

 Energiforsk **BETONGTEKNISKT**
PROGRAM Vattenkraft

NYHETER 2016

Kartläggning av
spricktyper och
dess omfattning
sid. 3

Livslängd – ett
rörligt mål **sid. 4**

Samverkande
faktorer bakom
betongskador
sid. 8



Nuvarande period av Betongtekniskt program vattenkraft går mot sitt slut, men vi har redan inlett en ny etapp av programmet. Det är glädjande att branschen gett oss det förtroendet och det ska bli spännande att följa fortsättningen där vi startar ett nytt fokusområde kring investeringar samt jobbar vidare med produktionsnära betongkonstruktioner, underhållsstrategier och bärförmåga.

EN DEL PROJEKT är knutna till den unika fältstationen vid vattenfalls forskningsanläggning i Älvkarleby där vi kan genomföra tester i verklig älvmiljö. Testerna som utförs vid stationen utgör ett viktigt komplement till den laboratoriebaserade forskningen och har som syfte att bland annat utvärdera reparationsmetoder. De långtidstester som utförs påbörjades inom ramen för nuvarande programperiod och redan har många intressanta resultat kunnat presenteras.

DEN GÅNGNA PERIODEN har överlag gett upphov till många mycket intressanta och värdefulla forskningsresultat. Några av dem kan du läsa om i detta nyhetsbrev. Hit hör till exempel Martin Rosenqvists doktorandprojekt om orsaker till skador på betong vid vattenlinjen. Martin disputerade nyligen med en avhandling på detta tema. I en kommande Energiforskrapport har han också kartlagt hur betong som byggnadsmaterial har använts historiskt vid uppförandet av vattenkraftverk. Läs mer om den på sid

SOM VANLIGT RAPPORTERAR vi också från årets betongdag som samlade ett 50-tal personer i Älvkarleby. Årets tema kretsade kring nya material och reparationsmetoder och bjöd på många spännande anföranden.

Trevlig läsning!

*Monika Adsten,
programansvarig
Vattenkraft på Energiforsk*



FOTO: Jini Sofia Lee

BETONGTEKNISKT PROGRAM

VATTENKRAFT genomförs som ett treårigt ramprogram. En styrgrupp prioriterar och beslutar om genomförande av projekt inom programmets inriktning och ekonomiska ram samt stödjer verksamheten i genomförandet. Styrgruppen har följande sammansättning:

Mats Persson, Vattenfall Vattenkraft

Johanna Feldtman, Sydkraft Hydropower

Martin Hansson, Statkraft Sverige AB

Robert Lundström, Skellefteå Kraft

Stefan Norberg, Fortum

Marcus Hautakoski, Vattenregleringsföretagen

Monika Adsten, Energiforsk

KONTAKT:

Monika Adsten

Energiforsk AB, programansvarig Vattenkraft
101 53 Stockholm

tel. 08-677 27 35

monika.adsten@energiforsk.se

www.energiforsk.se

Vattenfall Vattenkraft AB, Fortum Generation AB, Sydkraft Hydropower AB, Statkraft Sverige AB, Skellefteå Kraft AB, Jämtkraft AB, Sollefteåforsens AB, Karlstads Energi AB och Jönköping Energi AB deltar i Betongtekniskt program vattenkraft 2013–2016.

