

Betongreparation

Projekt Bygginnovationen, som inleddes år 2009, är ett flerårigt forsknings- och utvecklingsprogram som är inriktat mot att åstadkomma förbättrad effektivitet inom byggnäringen. Projektet samfinansieras av Vinnova och svensk byggnäring. Ett stort antal företag och organisationer deltar. Projektet samverkar med programmet Sveriges Byggnäring. Ett viktigt mål är att skapa goda samarbetsformer mellan byggnäringen och den akademiska forskningen. Projektet beskrivs på hemsidan, www.bygginnovationen.se.

Arbetet inleddes med att teknikutvecklingen sedan 1970-talet inom några viktiga områden analyserades. Ett av dessa områden avser reparation av betongkonstruktioner. Analysen genomfördes av en arbetsgrupp bestående av sju personer som alla hade erfarenhet av betongreparation, som entreprenör, som konsult eller som forskare. Arbetet redovisas i en rapport Bygginnovationen (2010). Föreliggande artikel är en kort sammanfattning av denna rapport.

Betongskador

Skador i betongkonstruktioner orsakas främst av:

1. bristande beständighet hos konstruktionen mot yttre miljöpåverkan
2. mekanisk överpåverkan (till exempel påkörning eller alltför stor last).

Beständighetskadorna är av tre huvudtyper:

1. yttre synliga skador, till exempel avskalning av betongytan.
2. inre skador på ingjuten armering
3. inre skador på betong, till exempel hållfasthetsförlust orsakad av expansion.



Figur 1: Avskalning av täcksikt hos en balk.

En översikt över olika skadetyper och dess orsaker ges i *tabell 1*.

Ett exempel på ytavskalning orsakad av armeringskorrosion visas i *figur 1*.

I vissa fall uppstår synergieffekter där två eller fler skadeorsaker samverkar på ett negativt sätt. Ett exempel är frostangrepp i närvaro av salt, vilket gradvis minskar täcksiktens tjocklek och därför medför att armeringskorrosion startar tidigare än vad som förutsetts. Flera sådana synergieffekter behandlas i *Fagerlund (2003)*.

Generellt är det enklare att reparera en ytskadad konstruktion, eller en konstruktion med skadad armering, än en konstruktion med inre skador. I det senare fallet är det i många fall rimligare att riva konstruktionen och eventuellt återuppbygga den.

Skador förekommer främst i äldre konstruktioner, vilket beror på att man tidigare hade en övertro på betongens beständighet, och därför valde för låg kvalitet på betongmassa, arbetsutförande

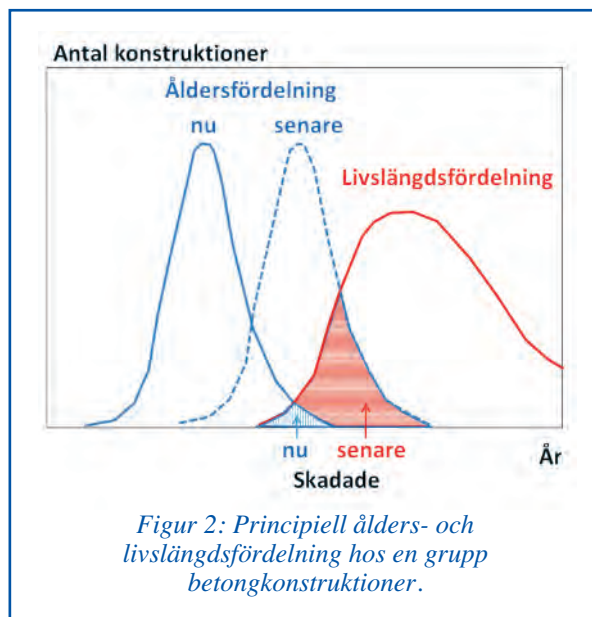
Artikelförfattare är
Göran Fagerlund,
Lunds tekniska
högskola, Lund.



och konstruktion. Konstruktioner som byggs i dag är oftast betydligt robustare

Åldersfördelning och livslängdsfördelning

Varje konstruktion har en viss förutbestämmd livslängd när den byggs. Vilken livslängd den kommer att få beror på miljö och kvalitet hos material, konstruktion och utförande. Vid en viss tidpunkt, till exempel 1970, hade populationen av alla konstruktioner av viss typ, till exempel broar, en viss åldersfördelning, men därför också en viss livslängdsfördelning.



