektiv samt de förutsättningarna som råder för betongkonstruktioner i kärnkraftverk. Presentationen var uppdelad i två delar, byggnadskonstruktioner samt laster på byggnadskonstruktioner. Jan Gustavsson har arbetat med byggfrågor inom kärnkraftsteknik sen ringhals byggdes och arbetar idag där som byggspecialist.

4.2 Kärnkraftens konstruktioner

Från Jans presentation har kärnkraftens konstruktioner sammanfattats i detta stycke. Det finns två typer av kärnkraftverk i Sverige, kokareaktorer (BWR) och tryckvattenreaktorer (PWR). Skillnaden i korta drag vad det gäller inneslutningarnas konstruktion är att PWR-inneslutningen har större dimensioner. Detta beror på att ånggeneratoren, där värmeväxlingen sker mellan primär och sekundärsystemet ligger inne i inneslutningen. BWR-inneslutningen är således mindre och uppdelad i två utrymmen, primärutrymmet där reaktortanken befinner sig och sekundärutrymmet där kondensationsbassängen befinner sig.



Figur 1. PWR-inneslutningen



Figur 2. BWR-inneslutning

Passande nog har Ringhals bägge reaktortyper vilket belysts i presentationen.

För byggnaderna i Ringhals, vilka i stora drag liknar de övriga BWR-reaktorerna i Forsmark och Oskarshamn, presenterades ett antal kända problemområden.

För PWR-inneslutningarna belysts korrosionsproblematiken kring tätplåten i inneslutningens nedre delar samt vilka osäkerheter som kan råda kring cementingjutna spännkablar. För BWR-inneslutningarna finns liknande problemställningarna men risken för korrosion finns vid kondensationsbassängen samt i top-

pen på primärutrymmet, den så kallade toroiden. För inneslutningen kan man sammanfatta att det är miljöerna kring dessa komponenter som behöver utredas noggrannare. Mikroklimatet kring komponenterna kan skilja sig väsentligt mot den globala miljön som man förutsätter råder under drift. Miljön under revisioner, dvs. under bränslebyten när översyn kan göras skiljer sig också väsentligt mot miljön som råder under drift.

För byggnader utanför reaktorbyggnaden presenterades uppbyggnaden av turbinfundamenten och vibrationer kring turbinerna. Överlag så finns det stora problem och komplicerade problemställningar med kloridinducerad armeringskorrosion i kylvattenvägarna. De särskilda områdena som presenterade var intagsbyggnaden, huvud- och hjälpkylvattenintag där armeringskorrosion har detekterats vid vattenlinjen. Utöver detta existerar problem med korrosion under vattenlinjen i kylvattenutlopp, huvud- och hjälpkylvattenkanaler där. Detta fenomen med korrosion under vattenytan är mer svårförstått än omkring vattenytan eftersom i teorin så borde vattnet hindra syretillgången vilket är den normala förutsättningen för korrosion.

4.3 Beständighetsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom kärnkraften

Baserat på presentationen av Jan Gustavsson och de diskussioner som genomfördes under workshopen samt författarnas erfarenheter från kärnkraftsbranschen är den huvudsakliga beständighetsrelaterade problemställningen, som därför har ett stort forskningsbehov, varför armering korroderar under vattenytan.

Utöver detta finns ett behov av att forska på inneslutningsmiljöerna samt hur de påverkar konstruktionsdetaljer i inneslutningen. Mikroklimatet, dvs. klimatet kring och i olika komponenter och konstruktionsdetaljer kan påverka materialet på ett sådant sätt som är svårt att förutsäga eftersom miljöerna inte klarlagda. Det kan helt enkelt existera nedbrytningsmekanismer som orsakas av mikroklimatet kring komponenterna.

4.4 Belastningsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom kärnkraften

Baserat på presentationen av Jan Gustavsson och de diskussioner som genomfördes under workshopen samt författarnas erfarenheter från kärnkraftsbranschen är den huvudsakliga belastningsrelaterade problemställningen vibrations-skador på fundament samt hur fundamenten påverkar vibrationer i turbinerna.

