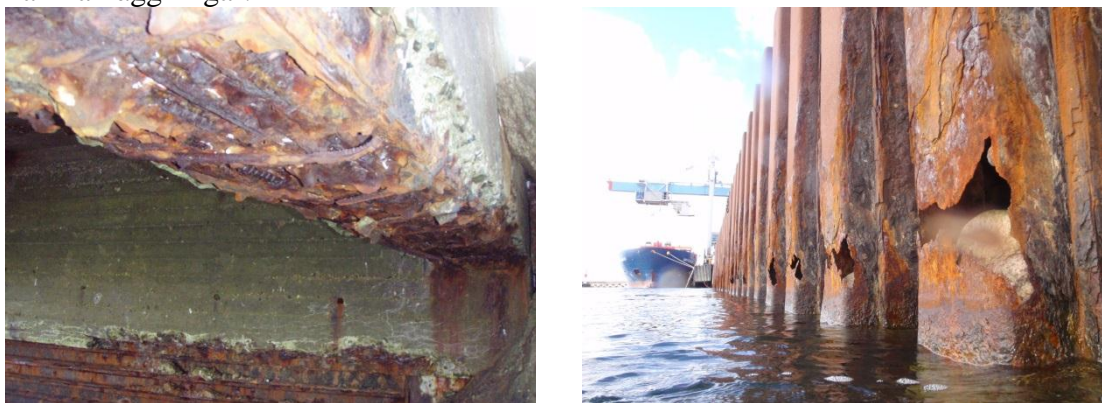


Metoder och verktyg för förebyggande underhåll och statusbedömning av stål- och betongkonstruktioner i marin miljö (projekt nr 11410 och nr 12349)

Många hamnanläggningar i Sverige är gamla och det behövs tillförlitliga metoder för tillståndsbedömning och bedömning av den resterande livslängden hos befintliga stål och betongkonstruktioner i våra hamnar. Att kontrollera kloridprofiler och deras utveckling med tiden i betong utsatt för salthaltigt vatten, är det vanligaste sättet för att statusbedöma denna typ av konstruktioner. Statusbedömning med avseende på korrosionshastigheter och kvarvarande godstjocklek hos stålkonstruktioner såsom stålspons i kajkonstruktioner, utförs vanligen genom tjockleksmätning med ultraljud.

Bakgrund

I stort sett varje svensk kuststad har en eller flera hamnar med stora anläggningar för hamnverksamheten, som regel i stål och armerad betong. Många hamnanläggningar är idag äldre än 50 år. De utfördes visserligen många gånger som relativt bra konstruktioner, för den tiden, men de svåra klimatpåfrestningarna har satt djupa spår. Ett stort underhållsbehov förutses det kommande decenniet, samtidigt som en del hamnar kommer att byggas ut för större fartyg och större trafik. Då fordras bättre metoder för tillståndsbedömning, bedömning av livslängd före och efter reparation/förstärkning och förebyggande underhåll. Under senare år har stora insatser gjorts inom dessa områden för andra anläggningskonstruktioner, som t ex broar i marin och vägmiljö, dammanläggningar etc. Kunskaper och erfarenheter från dessa insatser kan nu användas men måste anpassas till de speciella förhållanden som råder för hamnanläggningar.



Figur 1: Typiska skador på betong- och stålkonstruktioner i marin miljö.

Syfte

Detta projekt fokuserar på hur man på bästa sätt gör en tillståndsbedömning av stål- och betongkonstruktioner i marin miljö, med avseende på kloridprofilering i betongen och avrostningshastigheten hos stålspons. Att kontrollera kloridprofiler och deras utveckling med tiden i betong utsatt för salthaltigt vatten, är det vanligaste sättet för att statusbedöma denna typ av konstruktioner. Alltför höga kloridhalter medför med tiden att armeringskorrosion initieras. För att kunna använda data från kloridprofiler för en bedömning av återstående tid till armeringskorrosion, så behövs säkra och korrekta

undersökningsmetoder. Samma sak gäller för statusbedömningen av stålspont i marin miljö, där den ursprungliga önskade livslängden hos sponten oftast uppfylls genom överdimensionering av ståltjockleken med en viss förutsatt avrostningshastighet (mm/år).