Figur 2: Principiell ålders- och livslängdsfördelning hos en grupp betongkonstruktioner.

Tabell 1: Beständighetsrelaterade skador på betongkonstruktioner.

Avskalning av ytan

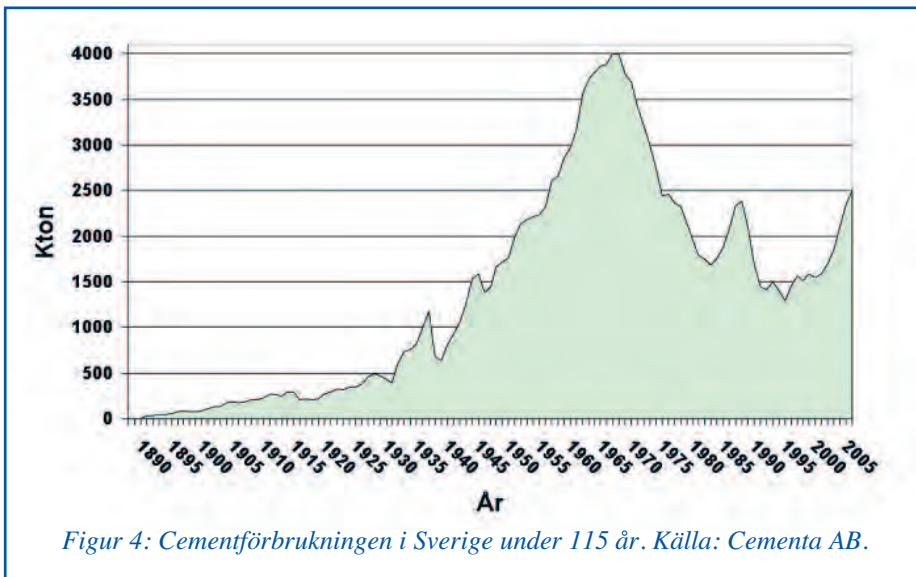
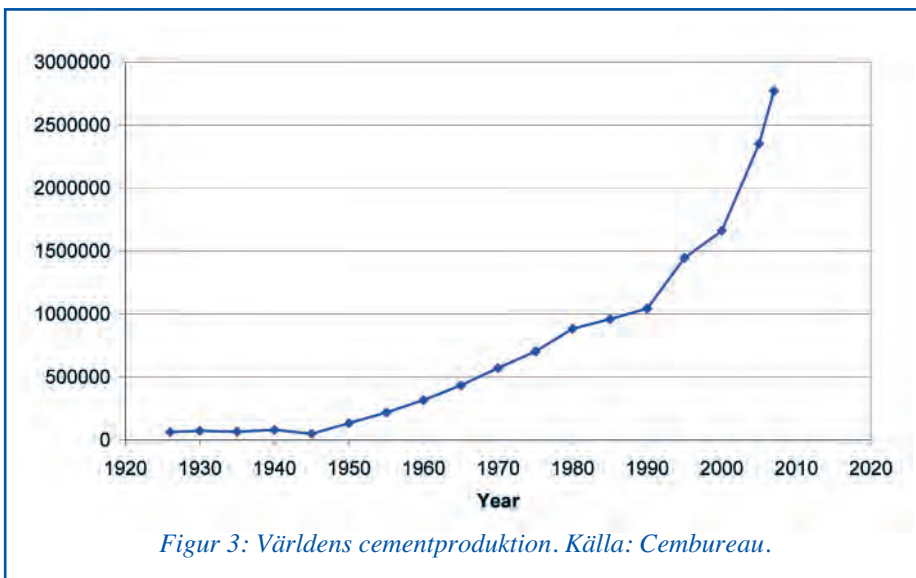
- Frostangrepp i kombination med salt vid ytan
- Täcksiktssprängning orsakad av armeringskorrosion
- Nötning av trafik, vatten, is
- Syraangrepp