Grunden för att studera sprickors inverkan på vibrationsproblemen hos turbinerna är relativt komplicerad att modellera eftersom materialegenskaperna varierar i betong med sprickor. För att kunna göra en bra och verklighetstrogen modell förenklas det betydligt om sprickorna är kända till antal och storlek. Om orsaken till sprickinitieringen är okänd måste först den tas fram för att modellerna skall bli användbara. Kombinationen av statiska belastningar (t.ex. egentyngd), semi-statiska belastningar (t.ex. Temperaturlaster, krympning mm.) och dynamiska belastningar (t.ex. vibrationer från turbiner) påverkar initieringen och propagering av sprickorna i konstruktionen. För att kunna modellera vibrationerna i fundamenten i turbinernas anslutning måste dessa tre belastningstyper vara kända.

5 Vindkraft

5.1 Inledning

Innehållet i detta kapitel baseras till stor del på de vindkraftrelaterade föreläsningar som hölls vid workshopen:

- Fundamentering av Vindkraftverk, Lars Johansson, Ramböll Sverige
- Vindkraftens konstruktioner, Manouchehr Hassanzadeh, Vattenfall R&D

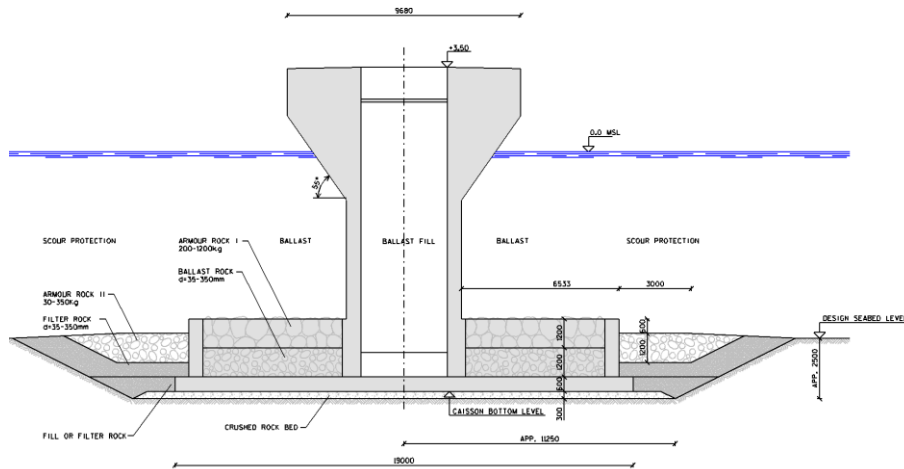
5.2 Vindkraftens konstruktioner

Vindkraftverk byggs både på land (landbaserade vindkraftverk) och i havet (havsbaserade vindkraftverk, eller off-shore). Traditionellt grundlägs vindkraftverk på gravitationsfundament, dvs. på betongfundament direkt på marken respektive havsbotten. För havsbaserade vindkraftverk förekommer även stålfundament.

Tornet i vindkraftverken byggs i stål, och kommer troligen så att huvudsakligen göras även i framtiden. Det förekommer även varianter med betong eller kombinationer av betong och stål. För fundamentet finns däremot olika lösningar. *Det Norske Veritas* (DNV) definierar fem grundläggande koncept för fundament till havs:

- Monopile
- Tripod
- Fackverk (Lattice)
- Gravitationsfundament
- Flytande

I samtliga koncept, utom i gravitationskonceptet, används stål som huvudsakligt byggmaterial, där betong används för bärande delar. Vad det gäller gravitationskonceptet finns olika lösningar för fundament. Figur 3 visar exempel på ett fundament som byggs som en kassun, bogseras ut till avsedd plats, sänks och fylls med ballast. Med avseende på beständighet är konstruktionen utsatt på samma sätt som en bropelare i havsmiljö.



Figur 3. Graviationsfundament.

Vindkraftverken på land har i de flesta fall byggts med ståltorn på betongfundament. Ståltornen har antingen bestått av koniska stålrör eller av fackverk. I några begränsade fall har dock betong använts som byggmaterial för torn, eller kombination av betong och stål. Fortfarande är stål det dominerande byggmaterialet för torn, men i takt med ökade stålpriser, utveckling av maskiner med större kapacitet (effekt) samt ökad tornhöjd har andra tornkoncept utvecklats. Olika studier visar att koncept baserat på koniska stålrör inte är lönsamt för tornhöjder över ca 120 m. Dessutom är det svårt att uppfylla tekniska och logistiska krav om koniska stålrör används för tornhöjder över 120 m.