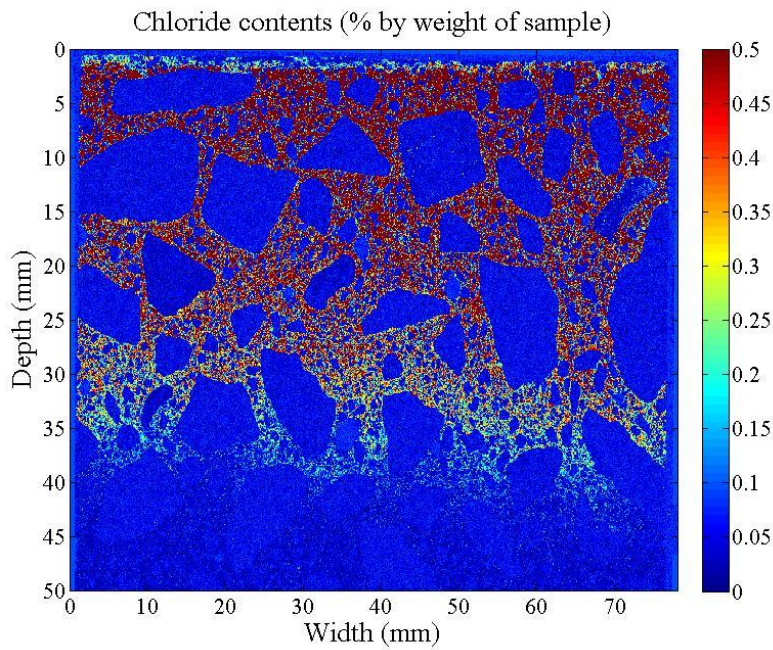
Den direkta nyttan med projektet, i det längre perspektivet, är lägre driftskostnader för hamnanläggningar genom kontinuerlig inspektion och statusbedömning. Vägen dit, genom större teknikinhåll, högre kvalitet och tidigare insatser, bör skapa större och bättre affärsmöjligheter för duktiga projektörer och entreprenörer inom hamnområdet.

Genomförande

Med stöd från SBUF har arbetet genomförts som ett doktorandprojekt vid avdelningen för byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med Skanska Sverige AB, Teknik.

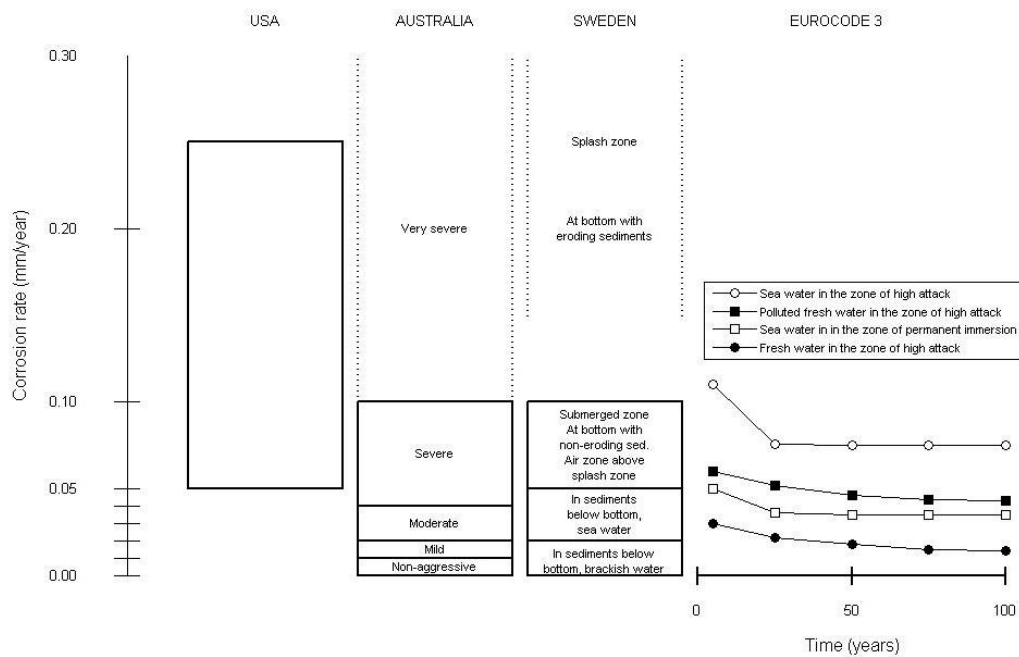
Fältstudierna utfördes i Trelleborgs hamn, i Malmö oljehamn och i Halmstad hamn. I de två förstnämnda hamnarna avsåg fältstudierna kloridprovtagning av befintlig betong. Prover togs ut som borrhaxprover med 20 mm borr i både Trelleborgs hamn och i Malmö oljehamn. För att studera kloridinträngning i betong i en kontrollerad miljö och på ett kontrollerat sätt, genomfördes även laboratoriestudier med detta syfte. Laboratoriestudierna har genomförts i laboratoriet vid Lunds Tekniska Högskola på betongplattor nedsänkta i saltlösning. Provtagningen på betongplattorna har bestått av både uppsamling av borrhax med ett flertal borrhaxdiametrar (8, 12 och 20 mm), samt av utborrnig av kärnprover med diametern 100 mm.