VATTENFALL



uni
per

Fortum



Statkraft

Jämtkraft

Skellefteå
Kraft

JÖNKÖPING
ENERGI

ENERGI
karlstadsenergi.se

Produktion: Kreativ Media AB

Omslagsbild: Marie Westberg

Foto: Lars Magnell

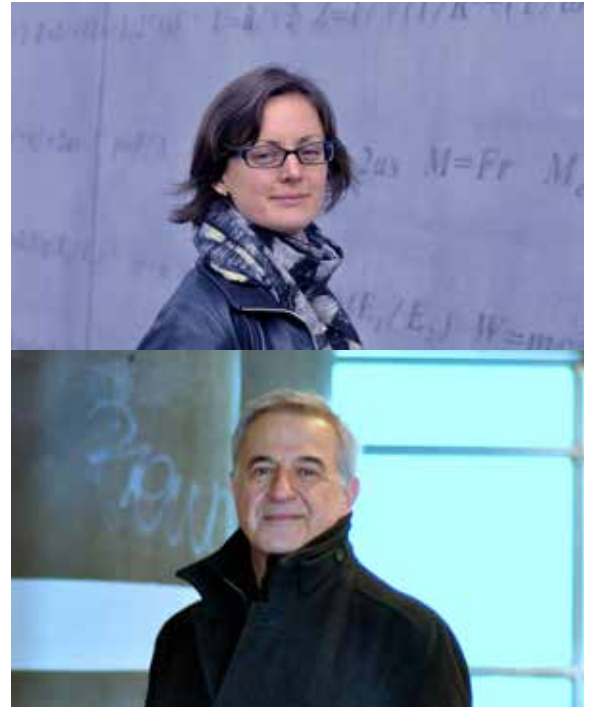
Formgivning: Gabriella Lindgren

Tryck: Planograf, Stockholm 2016

Kartläggning av spricktyper och dess omfattning

Sprickor i vattenkraftens betongkonstruktioner är vanligt förekommande och sprickbildningens orsaker är välkända. En sammanställning av de spricktyper som uppträder i vattenkraftens betongkonstruktioner har dock länge saknats men har nu tagits fram i en ny Energiforskrappport.

TEXT OCH BILD: Lars Magnell



Marie Westberg Wilde (ÅF) och Manouchehr Hassanzadeh (Sweco).

Rapporten redogörs för olika spricktyper och orsaker till att sprickor uppstår. I sammanställningen berörs även eventuella risker för konstruktionens beständighet kopplade till sprickbildningen. Undersökningsmaterialet är hämtat från inspektioner av ett stort antal dammar belägna i vattendrag* i södra- och norra Sverige. Sammanställningen kan enligt författarna** ses som ett underlag vid besiktning och tillståndsbedömning av dammarnas betongkonstruktioner.

EN SPRICKA DEFINIERAS i rapporten som en gräns mellan två delar av ett material och/eller en konstruktion där ingen överföring av dragspänningar sker. En spricka kan dock överföra både skjuv- och tryckspänningar.

Dragsprickor uppkommer när materialets draghållfasthet överskrider, vilket kan ske på grund av mekaniska, fysikaliska eller kemiska fenomen. De mekaniska fenomenen orsakas av yttre belastningar och egenvikt medan de fysikaliska uppkommer på grund av förhindrade temperatur- och fuktrörelser.

En stor andel av de sprickor som observerats i undersökta dammarna har

orsakats av förhindrade termiska rörelser, kopplade till hur betongkonstruktionen är fixerad till sin omgivning och på temperaturvariationer.

VID EN TJOCK KONSTRUKTION och en moderat temperatursänkning kan sprickbildningen inskränka sig till att uppstå endast i ytan. Ytsprickorna uppkommer vid betongens avsvälning på grund av lägre värmeavgång och därmed högre temperatur i konstruktionens mitt. Detta leder till dragspänningar vid ytan när denna svalnar och till tryckspänningar i mitten. Ytan kan sägas vara fixerad till det inre av konstruktionen som "håller emot". Sprickbredden blir oftast liten och med begränsat djup.

Om konstruktionen är tunn, relativt sin bredd och höjd, och om avsvälningen mot ytan är stor samtidigt som konstruktionen är fixerad i en eller flera ränder så kan genomgående sprickor uppstå.

SPRICKOR SOM BEROR PÅ ASR, alkalisilikatreaktion, en kemisk reaktion mellan cements alkali och vissa mineraler i betongens ballastmaterial, och inre frostangrepp förekommer i enstaka konstruktioner. Inre frostangreppen förekommer

ofta i kombination med ASR.

Som en enskild orsak till sprickor i gamla konstruktioner hänvisas till inre frostangrepp som orsak, företrädesvis ovanför vattenlinjen.

Erosion vid vattenlinjen förekommer i många dammkonstruktioner. Den mekanism som orsakar skadan är en kombination av nötning, urlakning och frostangrepp (läs mer om detta på sidan 8).

Korrosionsangrepp är däremot sällsynta och har som regel orsakats av konstruktionsfel eller för att det täckande betongskiktet är för tunt.