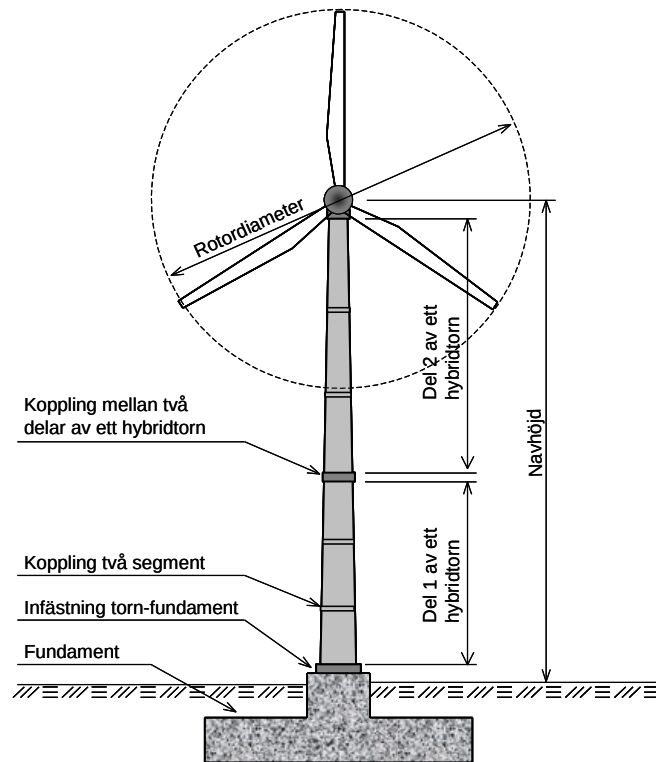
Figur 4 visar den principiella uppbyggnaden av ett landbaserat vindkraftverk. Som framgår av figuren kan tre huvuddelar särskiljas, nämligen *fundament*, *torn* och *turbin*.

Fundamentet byggs med betong. Fundamentets utformning och storlek styrs främst av turbinens kapacitet och utformning, och därmed de krafter som ska överföras från tornet till underliggande jord. Diametern respektive tjockleken hos ett fundamentets grundplatta är ca 20 à 25 m respektive 3 m.

Som framgick ovan är ståltorn, utformat som koniskt rör, fortfarande det dominerande tornkonceptet. Dock börjar betong vinna terräng som byggmaterial för torn. Numera byggs torn med armerad betong som byggmaterial enligt två olika koncept. I det ena konceptet används enbart armerad betong. Detta koncept används för tillverkning av torn med navhöjd upp till 110 m. I det andra konceptet, *hybridtorn*, utgörs den nedre delen av tornet av armerad betong, del 1 i Figur 4, medan den övre delen utgörs av ståltorn antingen koniskt stålrör eller fackverk, del 2 i Figur 4.

Ståltorn tillverkas i segment och monteras på plats. Betongtorn tillverkas antingen med prefabricerade element som monteras på plats eller som platsgjutna med antingen glidform eller klätterform. Samtliga betongtorn innehåller slak- och spännarmering. Slakarmeringen är avsedd för byggprocessen medan belastningarna efter tornets färdigställande tas upp av spännarmeringen.

Betongtorn, eller betongdelen av ett hybridtorn, armeras med spännarmering. Även här förekommer olika utformningar. Det dominerande sättet är att spännarmeringen placeras utanför betongen på insidan av tornet. Det förekommer även fall där spännarmeringen placeras i foderrör ingjutna i betong.



Figur 4. Konstruktionsdelar i ett Vindkraftverk.

Utöver de tre huvuddelar som nämndes ovan finns andra konstruktiva delar som är viktiga i ett vindkraftverk, nämligen infästningen av torn mot fundament, koppling mellan betongdel och ståldel i ett hybridtorn, infästningen mellan turbin och torn samt kopplingen mellan olika segment. Samtliga delar är viktiga och har medfört till stora reparationskostnader orsakade av felkonstruktion.