I slutet av kloridstudien användes en ny analysmetod, EPMA, för bestämning av kloridinnehållet i betong utsatt för saltvatten. EPMA är en förkortning av Electron Probe Micro Analyzer och den utrustning som använts i denna studie finns vid Taiheiyo Cement Corp. i Japan. Metoden för analys av kloridinnehållet i betong är tvådimensionell och det analyserade provets storlek är en skiva med bredd- och höjdmåttet ca 75 x 50 mm. Ett prov togs ut från samma betongplatta som hade använts för provtagning i laboratoriet och skickades till Japan för analys.



Figur 2: Kloridinhåll i betongprov analyserat med EPMA

Detta projekts andra del behandlade korrosionshastigheter på stålspons i våra Svenska hamnar. De rekommendationer som finns vad gäller antagen korrosionshastighet på stål i marin miljö, skiljer sig relativt mycket från varandra och en ”absolut” korrosionshastighet finns inte. Figur 3 visar de värden på korrosionshastigheter på stål som används i olika delar av världen vid nykonstruktion idag. Den enda normen som tar hänsyn till att korrosionsförloppet faktiskt varierar över tiden, är den europeiska Eurocode.



Figur 3: Rekommenderade korrosionshastigheter på stål i marin miljö från olika delar av världen.

I syfte att utreda vilken korrosionshastighet på stål som gäller i en hamn och för att kontrollera de i Figur 2 rekommenderade värdena, så utfördes ultraljudsmätningar på befintliga spontkajer i Halmstad hamn. De undersökta kajerna hade en varierande ålder mellan 36 och 51 år. En av de undersökta kajerna återfinns i floden Nissan som är ett sötvattendrag, vilket möjliggjorde att studera om salthalten hade någon signifikant inverkan på korrosionshastigheten hos spontkajerna.



Figur 4: Fältarbete i Halmstad hamn. Bilden till höger visar den ultraljudsmätare som användes vid mätning av kvarvarande godstjocklek i stålsporten.

Utöver ultraljudsmätningen på befintlig spont, så exponerades även stålplåtar av vanligt konstruktionsstål med storleken $150 \times 150 \times 5 \text{ mm}^3$, under ett års tid på varierande djup i Halmstad hamn. Salthalt, syrehalt, pH och temperatur mättes en gång per månad vid exponeringsplatserna, för att se om det gick att finna något samband mellan dessa parametrar och korrosionshastigheten hos de exponerade plåtarna.

Resultat

Kloridprofilerna från fältundersökningarna uppvisar stora variationer mellan de olika provtagningspunkterna, även om dessa punkter har legat med ett så pass kort inbördes avstånd som ca 200-300 mm. Både kloridinnehåll och cementhalt har analyserats i alla de uttagna proverna.

Resultaten från provtagningarna i laboratoriet visar klart att kärnprovtagning är den bästa metoden för att analysera kloridinnehållet i marin betong. Även om så stora borrhdiometrar som 20 mm används, så blir spridningen i resultaten mellan de olika provtagningspunkterna oacceptabelt höga till och med i kontrollerad laboriemiljö. Studien visar dock att om blandprover används vid borrning med små borrhdiometrar, så minskar spridningen mellan provtagningspunkterna. Oavsett vilken borrhdiometer som används, så skall kloridinnehållet redovisas som vikts-% av cementinnehållet, eftersom detta redovisningsförfarande generellt minskar spridningen i de redovisade kloridprofilerna.

Resultaten från inventeringen av tidigare utförda ultraljudsmätningar på stålspont längs den svenska kusten, visade ingen korrelation mellan salthalt och korrosionshastighet. De uppmätta korrosionshastigheterna i de undersökta kajerna i Halmstad hamn är lägre än de i normerna rekommenderade värdena för den aktuella miljön. De

korrosionshastigheter som anges i Eurocode, avser ensidig korrosion och de värden som uppmättes i fältstudien i Halmstad ligger i flera fall under dessa, trots att de uppmätta värdena avser dubbelsidig avrostning. Ingen korrelation mellan korrosionsförlust och salthalt kunde ses i mätresultaten.