Inre skador på armering

- Pågående korrosion av vanlig armering
- Pågående korrosion av spännarmering
- Ofullständig kringgjutning av armering

Inre skador på betong

- Frostsprängning
- Svällande kemisk ballastreaktion
- Sulfatangrepp (saltangrepp)
- Fuktsvällande ballast
- Kalkurlakning
- Försenad ettringitbildning
- Instabil materialstruktur
- Sprickbildning av uttorkning
- Sprickbildning av temperatur



Vid en viss senare tidpunkt har en viss andel av konstruktionerna redan uppnått sin livslängd, det vill säga de är skadade och behöver repareras. Tiden går vilket gör att behovet av reparation ständigt ökar. Principer för sambandet mellan åldersfördelning, livslängdsfördelning och andelen skadade konstruktioner visas i *figur 2*.

Ålder och skador hos svenska konstruktioner

Cementproduktionen är ett gott mått på mängden betongkonstruktioner. Huvuddelen av all cementproduktion har skett efter andra världskriget. Detta framgår av *figur 3* som visar den årliga världsproduktionen av cement. År 1970 var tämligen få konstruktioner mer än 30 år gamla.

Cementförbrukningen i Sverige visas i *figur 4*. Den följer ungefär samma trend som världsproduktionen fram till 1970, då förbrukningen uppgick till cirka fyra miljoner ton per år. Därefter minskade den snabbt i och med att miljonprogrammet avslutats, för att under de senaste tio åren ligga något under två miljoner ton. År 1970 var alltså i stort sett alla betongkonstruktioner yngre än 25 år och hälften

yngre än tio år. Följaktligen borde inga omfattande betongskador ha hunnit utvecklas. Men så var tyvärr inte fallet vilket visas nedan.

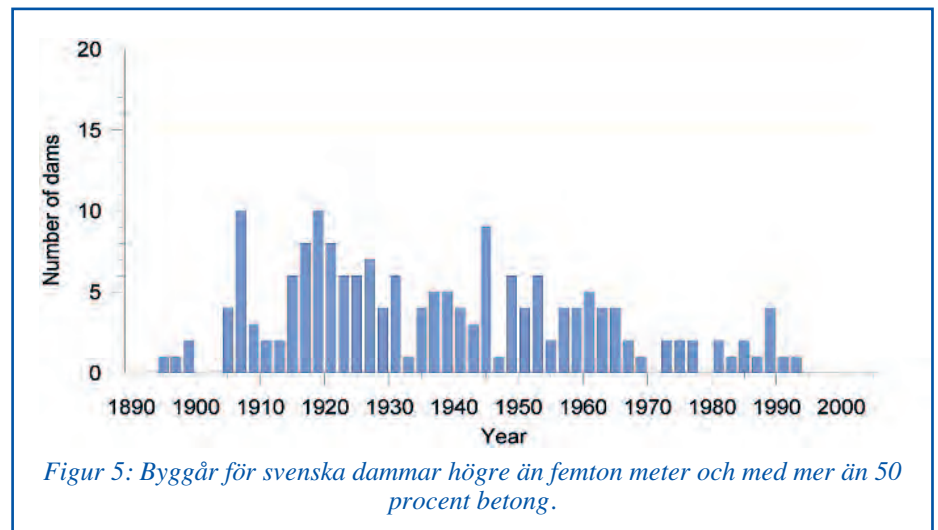
Bostadshus. Fram till cirka 1965 var det få hus som hade exponerade betongfasader. Betongen användes huvudsakligen i innejäklag. Först i och med miljonprogrammet 1965 till 1975 kom betong att användas allmänt även i fasader, balkong-

plattor, parkeringsdäck och andra utomhusexponerade delar.