I ett hybrid- och betongtorn krävs speciella upplag och anordningar för spännarmeringens uppspanning. Armeringen spänns upp, d.v.s. dragkraften påförs, antingen i botten eller i toppen av tornet (toppen av betongdel i ett hybridtorn).

Ett betongtorn spänns mot fundamentet genom spännarmeringen, medan ståltorn fästs mot detaljer ingjutna i fundamentet. Det förekommer olika lösningar vad det gäller infästning mellan ståltorn och betongfundament. Sprickbildningar förekommer i betongfundament vid infästningen mellan ståltorn och betongfundament, där stora koncentrerade laster ska föras över mellan torn och fundament. I de flesta fall har fel detaljlösning varit orsaken.

De laster som verkar på ett vindkraftverks fundament kommer från torn och turbin, lokala förhållanden såsom vindar och vågor (vindkraft i havsmiljö), islaster och nedisning (fackverkkonstruktioner) samt egenvikt.

Vindkraftverken är slanka konstruktioner som belastas med stor rörlig massa vilket gör att vindkraftverkets egensvängning kan bli låg. Det är stor risk att vindkraftverkets egensvängning kan sammanfalla med rotnors, vindens och vågornas frekvenser.

Vindkraftverken är känsliga för differentialsättningar, vilka ger upphov till snedställningar av konstruktionen. Snedställningar kan medföra stora påfrestningar på såväl torn som på grundläggningen, liksom skador på själva turbinen. Vid snedställningar ökar belastningen lokalt på och i fundamentet, vilket kan leda till sprickbildningar. Tornleverantörer föreskriver därför vanligtvis en maximalt tillå-

ten snedställning av fundamentet för att säkerställa en bibehållen funktion hos anläggningen och för att undvika skador på turbinen.

5.3 Beständighetsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom vindkraften

Vindkraftens betongkonstruktioner i havsmiljö är utsatta för samma typ av angrepp som ett brofundament eller en bropelare är utsatt för. Därför bör man utgå från samma frågeställningar som gäller för brofundament och bropelare i havsmiljö. De skademekanismer som kan vara aktuella för ett vindkraftverks fundament i havsmiljö är:

- Klorider i havsvatten kan leda till armeringskorrosion.
- Långvarig hög fuktbelastning kan leda till frostangrepp på betong speciellt vid vattenlinjen. Vattenansamling i spalter mellan olika material kan leda till frostangrepp.
- Ytlig urlakning och urlakning i sprickor kan leda till sänkt pH i betongen, vilket kan leda till armeringskorrosion.
- Fel vald cementtyp kan leda till sulfatangrepp.
- Is och vattenström kan leda till erosion.
- Fel vald ballast kan leda till alkalisilikareaktioner.
- Sprickbildning p g a stora lastkoncentrationer och svårigheter att utföra en effektiv sprickviddsarmering. Tornets oscillerande rörelse p g a rotorns rotation har också visat sig ge upphov till sprickor vid infästningen mellan torn och fundament.

Förhindrade termiska och fuktrörelser kan medföra att nya sprickor bildas eller att de befintliga utvidgas, vilket ökar risken för frost- och korrosionsangrepp.

Skillnaden mellan ett vindkraftverksfundament och ett brofundament är det elektriska fält som uppkommer på grund av turbiner, elproduktion och elnätet. Inverkan av fältet har inte klarlagts.

Trots att vindkraftverken i havsmiljö dimensioneras för betydligt kortare livslängd än brokonstruktioner, bör ovanstående nedbrytningsmekanismer beaktas vid dimensioneringen. För att uppnå en underhållsfri och säker livslängd mellan 20 och 30 år bör konstruktionerna dimensioneras för en livslängd på 50 år. Konstruktionerna bör dimensioneras och utföras på ett sådant sätt att risken för sprickbildning minimeras. Sprickbildning underlättar de nämnda mekanismernas nedbrytning av betong.