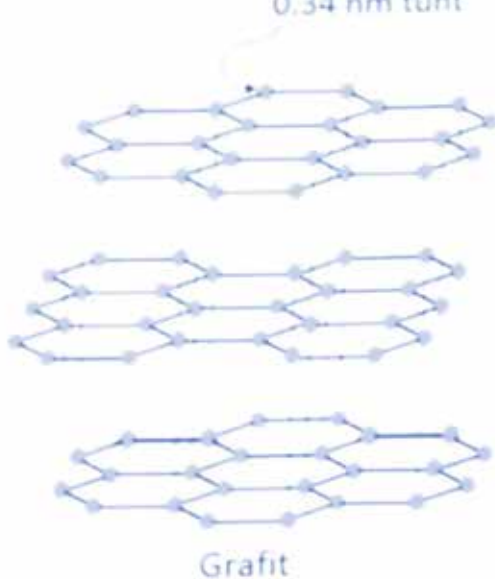
Olika typer av ytsprickor initieras i det färska tillståndet före betongens hårdnande. De orsakas av plastisk krympning, plastisk sättning och separations av bruk i kontakt med gjutform.

SYFTET MED RAPPORTEN är att sammanställa de sprickor som finns och diskutera deras potentiella påverkan på konstruktionen. Projektets syfte har inte varit att tillståndsbedöma konstruktionerna eller fastställa de mekanismer som har förorsakat sprickorna. Inte heller att bedöma konstruktionernas bärförmåga, stabilitet och livslängd, framhåller författarna.

* Inspektionerna omfattade 38 dammar i vattendragen Lagan, Nissan, Ljusnan, Ljungan, Indalsälven och Umeälven.

** Rapporten (Inventering av förekommande spricktyper i vattenkraftens betongkonstruktioner, 2016:257.) har sammanställts av Manouchehr Hassanzadeh (Vattenfall/Sweco) och Marie Westberg Wilde (ÅF).

r högre än stål)
n elektrisk ledare



5



Chalmersprofessorn Johan Liu.

Livslängd – ett rörligt mål

Den årligt återkommande Betongdagen hölls sedvanligt vid Vattenfalls forskningsanläggning i Älvkarleby. Denna gång deltog också teknik- och materialleverantörer som, i likhet med forskare från Chalmers och LTU, bjöd på spännande redogörelser om nya lovande material.

TEXT & BILD: Lars Magnell

De allra flesta betongkonstruktioner i Sverige är gamla och många vattenkraftverk har mer än 100 år på nacken. Närmar de sig därmed slutet av sin livslängd?

Det verkar ingen veta med säkerhet och livslängd i betongsammanhang framstår mer som ett rörligt mål. Kan man bättre förstå och komma tillrätta med de mekanismer och processer som bryter ner betongen över tid ökar förutsättningarna för att bromsa åldrandet. Mer konkret handlar det om att förstå och kartlägga det komplicerade fuktme-

Kan man bättre förstå och komma tillrätta med de mekanismer och processer som bryter ner betongen över tid ökar förutsättningarna för att bromsa åldrandet.

kaniska samspelet mellan skadad betong och reparationsmaterial. Men det är

också viktigt att den kunskap på området som redan finns verkligen tillämpas, vid till exempel val av reparationsmetod, och att reparationerna utförs på rätt sätt.

ERIK NORDSTRÖM, SWECO, betonade i sitt anförande på Betongdagen bland annat vikten av att skadeorsaken är tydligt klarlagd före val av åtgärd. Det ska också i detalj framgå i kravspecifikationen vilka resultat som ska uppnås med reparationen. Det kan möjligen vara lättare sagt än gjort, för enligt Erik

Det är därför naturligt att det finns ett fokus på reparationer och underhåll hos såväl beställare, utförare som hos materialtillverkare.

Nordström är detta något som det slarvas med, trots att det finns bra vägledning att få på området. Han tillade att han inte såg något slutdatum när det gäller livslängden för vattenkraftens betongkonstruktioner.

CARL-OSCAR NILSSON, UNIPER, menade å sin sida att många av vattenkraftens anläggningar åtminstone närmar sig slutet av sin tekniska livslängd. Men för att få större klarhet i hur det förhåller sig behövs bland annat riktlinjer för numeriska analyser och en uppdatering av Ridas.

– Hur skall analyser utföras och framför allt, hur skall beställaren förstå resultatet? Vad är lämpliga indata och vilka mätningar kan behövas? Det är bra att Manouchehr Hassanzadeh och Richard Malm nu sett över behovet av numeriska analyser och tagit fram en rapport som ger vägledning på området (läs mer om den på sidan 6).

