

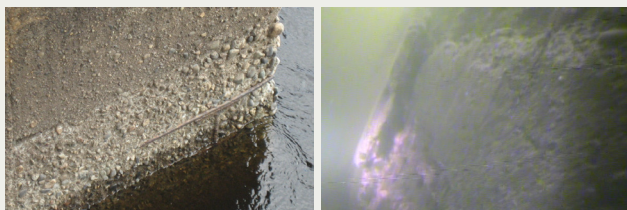
Frostnedbrytning av vattenbyggnadsbetong

Två typer av misstänkta frostsador har observerats på ett större antal betongkonstruktioner i svenska vattenkraftanläggningar. Förekomsten av dessa skador har väckt frågor om betongens frostbeständighet i vattenkraftmiljön. Till viss del kan vattenkraftmiljön även jämföras med den miljö som råder för hamn-, kanal- och brokonstruktioner i kontakt med sötvatten. De misstänkta frostsadorna på betong i vattenbyggnader har undersökts experimentellt genom laborieförsök i doktorandprojektet "Fuktupptagning och Frostbeständighet hos Vattenbyggnadsbetong".

Bakgrund

Det svenska klimatet ställer höga krav på betongens frostbeständighet i konstruktioner som står i ständig kontakt med vatten. Vinterhalvåret medför både långa perioder av sträng kyla, samt perioder med många nollpunktspassager. För vattenkraftkonstruktioner identifierades två typer av skador som misstänktes bero på frostnedbrytning. Den första typen av skada karaktäriseras av successiv nedbrytning av betongens ytskikt längs vattenlinjen. I ett kortsiktigt perspektiv friläggs de grövre ballastkornen, medan i ett längre perspektiv friläggs även armeringsjärnen. Den andra typen av skada karaktäriseras av spjälkning av betongsjok långt under vattenlinjen på tunna betongdammar. Storleken på dessa betongsjok har i några fall uppgått till flera kvadratmeter. Vid långt gången nedbrytning uppkommer en risk för genomgående hål i dammen. Exempel på de två typerna av misstänkta frostsador kan ses i Figur 1.

Figur 1



Figur 1. Ballast och ingjutet stål gods har frilagts vid vattenlinjen på nedströmssidan av ett vattenkraftverk (vänster bild). Löst hängande betongsjok på uppströmssidan av en tunn valvdamm i betong (höger bild).

Syfte

Ett mycket stort ekonomiskt värde är bundet i vattenbyggnader i form av kraftverk, dammar, hamnar, kanaler och vissa brokonstruktioner. I takt med att konstruktionerna åldras ökar behovet av underhålls- och reparationsinsatser. Det övergripande syftet med doktorandprojektet 'Fuktupptagning och Frostbeständighet hos Vattenbyggnadsbetong' är att undersöka var och hur frostsador uppstår till följd av höga fuktnivåer i samtidig kombination med frysning. Genom att förstå förutsättningarna för hur frostsador uppstår kan åtgärder vidtas för att förhindra fortsatt nedbrytning eller för att reparera skador med material med god beständighet mot de aktiva nedbrytningsprocesserna. Fram till licentiatexamen har de två nämnda typerna av misstänkta frostsador undersökts experimentellt med syftet att förbättra förståelsen för nedbrytningsprocesserna.

Genomförande

Med stöd från SBUF, Elforsk, Svenskt Vattenkraftcentrum och Vattenfall AB har forskningsarbetet utförts vid Vattenfalls forskningsanläggning i Älvkarleby, samt vid Avdelningen för Byggnadsmaterial på LTH. Under projektets uppstart besöktes vattenkraftverk från Lagan i söder till Lule älv i norr. Syftet med besöken var att erhålla god uppfattning om skadornas utbredning och omfattning i förhållande till exponeringsmiljön och kraftverkens ålder. Klimat, orientering i väderstreck, kontakt med strömmande eller stillastående vatten, vattnets strömningshastighet, samt vattenmagasinets regleringshöjd är alla parametrar som påverkar exponeringsmiljön för konstruktioner i vattenkraftanläggningar. Utifrån gjorda iakttagelser utformades provningsmetoder för att, i så stor utsträckning som möjligt, återskapa verkliga förhållanden i laborieförsöken.

Resultat – skador i vattenlinjen

Eftersom skador längs vattenlinjen återfinns både på ned- och uppströmssidan hos vattenkraftverk har nötning av is och drivgods avfärdats som dominerande skademekanism. På uppströmssidan kan is och drivgods trycka och skava mot konstruktionerna, medan de på nedströmssidan förs bort av vattenströmmen. Likväl återfinns skador av samma omfattning längs vattenlinjen på nedströmssidan. Inledande försök fokuserade på att frostnedbrytning var den dominerande skademekanismen. Till frysprovningförsöken tillverkades provkroppar av två betongkvaliteter – vct 0,62 och vct 0,54. Den sämre betongkvaliteten representerade vattenkraftutbyggnaden mellan 1930 och 1950. Betongen saknade luftinblandning. Den bättre betongkvaliteten hade luftinblandning och representerade spannet mellan 1950 och 1970.