De landbaserade vindkraftverkens fundament är mindre utsatta jämfört med de havsbaserade. De mekanismer som är aktuella i detta fall är:

- Frostangrepp i områden med hög fuktbelastning, t.ex. områden där vatten ansamlas, spalter och sprickor som kan fyllas med vatten.
- Fel vald cementtyp kan leda till sulfatangrepp i sulfathaltig jord.
- Fel vald ballast kan leda till alkalisilikareaktioner.
- Sprickbildning p g a stora lastkoncentrationer och svårigheter att utföra en effektiv sprickviddsarmering. Tornets oscillerande rörelse p g a rotorns rotation har också visat sig ge upphov till sprickor vid infästningen mellan torn och fundament.

För landbaserade vindkraft längs kustlinjen och i närhet till hav måste dock havsmiljön beaktas vad gäller beständighet.

Förhindrade termiska och fuktrörelser kan medföra att nya sprickor bildas eller att de befintliga utvidgas, vilket ökar risken för frost- och korrosionsangrepp. Det elektriska fältet kan påverka armeringskorrosionen.

Betongtornen är mindre utsatta jämfört med fundamenten. De nedbrytningsmekanismer som kan vara aktuella i detta fall är:

- Armeringskorrosion orsakad av betongens karbonatisering. Risken för detta angrepp reduceras genom lämpligt val av det täckande betongskiktet och materialsammansättning samt lämplig produktionsmetod som eliminerar risken för ytsprickor.
- Fel vald cementtyp kan leda till sulfatangrepp i sulfathaltig jord.
- Fel vald ballast kan leda till alkalisilikareaktioner.

Förhindrade termiska och fuktrörelser kan medföra att nya sprickor bildas eller de befintliga utvidgas, vilket ökar risken för korrosionsangrepp. Det elektriska fältet kan påverka armeringskorrosionen.

Forskningsbehov finns inom alla ovanstående problemställningar. Exempel på angelägna forskningsområden är:

- Synergieffekter mellan olika beständighetsproblem.
- Frostsador är ofta större i vattenlinjen. Teorier om orsak till detta finns, men faktisk orsak är inte fastslagen.
- Inverkan av sprickbildning på kloridinträngning i betong i havsmiljö.
- Självläkning av sprickor i betong.
- Samband mellan sprickbildning, vatteninträngning i betong och frostsador i landbaserade vindkraftverk.

5.4 Belastningsrelaterade problemställningar och grundforskningsbehov inom vindkraften

De belastningsrelaterade problemställningarna avgörs av lasternas ursprung och storlek. Belastningsdata tillhandahålls av turbinleverantörer i s k Load Calculation Reports och styrs av typ av turbin och lokala förhållanden, t ex vindvärden, på installationsplatsen. Därför varierar kraven från leverantör till leverantör. Detta medför att utveckling av tornkoncept måste ske i samarbete med turbinleverantörer.

Man skiljer mellan *Normal Load Cases and Abnormal Load Cases*.

Belastningsdata används för att dimensionera konstruktionen, vilket utförs med konventionella beräknings- och dimensioneringsmodeller. De betongkonstruktioner som ingår i ett vindkraftverk dimensioneras på samma sätt som andra betongkonstruktioner med likartade belastningar. De parametrar som är viktiga är:

- Dynamisk belastning och egensvängning
- Utmattningsgrad
- Lokala spänningar
- Infästning mellan torn och fundament

- Var i fundamentet tas krafterna upp? (beror på hur infästningen mellan torn och fundament utförs)

Den forskning och utveckling som behövs är enligt följande:

- Beräkningsmodeller som kan analysera hela vindkraftverkets beteende, torn inklusive fundament och grund, s k samverkansanalys.
- Beräkningsmodeller som kan analysera lokala effekter för att kontrollera spänningskoncentrationer och risk för sprickbildning.
- Beräkningsmodeller som kan analysera samverkan mellan betongfundament och undergrund för att bättre kunna lokalisera var krafterna tas upp, samverkansanalys.

6 Gemensamma frågeställningar

Det första kapitlet, Kapitel 6.1. i detta avsnitt sammanfattar de beständighetsrelaterade förutsättningarna och problemställningarna som förekommer i betongkonstruktioner för energisektorn. Kapitel 6.1 är baserat på en presentation av Lars-Olov Nilsson (lunds universitet, byggnadsmaterial). Kapitel 6.2 behandlar belastningar som påverkar betongkonstruktioner samt belastningsgenererad nedbrytning.