Det innebär att år 1970 hade bara en mindre andel av våra betonghus utsatts för väder och vind under längre tid. Följaktligen var erfarenheten av betongskador liten. Det tar nämligen normalt rätt lång tid innan beständighetsrelaterade skador hinner uppträda. Men redan cirka 1975 upptäcktes omfattande frostsador och korrosionsskador på betongbalkonger hos tämligen nya hus, det vill säga livslängdsfördelningen för balkonger låg tidsmässigt nära åldersfördelningen, *Johansson (1976)*. Betongfasader var däremot i stort sett helt oskadade vid den tidpunkten trots att de exponerats lika länge som balkongerna.

Broar. År 1970 var bara cirka 25 procent av alla betongbroar äldre än 30 år, 40 procent var äldre än 20 år. År 1970 hade cirka 65 procent av då existerande broar byggts efter andra världskriget. Trots det började betongskador dyka upp redan i början av 1970-talet, framförallt frostsador på kantbalkar. Den främsta orsaken var den ökande användningen av tösalt. Några år senare upptäcktes även att en stor andel av broanaplattorna hade omfattande frostsador under asfaltisoleringen. Flera stora broar drabbades; till exempel Tranebergsbron, och Skurubron i Stockholmsområdet. Båda broarna var tämligen gamla år 1970, 35 respektive 55 år. Ölandsbron är det mest flagranta exemplet på en obeständig konstruktion eftersom allvarliga skador uppstod redan inom 10 år från invigningen. Vid en stor inventering som Vägverket lät göra i början av 1980-talet, då 4500 broar undersöktes, visade sig cirka 30 procent av alla broanaplattor ha skador på asfaltisoleringen och cirka tio procent av alla plattor visade sig vara frostsadade.

Vattenkraftkonstruktioner. Utbyggnaden av elproducerande vattenkraft har pågått under hela 1900-talet. Om man skiljer ut dammanläggningar högre än femton meter, där mer än 80 procent består av betong, så erhålls en åldersfördelning enligt *figur 5*, *Bernstone (2006)*. Flertalet be-



tongdammar byggdes under 1910- och 1920-talen. Medelåldern år 1970 för betongkonstruktioner inom vattenkraften var således cirka 35 år.

Den andra stora utbyggnadsperioden var under 1950- och 1960-talen då många av de stora fyllningsdammarna uppfördes. Även om andelen betong i dammen är begränsad, utgör betongkonstruktioner en ansevärd volym. Själva kraftstationen och dess vattenvägar utgörs också huvudsakligen av betongkonstruktioner.

De största problemen har varit kalkulering av de tidiga konstruktionerna vilket beror på att mager betong med hög porositet och därmed hög vattenpermeabilitet användes.

Principer för val av reparationsåtgärd

Följande moment bör ingå vid val av reparationsåtgärd, se figur 6:

- Skadeorsaken klarläggs.
- Skadeomfattningen klarläggs genom mätningar på konstruktionen.
- Genom statistiska beräkningar av resterande bärförmåga, och genom bedömning av fortsatt nedbrytningsförlopp av görs om omedelbart reparationsbehov föreligger eller om man kan avvakta med reparation och i stället övervaka konstruktionen.
- Om man beslutar att reparera finns ofta ett stort antal reparationsprinciper, metoder och material att välja mellan. Olika metoder ger olika säkerhet mot fortsatt skadeutveckling, det vill säga olika förväntad livslängd. Att välja reparationsmetod är en svår uppgift som kräver stor eftertanke och erfarenhet. Risken är stor att man väljer alltför enkla och billiga lösningar.

● När reparationsmetod väljs bör man överväga om nya problem kan uppkomma vilka beror på reparationen.

Dessa allmänna, rätt logiska, principer tillämpas sällan. Svagheter gäller framförallt att konsekvensen av reparationen för konstruktionens fortsatta funktion och livslängd inte beaktas vid val av reparationsprincip och -material. Till viss del beror detta på att kunskapen om samverkan mellan den gamla reparerade betongen och reparationsmaterialet, och reparationsåtgärden inte varit känd, och till dels fortfarande inte är tillräckligt känd.

