

Frostnedbrytning av vattenbyggnadsbetong

Två typer av misstänkta frostsador har noterats på ett större antal betongkonstruktioner vid svenska vattenkraftsanläggningar. Förekomsten av dessa skador har väckt frågor om vilken frostbeständighet betong har i vattenkraftsmiljön. Till viss del kan vattenkraftsmiljön jämföras med den miljö som råder för hamn-, kanal-, sluss- och brokonstruktioner i kontakt med sötvatten. I arbetet med avhandlingen 'Frost-induced deterioration of concrete in hydraulic structures – Interactions between water absorption, leaching and frost action' har samverkan mellan olika förekommande nedbrytningsmekanismer undersökts experimentellt genom fält- och laboratoriestudier.

Bakgrund

Det svenska klimatet ställer höga krav på betongens frostbeständighet i konstruktioner i ständig kontakt med vatten. Detta gäller speciellt för betongkonstruktioner vid vattenkraftverk. I de södra delarna av landet utsätts dessa konstruktioner årligen för ett större antal fryscyklar och korta perioder av sträng kyla. I de norra delarna av landet är förhållandet omvänt, vilket innebär långa perioder av sträng kyla och ett mindre antal fryscyklar. Med tiden har två typer av skador, vilka misstänks bero på frostnedbrytning, uppkommit på betongkonstruktioner vid vattenkraftverk. Den första typen av skada karaktäriseras av nedbrytning av betongens ytskikt längs vattenlinjen. I det korta perspektivet friläggs grövre ballastkorn medan armeringen friläggs i det längre perspektivet. Den andra typen av skada karakteriseras 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.

Syfte

Ett betydande ekonomiskt värde är bundet i vattenbyggnader i form av kraftverk, dammar, hamnar, kanaler, slussar och vissa brokonstruktioner. I takt med att konstruktionerna åldras ökar behovet av att underhålla och reparera dem. Syftet med det genomförda avhandlingsarbetet var att experimentellt undersöka hur frostsador uppstår till följd av den exponeringsmiljö som råder vid nämnda vattenbyggnader. Genom att förstå förutsättningarna för hur frostsador uppstår kan åtgärder vidtas för att reparera dessa skador med material med bättre beständighet mot de aktiva nedbrytningsprocesserna.

Genomförande

Avhandlingsarbetet har utförts vid Vattenfalls forskningsanläggning i Älvkarleby, och vid Avdelningen för Byggnadsmaterial på LTH. Energiforsk, Svenskt VattenkraftCentrum, SBUF, Skanska och Vattenfall har finansierat arbetet. För att erhålla god uppfattning om skadornas omfattning i förhållande till exponeringsmiljö och konstruktionens ålder besöktes vattenkraftverk från Lagan i söder till Lule älv i norr. Klimat, väderstreck, vattnets strömningshastighet och vattenmagasinets regleringshöjd är några av de parametrar som påverkar exponeringsmiljön för betongkonstruktioner i vattenkraftsanläggningar. Utifrån gjorda iakttagelser utformades provningsmetoder för att, i så stor utsträckning som möjligt, återskapa de verkliga förhållandena i laboratorieförsöken.

Resultat – skador i vattenlinjen

Eftersom skador längs vattenlinjen återfinns både på upp- och nedströmssidan vid vattenkraftverk kunde nötning av is och drivgods avfärdas som den dominerande skademekanismen. På uppströmssidan skaver is och drivgods mot konstruktionerna, medan de på nedströmssidan förs bort av vattenströmmen. Likväl återfinns skador av samma omfattning på nedströmssidan som på uppströmssidan. Inledningsvis låg fokus på att det var frostnedbrytning som orsakade skadorna. Till frysprovningförsöken tillverkades provkroppar av två betongkvaliteter – vct 0,62 och vct 0,54. Den sämre betongkvaliteten representerade vattenkraftsutbyggnaden mellan 1930 och 1950. Betongen saknade luftinblandning. Den bättre betongkvaliteten hade luftinblandning och representerade tidsperioden mellan 1950 och 1970.

Efter 112 fryscyklar i en speciellt anpassad frysprovningsskåp hade endast provkroppar med vct 0,62 fått avskalningar längs vattenlinjen. Avskalningarna var blygsamma i förhållande till de ska-



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).



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

dor som föranlett reparationer på kraftverk från aktuell tidsperiod. Avsaknaden av skador på provkroppar med vct 0,54 stämde inte heller överens med iakttagelser av skador på kraftverk uppförda efter 1950. Slutsatsen blev att skador längs vattenlinjen uppstår till följd av samverkan mellan ett flertal skademekanismer.

Efter förnyad analys av exponeringsmiljön vid vattenbyggnader identifierades även vattendragets 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 i avjoniserat vatten titrerat till pH 4 respektive 7. De urlakade provkropparna utsattes sedan för frysprovning enligt Boråsmetoden (SS 13 17 44). Genom detta förfarande fick även provkroppar med vct 0,54 avskalningar. Mängden avskalningar växte med ökande urlakningstid och var större efter urlakning i vatten med pH 4 än i vatten med pH 7. Provkropparna utsattes även för nötning genom att skrubbas med stålborste.

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*. Vid analys av borrkärnor från betongdammen vid Ramsele kraftverk kunde det bekräftas att betongens ytskikt urlakas i kontakt med älvvatten. Det urlakade ytskiktet får därefter betydligt sämre frostbeständighet. De erhållna resultaten från laboratorie- och fältstudierna visade att successiv nedbrytning av betongens yta längs vattenlinjen uppkommer till följd av samverkan mellan urlakning, frostnedbrytning och nötning.

Resultat – islinnsbildning

Spjälkning av betong har i ett flertal fall påträffats långt under vattenlinjen på uppströmssidan på 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 tjälskjut-

ning 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 frisk betong, (2) provkroppar med inre frostsador, och (3) provkroppar med ingjutna pappersskikt för att återskapa inre defekter i betongen.

Provkropparna utsattes för frysning från ovansidan, medan undersidan stod i kontakt med ofrusat 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 frostsadade 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 följande villkor är uppfyllda: (1) betongen har vattenmättats med tiden och blivit frostsadad till följd av genomfrysning eller (2) betongen har inre hålrum och defekter på grund av ofullständig kompaktering under byggskedet.

Vid nybyggnad eller reparation av betongkonstruktioner i kontakt med sötvatten bör hänsyn tas till förekommande skademekanismer och hur dessa kan tänkas samverka. Sammanfattningsvis kan val av lämpligt material i kombination med noggrant utförande öka möjligheten att nå ställda krav på god beständighet för betong i vattenbyggnader.

Ytterligare information

Kontaktpersoner:

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

Litteratur:

- *Frost-induced deterioration of concrete in hydraulic structures – Interactions between water absorption, leaching and frost action*. Martin Rosenqvist, Report TVBM-1036, Avd. för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola. Kan laddas ned från www.byggnadsmaterial.lth.se/publikationer
- Sammanfattning av SBUF Projekt 12948 kan hämtas från www.sbuf.se – projekt 12948.