6.1 Beständighet

Vid dimensionering av betonganläggningar ställer man krav på anläggningens beständighet mot olika typer av nedbrytning. Kravet kan uppfyllas på två olika sätt antingen väljer man att undvika eller förhindra tänkbar nedbrytning eller väljer man lämplig kombination av material och konstruktionsutformning för att konstruktionen skall kunna motstå tänkbar nedbrytning under viss tid. Det första valet involverar olika typer av åtgärder medan det andra handlar om att förutse nedbrytningsprocessens utveckling med tiden, d.v.s. livslängdsdimensionering.

Båda åtgärderna kan tillämpas vid nyproduktion, tillståndsbedömning och reparation av betonganläggningar. För att dimensioneringen skall kunna utföras på rätt sätt bör även de olika klimatpåfrestningarna och förändringsprocesserna som påverkar anläggningen vara kända.

Beständighetsdimensionering kan utföras på olika sätt. Ett sätt är genom normer och standarder. SS-EN 206-1 kan användas t.ex. för att bestämma lämpligt material och täckande betongskikt med utgångspunkt från konstruktionens exponeringsmiljö och krav på livslängd. Ett annat sätt är att använda funktionsinriktade dimensioneringsmetoder. Metoderna är lämpliga om:

- krävd livslängd avviker väsentligt från 50 år,
- speciell konstruktion,
- krav på lägre sannolikhet för misslyckande ("failure")
- särskild miljö eller väl definierad miljö,
- hög nivå på arbetsutförande,
- införande av strategi för underhåll,
- många liknande konstruktioner,
- nya eller annorlunda delmaterial,
- standardspecifikationer inte uppfylls.

Metoderna är baserade på livslängdsdimensionering och erfordrar följande kunskaper:

- FUNKTIONSKRAV hos material/komponent/byggnadsdel/system
 - Kända
 - Rätt typ
 - Kvantifierbara i materialegenskaper
- MILJÖN
 - Känd (inkl framtida förändringar)
 - Ev. "standardmiljö" ger potentiell livslängd

❑ NEDBRYTNINGS- & FÖRÄNDRINGSMEKANISMEN

- Känd (annars alldeles fel prognos, mätmetod, egenskaper)
- Olika mekanismer vid olika tidpunkter (svårt att förutse, svårt att upptäcka vid accelererad provning)

❑ PROGNOSMETOD

- Icke-accelererad provning ELLER
- Teoretisk modell+materialegenskaper+miljöbeskrivning

De förändrings-/skademekanismer som i allmänhet påverkar betonganläggningar är enligt nedan:

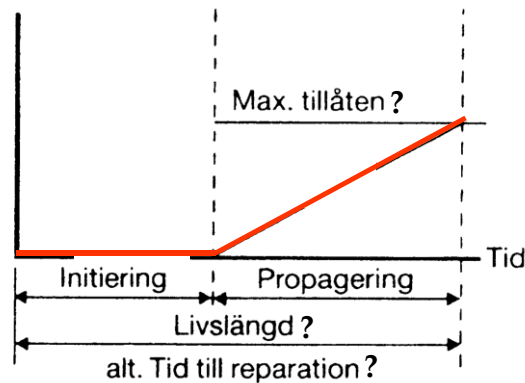
- | | |
|---|----------------------------|
| • Frost i vatten | • Havsvattenangrepp |
| • Frost och salt | • Sura angrepp |
| • Armeringskorrosion av CO ₂ | • Urlakning |
| • Armeringskorrosion av Cl | • Uttorkning/krympning |
| • Korrosionshastighet | • Cement-ballastreaktioner |
| • Sulfatangrepp | • Skador under byggtiden |
| • Försenad ettringitbildning | • Belastningsskador |
| • Saltangrepp | |

Generellt sett påverkas kraftindustrins anläggningar (Vatten-, Kärn-, Vind-, Värmekraft, mm) av ovannämnda mekanismerna. Vilket betyder att kraftindustrins frågeställningar vad det gäller betonganläggningarnas beständighet och livslängd inte skiljer sig från andra sektors anläggningar.