Viktiga kunskapskrav

Analys av skadeorsaken förutsätter att man har kunskap om olika nedbrytningsmekanismer, samt att man har tillgång till metoder för analys av skador och skadeomfattning. Genom att man känner nedbrytningsmekanismen kan man även bedöma om en reparation över huvud taget är nödvändig eller om man kan avvakta med reparationen utan att konstruktionen riskerar att haverera. Man måste nämligen kunna bedöma hur skador utvecklas i tiden om ingen reparation genomförs. För en bra analys av skadeorsak och en vettig förutsägelse om fortsatt skadeutveckling före och efter reparation bör det därför finnas möjlighet att göra en realistisk livslängdsanalys.

Huvuddelen av alla skador, såväl 1970 som i dag, avser frostnedbrytning och armeringskorrosion. Båda dessa nedbrytningstyper sammanhänger med konstruktionens fuktillstånd. Därför är kunskap om betongens fukttegenskaper samt kunskaper om det fuktmekaniska samspillet mellan betong och reparationsmaterial fundamentala för en riktig analys av ska-

deorsak och funktion hos den reparerade konstruktionen.

Kunskapsläget

1970-talet. Eftersom konstruktionerna i allmänhet var tämligen unga under 1970-talet, och det tar rätt lång tid innan betongskador uppträder, var kunskapen om reparation och erfarenheter av utförda reparationer begränsad även hos dem som är experter inom betongtekniken. Det fanns få översikter och handböcker om reparation.

Grundläggande kunskap om olika nedbrytningsmekanismer fanns visserligen, men kunskapsluckorna var stora, särskilt när det gäller de viktigaste nedbrytningstyperna *saltfrostnedbrytning och armeringskorrosion*.

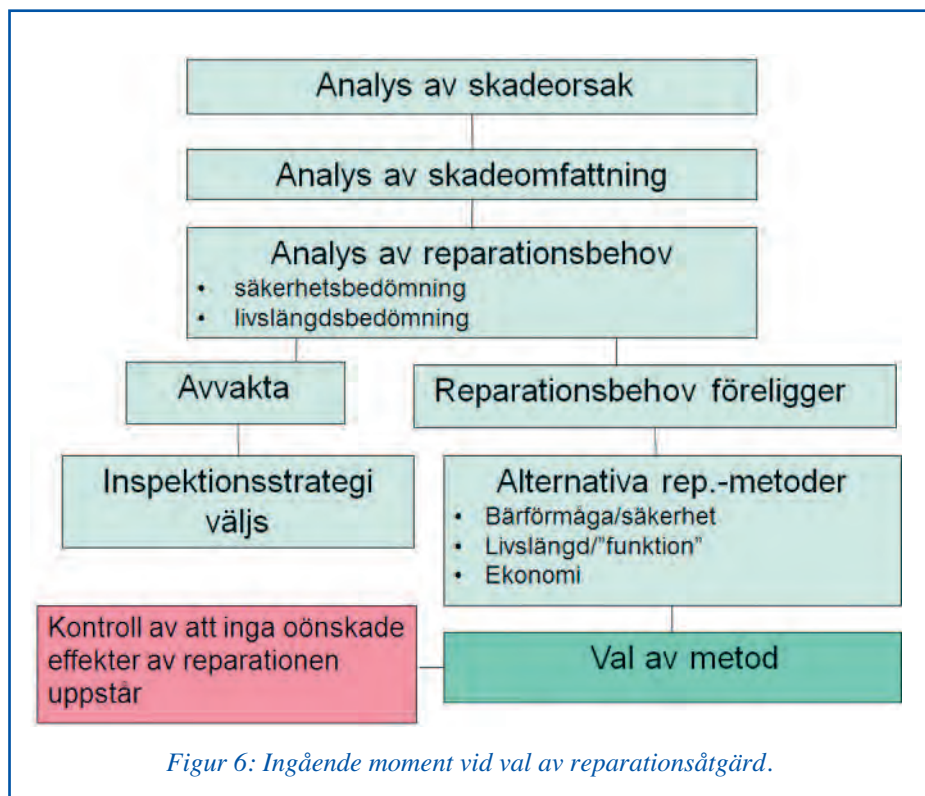
Hur olika reparationsmetoder påverkar fuktillståndet i konstruktionen och därmed livslängden hos den reparerade konstruktionen var i stort sett helt okänt. Konsekvensen blev att man ofta valde täta polymerbeläggningar på skadad betong i tron att man därmed skulle förhindra fortsatt frostangrepp och armeringskorrosion. Följden blev i stället ofta att frostskadorna förvärrades eftersom fukt anrikades under den täta ytan, se till exempel *Fagerlund & Svensson* (1980).