Efter 112 fryscyklar i en speciellt anpassad frysprovningmetod hade endast provkroppar med vct 0,62 fått avskalningar längs vattenlinjen. Avskalningarna var blygsamma i förhållande till de skador som föranlett reparationer på kraftverk från aktuellt tidsspänn. Avsaknaden av skador på provkroppar med vct 0,54 stämde inte heller överens med iakttagelser av skador längs vattenlinjen på kraftverk uppförda efter 1950. Slutsatsen blev att befintliga skador längs vattenlinjen har uppstått till följd av samverkan mellan ett flertal skademekanismer.

Vid förnyad analys av exponeringsmiljön för vattenbyggnader identifierades även vattendragens kemi som en viktig parameter att ta hänsyn till. Bortsett från vattendrag i närheten av kalkrika berggrunder är vattnet i de svenska vattendragen relativt mineralfattigt. Vattnet har således god förmåga att lösa och laka ut cementets beståndsdelar. I nya försök urlakades provkroppar, tillverkade av samma betongkvaliteter som tidigare, i avjoniserat vatten titrerat till pH 7 och pH 4. Salpetersyra (HNO_3) användes för att balansera pH-värdet. De urlakade provkropparna utsattes för frysprovning enligt Boråsmetoden (SS 13 17 44). Genom detta förfarande fick även provkroppar med vct 0,54 avskalningar. Mängden avskalningar ökade med ökande urlakningstid och var större efter urlakning i vatten med pH 4 än i vatten med pH 7.

Var för sig orsakade urlakning, frostnedbrytning och nötning inga eller endast små avskalningar, men genom samverkan mellan de tre skademekanismerna ökade avskalningarna markant, se Figur 2. Att urlakning har betydande inverkan på betongytans frostbeständighet visades för provkroppar med vct 0,54 genom att åtta veckors urlakning vid pH 4 med efterföljande sju fryscyklar genererade lika mycket avskalningar ($0,04 \text{ kg/m}^2$) som frysprovning i 3 % saltlösning efter 56 fryscyklar. Erhållna resultat visar att den successiva nedbrytningen av betong längs vattenlinjen beror på samverkan mellan urlakning, frostnedbrytning och nötning.

Figur 2



Figur 2. Betongytan efter fyra repetitioner av urlakning, frysprovning och nötning (vänster bild). Spräckta provkropp till följd av makroskopisk islinnsbildning (höger bild). Islinnen är jämnt tjock över tvärsnittet.

Resultat – islinnsbildning

Spjälkning av betong har i ett flertal fall påträffats långt under vattenlinjen på uppströmssidan hos tunna betongdammar. Vid inspektioner har dykare kunnat dra loss betongsjok med händerna, se Figur 1. Misstankar har funnits om att denna typ av skador orsakats av makroskopisk islinnsbildning till följd av genomfrysning av dammarna. Makroskopisk islinnsbildning påminner om tjälskjutning i mark där tillväxt av islinser i jorden kan orsaka bulor på vägar vintertid. Dålig betongkvalitet och effekter av åldring i kombination med genomfrysning misstänks ha möjliggjort spjälkningen av betongsjok.

Tre typer av provkroppar med vct mellan 0,5 och 1,4 tillverkades: (1) provkroppar med oskadad betong, (2) provkroppar med inre frostsador, samt (3) provkroppar med ingjutna pappersskikt för att skapa inre försvagningar i betongen. Provkropparna utsattes för frysning från ovsidan, medan undersidan stod i kontakt med ofruset vatten. Övriga sidor isolerades. Av provkropparna enligt typ (1) var det endast de med vct 0,9 eller högre som spräcktes till följd av makroskopisk islinnsbildning. För provkroppar enligt typ (2) och (3) spräcktes samtliga betongkvaliteter till följd av makroskopisk islinnsbildning, se Figur 2. Lägre vct innebar dock att det krävdes allt längre perioder av frysning för att spjälkning skulle inträffa.

Slutsatser

Försöken med skador längs vattenlinjen på vattenkraftverk visade att urlakning i mineralfattigt vatten öppnar upp betongens yta för frostnedbrytning. Isflak och drivgods kan därefter nöta bort det skadade ytskiktet och frilägga en ny yta. Således börjar nedbrytningsprocessen om varje år med följden att täcksiktets tjocklek minskar med tiden. Försöken med makroskopisk islinnsbildning visade att betong med vct 0,8 eller lägre inte kan drabbas av spjälkning till följd av frysning såvida inte (1) betongen har vattenmättats med tiden och blivit frostsad till följd av genomfrysning eller (2) betongen har inre hålrum och defekter på grund av ofullständig kompaktering under byggskedet.

Vid nybyggnation eller reparation av betongkonstruktioner i kontakt med sötvatten bör hänsyn tas till vilka skademekanismer som finns och hur dessa kan tänkas samverka. Sammanfattningsvis kan val av lämpligt material i kombination med ett noggrant utförande öka möjligheten att uppnå ställda krav på god beständighet hos betong i vattenbyggnader.

Ytterligare information

Kontaktpersoner:

Martin Rosenqvist, Vattenfall AB, tel 026-836 16,
e-post: martin.rosenqvist@vattenfall.com.

Litteratur:

- Moisture Conditions and Frost Resistance of Concrete in Hydraulic Structures. Martin Rosenqvist, Report TVBM-3173, Avd. för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola.
Kan laddas ned från www.byggnadsmaterial.lth.se/publikationer