De grundläggande "försvarsstrategierna" mot skademekanismerna är:

1. Eliminering av avgörande parametrar för att nedbrytning/förändring skall kunna ske, eller
2. Optimerad design (d.v.s. styr hastigheten i förändringsförloppet!)

De flesta förändrings-/skadeförloppen kan indelas i två skeden nämligen initierings- och propageringsskeden, Figur 5. Under initieringsskeden byggs förutsättningar för att en skademekanism skall kunna verka upp, t.ex. kloridhalten kring armering uppnår tröskelvärde. Under propageringsskeden verkar skademekanismen, d.v.s. armeringen korroderar. Vid nyproduktion visar förändringsförloppet den tidsperiod då funktionskraven är uppfyllda. Vid tillståndsbedömning visar förändringsförloppet hur långt förändringsprocessen har gått. Slutligen visar förändringsförloppet vid reparation hur mycket längre är livslängden.



Figur 5. Förändringsförlopp – principiellt.

Bland de styrande faktorerna vad gäller förändringsprocesser är fukt-, värme och jontransport. Vissa nedbrytningsprocesser kan avstanna helt om t.ex. konstruktionen torkas eller transport av vissa joner förhindras. Viktiga områden för kraftindustrins betonganläggningar är:

- Fukttransport i betong (hygrokopiskt, överhygrokopisk, temperaturgradient och vattentryck)
- Fukttransport i spalter och kontaktzon mellan betong och andra material
- Fukt i ventilerade utrymmen
- Värmetransport
- Jontransport (klorider, kalciumhydroxid)
- Gastransport (koldioxidinträngning/karbonatisering, gasinträngning i betong/täthetsprov)

Klimatförhållandena i kraftindustrins olika utrymmen är viktiga för drift, konstruktionens och utrustningarnas beständighet. Fukttillståndet i utrymmena är speciellt viktigt. Fukttillståndet i ventilerade utrymmen styrs av:

- Randvillkor
 - Uteklimat
 - Mark (marktemperatur, 100 % RF)
- Fuktbalans
 - Fukttransport genom omslutningsväggar
 - Ventilation
 - Interna fuktkällor
- Fukttillstånd i luft/på ytor
 - Luftens ånghalt
 - Temperaturnivåer, -skillnader
- Fukttillstånd i omslutningsväggar
 - Fukttransport, stationär och icke-stationär

6.2 Belastning

Det råder stor skillnad vad gäller regler och normer för dimensionering av kraftverkens huvudkonstruktioner. Partialkoefficientsmetoden används inte för dimensionering av dammkonstruktioner, utan där baseras dimensioneringen på säkerhetsfaktorer. Partialkoefficientmetoden tillämpas på Kärnkraftskonstruktioner. Laster som påverkar vindkraftsanläggningarna anges normalt av turbinleverantörerna, vilket gör det svårt att tillämpa partialkoefficientmetoden fullt ut. För närvarande är det svårt att peka ut gemensamma grunder för dimensionering av kraftindustrins betonganläggningar.

Det fenomen som har visat sig vara gemensamt för samtliga kraftgrenars konstruktioner är spricktillväxt. Sprickor initieras och propagerar av olika belastningsbetingelser:

- Statisk belastning t.ex. egentygnd eller en annan belastning som kan betraktas som statisk. Global överbelastning t.ex. laster som leder till att materialet draghållfasthet överskrids och lokala spänningskoncentrationer t.ex. vid sektionssändringar. Denna typ av spricktillväxt kan förekomma i samtliga konstruktioner. Exemplet är överbelastning av grundplattor i vindkraftverk orsakad av snedställning, spänningskoncentrationer vid genomföringar och infästningar av luckor i vattenkraft- och kärnkraftverk.
- Kvasistatisk belastning t.ex. förhindrade töjningar och töjningsgradients orsakade av monotont ökande eller minskande samt cykliska förändringar i konstruktionens temperatur- och fuktillstånd, både monotont och cykliskt. Även krypning kan anses vara ett kvasistatiskt fenomen. Exemplet är termisk belastning av lamelldammar, krypsprickor i vindkraftverks fundament samt uttorkningskrypning i vissa turbinfundament och innerväggar i kärnkraftsverk.
- Dynamisk belastning av "klen" konstruktioner som vindkraftverk som leder till sprickbildning i övergången mellan torn och fundament, samt fundament. Dynamisk belastning av relativt grova konstruktioner så som inre vattenvägar i vattenkraftverk samt bjälklaget av turbinhallar i både kärn- och vattenkraftverk. Dynamisk belastning av grova konstruktioner som massiva turbinfundament i både kärn- och vattenkraftverk.