Metoder för enkel tillståndsanalys var tämligen väl utvecklade redan under 1970-talet. De baserades huvudsakligen på förstörande eller icke-förstörande mätning av resterande hållfasthet, sprickdetektering, kemisk analys med mera. Däremot saknades möjlighet att detektera pågående armeringskorrosion. Goda provningsmetoder kopplade till frostangrepp och armeringskorrosion saknades i stort sett helt.

Kunskapsutveckling under senare decennier. När skadefrekvensen ökade kraftigt under 1970- och 1980-talen uppstod en stark drivkraft för beständighetsforskning. Detta har medfört att de konstruktioner som produceras i dag kan förväntas få hög livslängd. Även området reparationsteknik har utvecklats. Omfattande litteratur inom området har publicerats. Som exempel kan nämnas att enligt en litteraturlista utgiven av American Concrete Institute (ACI) har inte mindre än cirka 1 080 artiklar och skrifter om betongreparation publicerats enbart av ACI, huvuddelen efter 1990.

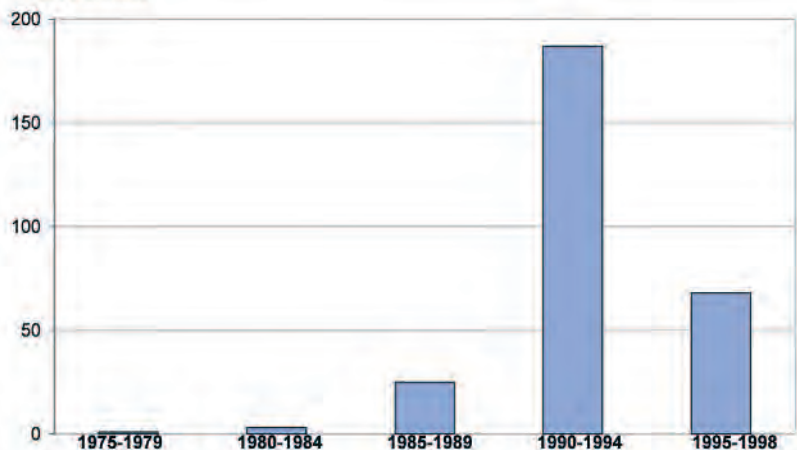
I Sverige insåg man rätt tidigt att det fanns ett behov om information om reparation, till stor del beroende på att så mycket av tidigare reparationsinsatser misslyckats. Därför togs en handbok fram 1987, *Bergström m.fl* (1987). Därvid anlätades ledande experter inom praktisk reparationsteknik. Rekommendationer för materialval och reparationsteknik ges i boken, liksom en översikt över betongbeständighet.

En stor svensk genomgång av litteratur inom reparationsområdet publicerades år 1998, *Westerberg* (1998). Inte mindre än



Figur 6: Ingående moment vid val av reparationsåtgärd.

Antal referenser



Figur 7: Tidsmässig fördelning av arbeten inom betongreparation.

cirka 290 rapporter studerades. De omfattade hela spektret från skadediagnos till reparationsmaterial, reparationsteknik och reparationsstandarder. Det är intressant att se hur olika publikationer som refererades fördelades tidsmässigt; se figur 7. Som synes "exploderade" intresset för reparation i början av 1990-talet. Tiden före 1985 publicerades i stort sett inga rapporter om betongreparation.