DET BYGGS INTE MYCKET NYTT i Sverige i betong, nyttillskottet per år utgör bara en liten del av alla befintliga betongkonstruktioner. Det är därför naturligt att det finns ett fokus på reparationer och underhåll hos såväl beställare, utförare som hos materialtillverkare. Men, på andra håll i världen som i till exempel Kina pågår som många vet en byggboom och inte sällan används mycket starka betongmaterial. De högsta skyskraporna till exempel uppförs med superstark betong, eller extremt högpresterande betong (Ultra High Performance Concrete), som är flera gånger starkare och tåligare och dessutom lättare än konventionell betong.

– Man kan göra konstruktioner som är mycket tunna och lätta och det går att förfabricera byggelement och

sedan transportera dem på lastbil till bygget. Det skulle inte gå med vanlig betong, framhöll Andrzej Cwirzen, LTU från Lunds tekniska högskola.

NACKDELEN ÄR att superbetongen kostar två till fyra gånger så mycket som den konventionella.

– Men det går åt mindre och prestanda är väsentligt mycket bättre. Jag tror att den skulle kunna vara lämpligt att använda även som reparationsmaterial inom vattenkraften.

ETT ANNAT MYCKET LOVANDE byggnadsmaterial är betong i kombination med det extremt starka och lätta materialet grafen. Forskare vid Chalmers har testat dess möjligheter att förstärka betongkonstruktioner. De har lyckats modifiera grafen så att det binder till kiseloxyd och kalciumoxyd som finns i betong.

Hittills är resultaten lovande. Hållfastheten hos betongen har i vissa fall ökat med 40–50 procent. Om detta berättade Chalmersprofessorn Johan Liu.

– Vi har påvisat potentiella möjligheter att förbättra hållfastheten genom att skraddarsy grafens egenskaper så att de passar för tillämpningen, sade han bland annat.

Försöken har dock gjorts i liten skala, ännu så länge måste resultaten betraktas som preliminära. Nu väntar långtidsstudier och forskning för att förstå förstärkningsprocessen på molekylnivå. Om hållfastheten kan öka med 50 procent i betong även i verkliga byggprojekt skulle det innebära stora vinster, både för miljön och för ekonomin i bygget.

ETT ANNAT MATERIAL med mycket goda egenskaper i betongsammanhang är polyurea. Det är ett plastmaterial som ofta används för att skapa mycket slitstarka, varaktiga och täta skikt över betong, till exempel i parkeringshus och på broar.

Polyurea är sprutapplicerat och härdar på sekunder, det kan användas för att skydda de flesta underlag. Det fungerar både som tät- och slitskikt och är genom sin höga elasticitet spricköverbyggande även i



Andrzej Cwirzen, LTU.

Om hållfastheten kan öka med 50 procent i betong även i verkliga byggprojekt skulle det innebära stora vinster, både för miljön och för ekonomin i bygget.

mycket låga temperaturer, ända ner till minus 40 grader, upplyste Elisabet Norderup Michelson från det egna norska företaget Elmico

– Det skulle vara intressant att belägga en dammsida med polyurea, om det gick att torrlägga dammen först, sade hon avslutningsvis.

UNDER SEMINARIEDAGEN redogjordes för andra reparationsmetoder och material, som av utrymmesskäl inte redovisas i denna text. Men det går bra att ladda ner dokumentationen från Betongdagen på www.energiforsk.se

Granskning av numeriska analyser

Mekaniska spänningar/töjningar och olika transportprocesser är fenomen som påverkar hållfastheten och livslängden hos vattenkraftens betongkonstruktioner. Samspelet mellan dessa processer och krafter är komplicerat liksom de datorberäkningar som används för att analysera dem. Nu finns en vägledningsrapport som ska underlätta analysarbetet och dess granskning.

TEXT Lars Magnell

Vattenkraftverk ligger vanligtvis helt oskyddade inför vädrets makter och utsätts utöver mekaniska belastningar från vatten och is, för temperaturväxlingar i luft, vatten och undergrund liksom för flöden av fukt/vatten. På sikt kan dessa processer bryta ner anläggningarna. Säsongsmissiga temperaturvariationer kan till exempel orsaka stora spänningsvariationer och öka sprickriskerna. Erosion, urlakning, frostangrepp och temperaturspänningar utgör de vanligaste nedbrytningsmekanismer som vattenkraftsanläggningar utsätts för.