Avrostningshastigheten på de stålplåtar som under ett års tid exponerades på olika djup, var upp till 3 gånger så hög som hos de befintliga spontkajerna i hamnen. Detta visar tydligt vad som även framkommit i liknande studier, att korrosionshastigheten är högre i början av exponeringen av stål i marin miljö. Avrostningshastigheten var störst i skvalpzonen kring nivån för medelvattenytan.



Figur 5: Stålplåtar efter ett års exponering i Halmstad hamn. Plåten längst till vänster har exponerats ca 1 m över medelvattenytan, medan plåten längst till höger har varit belägen på ca 6 m djup.

Slutsatser

Att finna provtagningsmetoder som ger små spridningar i resultatet för att kontrollera kloridinnehållet i marina betongkonstruktioner, är en del av lösningen till problemet med bra indata till livslängdsmodellering av konstruktionerna.

Resultaten från denna studie visar att kloridinnehållet skall redovisas som vikts-% av cementinnehållet i det analyserade provet, eftersom detta redovisningssätt minskar spridningen mellan olika närliggande provtagningspunkter. Detta är särskilt viktigt då provtagningen sker genom uttagning av borrkax, i synnerhet då små borrar diametrar används eftersom påverkan av stora ballastkorn på det erhållna resultatet, verkar vara den främsta orsaken till de stora variationerna i kloridinnehållet.

Studien har också visat att cementinnehållet i prover uttagna som borrkaxmjöl med traditionell slagborrhammare blir överrepresenterat. Detta medför i sin tur att provtagningen inte ger representativa resultat för den undersökta betongkonstruktionen.

Fältstudierna i detta projekt har också påvisat vikten av valet av provtagningspunkter, när en undersökning av en betongkonstruktion i marin miljö skall genomföras. Om en eller flera av ytorna på den betongkonstruktion som skall undersökas vetter ut mot öppet

hav utan något skydd framför dessa, verkar det som om dessa sidor utsätts för högst kloridbelastning oavsett den dominerande vindriktningen i området. Detta är viktigt att ta hänsyn till vid utvärderingen av resultaten från en undersökning av en marin betongkonstruktion. Även om resultaten från en sida av konstruktionen påvisar högt kloridinnehåll med värden över tröskelvärdet för armeringskorrosion, så behöver det inte betyda att hela konstruktionens livslängd är förbrukad. I detta fall kan det löna sig att sätta in reparationsåtgärder för de mest utsatta delarna till en mycket lägre kostnad än om hela konstruktionen skulle renoveras.

Det går inte att, utifrån de genomförda studierna avseende korrosionshastigheterna på stålsponterna, se någon korrelation mellan salthalt och korrosionshastighet. De i Halmstad hamn uppmätta korrosionshastigheterna är dock lägre än de i dagens normer angivna rekommendationerna vid nykonstruktion.

En faktor som påverkar utvärderingen av mätresultaten från godstjockleksmätningar på befintliga spontkonstruktioner, är tillverkningstoleranserna avseende godstjocklek vid tillverkning av stålspont. En enkel beräkningsmodell där hänsyn tas till tillverkningstoleransen (vanligen $\pm 6\%$ av godstjockleken) visar att det kan ta upp till 50 år vid låga korrosionshastigheter, för att kunna bedöma en ”korrekt” korrosionshastighet hos den mätta sponten. För att kunna göra säkra bedömningar av korrosionsförlusterna hos stålspont i framtiden, så rekommenderas att mäta verklig initial godstjocklek hos spontplanken vid nybyggnation av kajer. Dessa uppgifter bör skrivas in på relationshandlingarna, för att användas vid utvärdering av framtida godstjockleksmätningar i syfte att bedöma verklig korrosionshastighet och därmed kvarvarande livslängd hos konstruktionen.

Ytterligare information

Kontaktpersoner:

Henrik Wall, COWI AB, tel 0703-45 42 30, e-post: hkwa@cowi.se

Litteratur:

Doktorsavhandlingen *Service Life Assessment of Harbor Structures – Case studies of chloride ingress into concrete and sheet piling corrosion rates* kan laddas ned kostnadsfritt via Lunds Universitets hemsida på <http://www.lu.se/lup/publication/4190003>