Under de senaste decennierna har det även genomförts flera samarbetsprojekt inom betongreparation. Exempel på arbeten i vilka svenska forskare deltog är följande:

EU-projekt, Brite/Euram (1997). Där presenteras beräkningsmetoder för bedömning av den framtida skadeutvecklingen i en skadad konstruktion om ingen reparation görs. Avsikten är ge underlag för bedömning av behovet av reparation av en viss konstruktion, samt att ge underlag till prioritering mellan ett kollektiv av skadade konstruktioner.

EU-projekt, Contecvet (2001). Tillämpning av analysmetoder beskrivna i projektet ovan gjordes på verkliga konstruktioner i Sverige, Spanien och Storbritannien.

EU-projekt, Rehabcon, (2004). Rapporten är en tämligen fullständig manual inom reparationsområdet. Den beskriver reparationsmaterial och reparationsmetoder. Rekommendationer ges för val av reparationsprincip och reparationsmaterial för olika skadetyper. Principer för övervakning av konstruktioner ges liksom metoder för ekonomiska överväganden kopplade till reparation och underhåll.

Nordiskt projekt, Norecon, (2004). Olika reparationsmetoder beskrivs. Stan-

dards inom reparationsområdet presenteras.

En mycket omfattande manual inom reparationsområdet har publicerats i USA genom medverkan av flertalet amerikanska forskningsinstitutioner och organisationer. Concrete Repair Manual (2008).

För närvarande utarbetas i Sverige en *nätbaserad reparationshandbok* av Vattenfall Utveckling i samverkan med Vägverket och CBI. I samband med detta arbete utarbetades en rapport om reparation av ytskadad betong, *Fagerlund* (2008).

I Sverige bildades år 2001, på initiativ av CBI, ett nätverk Rebet för företag och personer som är aktiva inom reparationsområdet.

Trots all denna informationsverksamhet finns det kvarvarande oklarheter om reparation. Dit hör till exempel kunskap om det fuktmekaniska samspelet mellan skadad betong och reparationsmaterial. De livslängdsmodeller som tagits fram för skadad betong och för reparerad betong är fortfarande mycket osäkra och är därför knappast praktiskt tillämpbara.

Reparationsmetoder och -material

För varje *skadetyper, skadeorsak och skada* finns ett antal lämpliga reparationsmetoder. Valet av metod bör baseras på en analys enligt schemat i figur 2. Detta rationella sätt att angripa ett reparationsproblem tillämpas inte alltid. Ofta genomförs inte en ordentlig skade- och livslängdsanalys. I stället överlåter ägaren åt entreprenören att göra skadediagnos och välja reparationsmetod. Dennes val är troligen inte alltid optimalt.

Flertalet reparationer av ytskador görs genom att nytt material appliceras på konstruktionen efter det att denna rensats från defekt material. Det är viktigt att det nya materialet är kompatibelt med den skadade konstruktionen. Materialet får till exempel inte medföra att skador uppkommer på nytt, eller att den tidigare uppkomna skadan vidareutvecklas. Materialet ska alltså skydda den gamla konstruktionen under lång tid samtidigt som bärformåga och säkerhet återställs under lång tid.

Reparationsmaterial marknadsförs ibland som "mirakelprodukter" som skyddar konstruktionen mot allt ont. Dit hör till exempel olika produkter som ska appliceras på korroderad armering för att göra denna immun mot fortsatt korrosion. Andra produkter marknadsförs som koldioxidabsorberande eller kloridabsorberande och därmed korrosionsbromsande utan att de rimligen har den effekt som hävdas. Det finns många fler exempel på oseriös marknadsföring av reparationsprodukter. Ägarens svårighet att bedöma värdet av olika reparationsmaterial har medfört att även sådana olämpliga produkter blivit använda

Det har gradvis kommit fram allt flera provningsmetoder för reparationsmaterialens egenskaper i olika avseenden, vilket ökat möjligheten att välja rätt. Numera är många av dessa metoder internationellt standardiserade i standarden EN 1504. *Products and systems for the production and repair of concrete structures.*

Reparationsbehov

En genomgång av förväntat reparationsbehov för svenska betongkonstruktioner görs i projektet Bygginnovationen. Behov finns hos i stort sett alla konstruktionstyper. Det är svårt att göra en total uppskattning av omfattning och kostnader. Som exempel kan nämnas att enbart den totala kostnaden för kommande reparationer av miljonprogrammets fasader bedömdes kunna bli cirka 80 miljarder kronor. Det årliga behovet är naturligtvis mindre. Kostnaden för reparation av vattenkraftanläggningar bedömdes vara av storleksordningen 1,5 miljarder kronor per år.