BERÄKNINGAR FÖR VATTENKRAFTSKONSTRUKTIONER

syftar i allmänhet till att kontrollera, eller dimensionera, konstruktionens bärförmåga, stabilitet och beständighet. Det kan röra sig om analyser av de mekaniska spänningar/töjningar eller transportprocesser som värme, vatten, fukt eller joner som nämns ovan.

Beräkningarna är i allmänhet nödvändiga vid utformningen av en konstruktion och vid skadeutredningar där det inte är självklart varför skadan uppstått eller vilka verkningar den haft på konstruktionen, till exempel vid sprickbildning i en dammdel. Syftet med den nu aktuella rapporten* är att den ska tjäna som vägledning för den som beställer och den som granskar avancerade datorbaserade beräkningar.

Datorberäkningar ger genom metoder som finita elementmetoden och finita differensmetoden möjlighet att bestämma en åtminstone approximativ numerisk lösning av differentialekvationer som beskriver de komplexa belastningsfallen

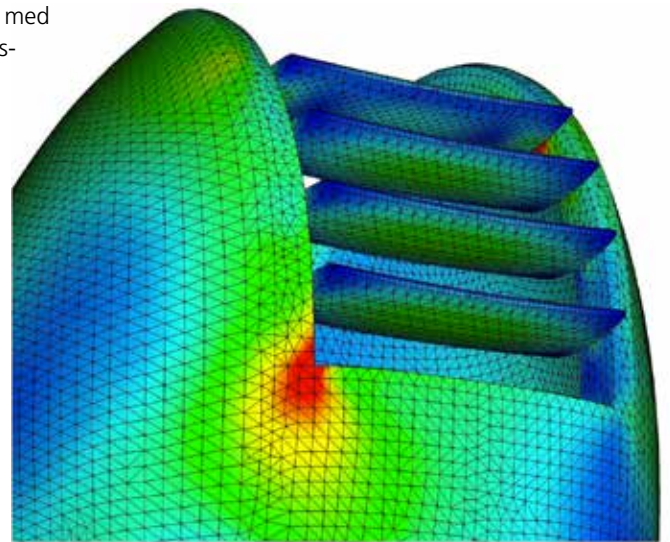
utan eller i kombination med olika nedbrytningsprocesser. Detta även i de fall ekvationen är mycket komplex och omöjlig att hantera analytiskt eller genom handberäkningsmetoder. I rapporten redogörs för några modelltyper och beräkningsverktyg för såväl spännings- som masstransportberäkningar.

I RAPPORTEN KONSTATERAS ATT GRANSKNING AV

avancerade datorbaserade beräkningar är en

komplicerad process. För att uppnå god kvalitet inte bara i beräkningsresultaten utan även i granskningen av beräkningsresultaten krävs att granskningsprocessen planeras. Det är också viktigt att denna är överenskommen mellan parterna, det vill säga beställaren, beräkningsingenjören och granskaren. Vidare måste granskningsprocessen planeras tidigt i projektet och innan beräkningsarbetet påbörjas. För att granskningen ska vara så effektiv som möjligt rekommenderas att den person som ska agera granskare utses redan innan beräkningsarbetet påbörjas. I ett tidigt skede bör beräkningsingenjören och granskaren vara överens om följande två viktiga dokument som upprättas i olika skeden:

- Analysförutsättningar som skall upprättas innan själva analyserna genomförs



Numeriska analyser med finita elementmetoden eller finita differensmetoden är approximationer.

- Analysrapport som skall upprättas efter att analyserna genomförts och där resultat och slutsatser redovisas