Det bör dock noteras att spricktillväxt kan initieras och drivas av långvariga lasteffekter så som krypning, vilket leder till avlastning och spänningsomfördelning i materialet samtidigt som det kan medföra ökade deformationer och nedsatt hållfasthet som kan resultera i spricktillväxt.

Växlande lasteffekter kan initiera och driva sprickor. Orsaken är bl.a. utmattnings som medför att materialets hållfasthet sänks som i tur leder till spricktillväxt. Man skiljer mellan högcykelutmattnings (*high-cycle fatigue*) respektive lågcykelutmattnings (*low-cycle fatigue*). Belastnings maxvärde och amplitud är större vid lågcykelutmattnings jämfört med högcykelutmattnings. Antalet lastväxlingar som krävs för materialbrott ökar med minskad belastningsnivå. Massiva och grova turbinfundament är utsatta för högcykelutmattnings medan klenkonstruktioner kan bli utsatta för lågcykelutmattnings, speciellt när svängningsfrekvensen närmar sig konstruktionens egenfrekvens.

Utöver ovan nämnda effekter tillkommer även kombinerade mekanisk och miljöbelastningar. Det bör noteras att temperatur- och fukteffekter som är fysikaliska effekter antas utöva mekanisk belastning. Två typer av kombinationer kan nämnas:

- Miljöeffekter kan leda till att materialets hållfasthet och styvhet sänks. Alkalisilikareaktioner, sulfatangrepp, frostangrepp samt urlakning kan leda till att materialets hållfasthet och styvhet sänks. Mekanisk belastning kan därefter leda till spricktillväxt.
- Mekanisk belastning kan medföra att materialet spricker. Sprickbildning försvagar materialets motstånd mot olika typer av kemiskt angrepp som leder till sänkt hållfasthet och spricktillväxt.

Någon/några av fenomen är inträffbara i samtliga konstruktionstyper. Det bör noteras att beräkningsmässigt behandlas ovannämnda fall på likartade sätt.

7 Slutsatser

Workshopen visar att det finns områden där två eller samtliga grenar kan samverka. De områden där samverkan är fullt möjligt är beständighetsproblems initieringsskede, d.v.s. där förutsättningarna för att en skadeprocess skall initieras byggs upp. Samverkan vid nyproduktion, tillståndsbedömning och reparation är möjligt vad gäller följande frågeställningar:

- Jon- och masstransportområden som inkluderar värme- och fukttransport i och mellan materialen; klorid-, koldioxid- och gasinträngning i material; lösning och migration av kalcium- och alkali i betong (urlakning), m.m.
- Sprickbildning och sprickpropagering i betong, spaltbildning mellan olika material och materialskikt.
- Samverkan och kombinationen av de ovan nämnda processerna som kan förstärka varandra.
- Kraftindustrins anläggningar består av olika utrymmen som inhyser känsliga utrustningar. De fysikaliska lagar som styr utrymmenas klimatförhållande är desamma för samtliga kraftproduktionsgrenar.
- Utförandekontroll och tillståndsbedömning är viktiga frågeställningar för samtliga kraftproduktionsgrenar. Utveckling och anpassning av olika oförstörande provnings- och övervakningsmetoder är områden där de olika grenarna kan samverka.
- Vad det gäller de grundläggande förändrings- och skademekanismer är samverkan möjlig beträffande några kemiska och fysikaliska processer. De viktigaste samverkansområdena är dock framtagning av processer och metoder för att förebygga och avhjälpa de förändringar som mekanismerna tillfogar konstruktionerna.

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**