Forskningsbehov

Att reparera en konstruktion på ett sätt som återger konstruktionen fullgod funktion under lång tid är egentligen en mer komplicerad uppgift än att bygga nytt. Omfattande kunskap krävs nämligen när

det gäller det komplexa samspelet, mekaniskt och beständighetsmässigt, mellan reparationsmaterial och konstruktion. Om reparationsområdet ska vidareutvecklas måste därför ökade kunskaper tas fram om hur nedbrytningsprocesser och mekanisk samverkan mellan reparation och konstruktion sker hos konstruktioner reparerade enligt olika principer. God reparationsteknik kräver även att fuktförhållandena i en betongkonstruktion exponerad för olika miljöer kan förstås och beskrivas bättre än vad som är fallet i dag.

Trots all genomförd forskning återstår alltså många oklarheter. Framförallt måste livslängden hos den reparerade konstruktionen kunna förutses på bättre sätt än vad som är fallet i dag.

Ökade kunskaper inom reparationsområdet kommer även att kunna utnyttjas med framgång vid nyproduktion eftersom de medför att bättre och mera beständiga konstruktioner kan produceras. Följden blir att reparationsbehovet hos kommande konstruktioner på sikt bör minska.

Ett omfattande forskningsprogram presenteras i projektet Bygginnovationen. ■

Litteratur

Bergström, S.G., Möller, G. & Samuelsson, P. (1987): *Betonghandbok Reparation*. Svensk Byggtjänst.

Bernstone, C. (2006): *Automated per-*

formance monitoring of concrete dams. Avdelning teknisk geologi, LTH.

Brite/Euram (1997): *The residual service life of concrete structures*. Sammanfattning av projektet och lista över publikationer återfinns i rapport TVBM-7117, från avd. byggnadsmaterial, LTH.

Bygginnovationen (2010): *Reparation av betongkonstruktioner. Skador och reparationsmetoder från 1970-talet och framåt. Reparationsbehov, forskningsbehov, effektivitet*.

Concrete Repair Manual (2008): Publiceras av American Concrete Institute (ACI) och International Concrete Repair Institute (ICRI).

Contecvet (2001): *A validated Users Manual for assessing the residual service life of concrete structures*. Fyra slutrapporter från projektet (armeringskorrosion, alkali-kiselsyran grepp, frostnedbrytning, urlakning) kan beställas genom avd. byggnadsmaterial, LTH.

Fagerlund, G. (2003): *Synergetic effects of combined destructive action on concrete*. Role of Cement Science in Sustainable Development. International Symposium Sep 3–4 2003, Dundee, UK.

Fagerlund, G. (2008): *Ytreparation av betongkonstruktioner. Beständighet och livslängd*. Kommer att publiceras som Rapport TVBM-3160, från avd. byggnadsmaterial, LTH.

Fagerlund, G. & Svensson, O. (1980):

Beständighet hos lagningsystem för betongbalkonger. Cement och Betong Institutet, Research, Fo 2:80.

Johansson, L. (1976): *Skador hos betongbalkonger*. Cement och Betong Institutet, Forskning 76:3.

Norecon (2004): *Network on repair and maintenance of concrete structures*. Tre slutrapporter har utgivits av Norsk Vegvesen, Oslo.

Rehabcon (2004): *Strategy for maintenance and rehabilitation in concrete structures*. Den omfattande slutrapporten med ett flertal annex finns utgiven på CD-skiva som kan beställas från CBI.

Westerberg, B. (1998): *Reparation av betongkonstruktioner. Litteraturstudie*. Opubl.