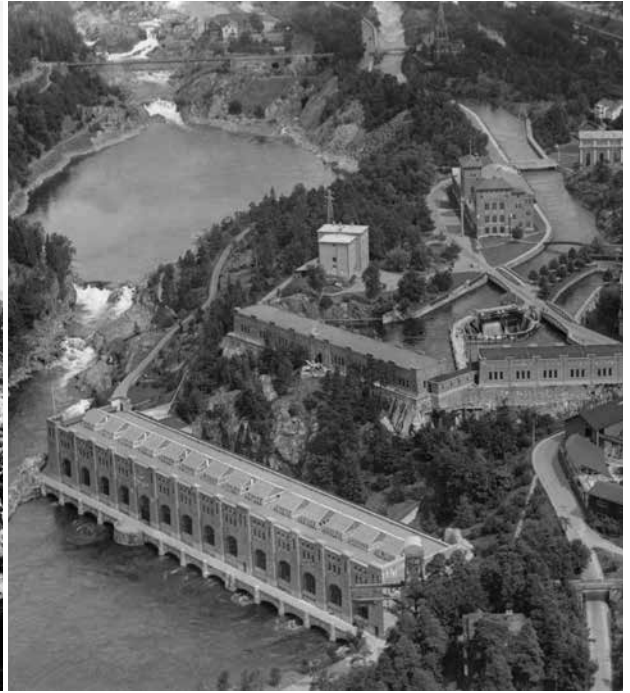
I RAPPORTEN REDOGÖRS

i detalj för vilka krav som ställs på dokumentationen av den numeriska analysen. Här finns också några viktiga synpunkter kring granskningen som kan användas som checklista för den som sammanställer rapporterna. Numeriska analyser med finita elementmetoden eller finita differensmetoden är approximationer av ett verkligt beteende. Resultaten kan påverkas av den geometriska modellen och den elementindelning som väljs för att modellera en strukturs beteende. Rapporten ger råd för hur olika modeller skall verifieras med avseende på de olika numeriska effekter som kan påverka utgången av en beräkning.

* Vägledning för granskning av avancerade datorberäkning avseende mekanik och transportprocesser i betongkonstruktioner för vattenkraft.



Porjus är Vattenfalls första stora kraftstation i Stora Lule älv i Jokkmokks kommun. Första kraftstationen byggdes 1910–1915.



Olidan i Trollhättan var svenska statens första vattenkraftprojekt. Kraftverksbygget inleddes år 1907 på uppdrag av Kungliga Vattenfallsstyrelsen som senare blev Vattenfall.

Så byggdes vattenkraftverken förr

Vad för slags betong användes i vattenkraftens barndom och hur resonerade man kring betongen som byggnadsmaterial? När vattenkraften först byggdes ut var betong ett relativt nytt och obeprövat material. I en kommande Energiforskrappport redogör Martin Rosenqvist för betongens utveckling och betydelse för svensk vattenkraftbyggnad.

TEXT: Lars Magnell

Tanken är att den ska kunna användas som stöd för underhåll och reparationer när osäkerhet råder om hur den aktuella konstruktionen har uppförts. Detta gäller speciellt för kraftstationer där ritningsunderlag och annan dokumentation gått förlorad med tiden, exempelvis vid tillfällen av förhastade arkivrensningar i besparingssyften.

DET ÄR ETT GEDIGET DETEKTIV-ARBETE som Martin Rosenqvist genomfört för att hitta den i många fall svåråtkomliga informationen om kraftverkan.

– Den generella svårigheten har inte varit att hitta skrifter som beskriver var och när en kraftstation har uppförts,

utan att hitta sådana skrifter som beskriver hur, och framför allt varför, byggnadsarbetena på en kraftstation har utförts på ett visst sätt. Ofta utgör redovisningarna av betongarbetena endast ett kapitel eller textstycke i en skrift, vilken har en titel som inte direkt ger någon ledtråd om dess innehåll, berättar Martin.

Däremot finns generellt god tillgång på relevanta och informativa skrifter kring den tidigaste kraftverksutbyggnaderna på 1910- och 1920-talen, då betong som byggnadsmaterial var relativt nytt.

MEN MED TIDEN när betongen inte längre betraktades som en nymodighet kom det också att avspelas i att arbeten med nya stationer bara redovisades i över-

Ofta utgör redovisningarna av betongarbetena endast ett kapitel eller textstycke i en skrift.


gripande drag. De tillfällen som betongarbetena ändå beskrevs med detaljrikedom, skedde i samband med uppkomna svårigheter.

RAPPORTEN, *Redogörelse för betongens utveckling samt betydelse för svensk vattenkraftsbyggnad*, väntas vara färdigställd våren 2017.

Samverkande faktorer bakom betongskador

Länge har man utgått från att skador på betongen längs vattenlinjen i vattenkraftverk främst beror på nötning. Men Martin Rosenqvists forskning visar att nötning bara utgör en orsak till skadorna. Istället beror skadorna på samverkan mellan flera faktorer.

TEXT & BILD: Lars Magnell



Martin Rosenqvist redogjorde för sitt doktorandprojekt på Betongdagarna i våras.

Successiv nedbrytning av betongens yta längs vattenlinjen sker på de flesta vattenbyggnader. Skadorna liknar dem som uppstår på betong i miljöer där tölsalter används, som i till exempel parkeringshus: Betongens ytskikt är avskalat så att grövre ballastkorn frilagts, i förlängingen kan även armeringen läggas i öppen dager. Skadeorsaken har länge misstänkts bero på enbart nötning men Martin Rosenqvist visar i sin nyligen avlagda doktorsavhandling att flera faktorer är styrande och att det snarare handlar om samverkan mellan flera nedbrytningsmekanismer.

– Nötning utgör bara en orsak till skadorna och nötning i sig kan inte heller ha orsakat alla skador som observerats längs vattenlinjen på vattenkraftverk. Två andra faktorer, urlakning och frysning har större betydelse för nedbrytningsförloppet, men det är när dessa faktorerna samverkar som skadeförloppet tar fart på allvar, förklarar Martin Rosenqvist.

Urlakning i sig beror på långvarig kontakt med mjukt vatten och den leder i sin tur till att ytans beständighet gentemot frysning och nötning försämras. Även betong som anses vara frostbe-

Nötning utgör bara en orsak till skadorna och nötning i sig kan inte heller ha orsakat alla skador som observerats längs vattenlinjen på vattenkraftverk.

ständig uppvisar frostsador om ytan urlakas innan frostangreppet inträffar.

Att olika nedbrytningsmekanismer kan förstärka varandras effekter har bekräftats experimentellt.

– Mina laboratorieförsök visar att nedbrytningen av betongytan längs vattenlinjen inleds med att den utsätts för urlakning under snösmältningssperioden. Betongen blir därmed känslig för frys påverkan och skadas därför under den följande vintern. På våren nöts det skadade skiktet bort av is och under nästa snösmältningssperiod börjar processen om på nytt. Det är således urlakning som öppnar för de andra angreppen, det vill säga frysning och nötning, konstaterar, Martin Rosenqvist.

I SIN AVHANDLING redogör Martin Rosenqvist även för en typ av inre skador som kan uppträda långt under vattenlinjen i tunna dammar, som lamell- och valvdamm. Vid inspektion av skadorna har dykare i vissa fall kunnat dra loss stora sjok av betong.

– Det är när dammarna har utsatts för långa perioder av ensidig frysning under vintern, som skadorna uppstår, men bara om betongens kvalitet är dålig eller om det finns defekter från byggtiden. I fullt frisk och högkvalitativ betong är risken liten för den här typen av skador, som liknar de tjälskador som kan inträffa på vägar vintertid.

VAD KAN DESSA UPPTÄCKTER FÅ FÖR BETYDELSE?

– Kunskap och förståelse kring hur betong bryts ned i vattenbyggnader i sötvatten kan användas för att minska risken för att konstruktionernas livslängd förkortas på grund av skador. Även vid reparationsinsatser kan denna kunskap och förståelse för hur nedbrytningsmekanismerna verkar vara behjälplig vid till exempel val av material, säger Martin Rosenqvist, som framhåller att det också behövs mer forskning på området.

Martin Rosenqvists doktorandprojekt har finansierats med stöd från Energiforsk, SBUF, Svenskt Vattenkraftcentrum och Vattenfall. Den 10/10 disputerande han med avhandlingen Frost-induced deterioration of concrete in hydraulic structures: *Interactions between water absorption, leaching and frost action*, Rapport TVBM-1036, Lunds universitet, Lund.

BETONGTEKNISKT PROGRAM VATTENKRAFT

genomförs som ett treårigt ramprogram. En styrgrupp prioriterar och beslutar om genomförande av projekt inom programmets inriktning och ekonomiska ram samt stödjer verksamheten i genomförandet.

KONTAKT:

Monika Adsten
Energiforsk AB, programansvarig Vattenkraft
101 53 Stockholm
Telefon: 08-677 27 55
monika.adsten@energiforsk.se



Energiforsk AB, 101 53 Stockholm
Besöksadress: Olof Palmes gata 31
Telefon: 08-677 25 30
www.energiforsk.se