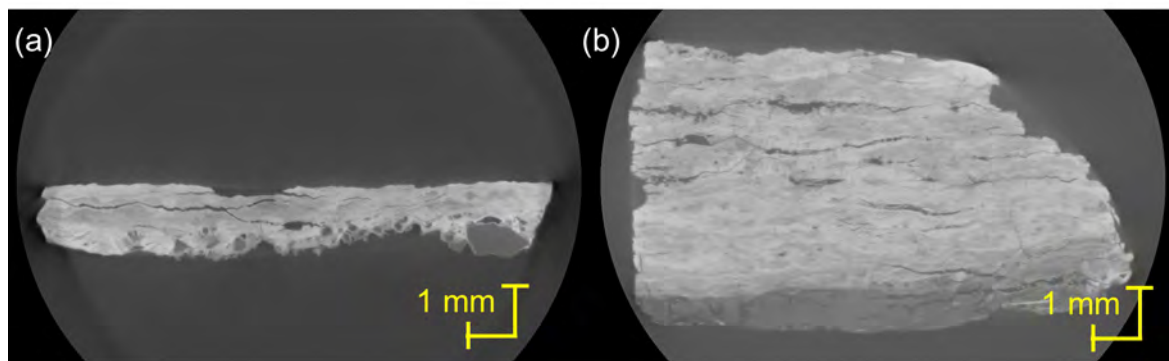


ULTRALJUDSBASERAD LOKALISERING OCH KLASSIFICERING AV ROST – MED TILLÄMPNING MOT TÄTPLÅTAR I KÄRNKRAFTENS REAKTORINNESLUTNINGAR

Markus Nilsson (LTH)
markus.nilsson@tg.lth.se

INTRODUKTION

För att säkerställa säker drift och planering av underhåll av samhällskritisk infrastruktur är utvärdering av strukturers skick avgörande, särskilt genom oförstörande provning (OFP) med tekniker som ultraljud. En långvarig utmaning inom OFP är att detektera korrosion i tätplåtar ingjutna i betong, särskilt i reaktorinneslutningar i kärnkraftverk. I svenska anläggningar är tätplåten (nominellt ca 8 mm tjock) ofta ingjuten i 1 m tjocka betongväggar med armering och spännkablar, vilket gör inspektion utan friläggning mycket svår. Korrosion är särskilt allvarlig då den kan äventyra tätplåtens förmåga att förhindra utsläpp av radioaktiva partiklar. Figur 1 visar hur korrosion kan skapa planparallella defekter som påverkar plåtens egenskaper långt innan genomgående hål bildas. Trots många försök har ingen OFP-metod ännu varit framgångsrik för ändamålet.



Figur 1. Röntgenbilder på tvärsnitt av korrosionsprodukter. (a) Ordinär skalrost från en skrotplåt. (b) Korrosionsprodukt från en autentiskt korroderad tätplåt från en reaktorinneslutning. Mörka områden indikerar låg densitet (sprickor). Figur från [1].

Det räcker inte att enbart detektera förekomsten av defekter; de måste även lokaliseras. Med ultraljud kan reflektorers position bestämmas med god precision, givet att våglängden är tillräckligt kort. Det är också viktigt att beakta polariseringen, eftersom partikelstörningarnas orientering i förhållande till vågens riktning avgör hur defekterna detekteras.

I detta arbetet utvärderades ingjutna plåtar orienterade vinkelrätt mot vågens utbredningsriktning. Kompressionsvågor (P-vågor) skulle kräva en våglängd kortare än 8 mm, vilket dämpas starkt i betong på grund av interaktion med ballast och armering. Horisontellt polariserade skjuvvågor (SH-vågor) där störningen sker horisontellt, parallellt med ytan och vinkelrätt mot vågens utbredningsriktning, är däremot känsliga för ytdefekter som korrosion och möjliggör användning av längre våglängder för att undersöka plåtkorrosion.

Man kan även undersöka icke-linjär vågdistorion, alltså övertoner och modulation. Dessa effekter som uppstår när defekter skapar lokalt töjningsberoende elasticitet. En sluten spricka kan liknas vid två ballonger i kontakt, där kontaktytan varierar beroende på trycket, vilket

resulterar i icke-linjär styvhet. Det har visats att allvarlig korrosion ökar distorsion markant [1-3].

Eftersom icke-linjära fenomen är oberoende av våglängdens relation till defekternas storlek – i motsats till det reguljära ultraljudet – kan längre våglängder användas vilket gör dem fördelaktiga vid inspektion av komplexa strukturer. Inledande forskning vid Lunds tekniska högskola (LTH), med stöd från Strålsäkerhetsmyndigheten och Energiforsk, antyder att icke-linjärt ultraljud är en lovande metod för detta ändamål.

ULTRALJUDSSKANNING AV BETONGPROVKROPP INNEHÅLLANDE KORRODERADE TÄTPLÅTAR

Vid LTH har försök bedrivits med ultraljud som har en våglängd på ca 5 cm med både P- (80 kHz) och SH-vågor (40 kHz) för att utvärdera korrosion i ingjutna plåtar som är nominellt 8 mm tjocka. Provkroppen (1100x710x420 mm) för experimentet ses i Figur 2 och innehåller tre plåtar med varierande korrosionsgrad. I Figur 3 (a) ses en enhetligt korroderad plåt (lindrig korrosion), (b) visar en allvarligt korroderad plåt med skalrost, vilket är att samma typ

som ses i Figur 1 (a), och Figur 3 (c) visar en ursprungligt korroderad plåt där rostskiktet har slipats bort.

För noggrann placering av ultraljudaperturen för sändning och mottagning användes en XY-skanner driven av två servomotorer. Mätningarna utfördes i steg om 1 cm i ett rutnät med 98x62 punkter. Totalt genomfördes 6076 mätningar per försök. För vidare detaljer kring experimentet hänvisas den intresserade läsaren till [4, 5].

Eftersom en ultraljudspuls är bredbandig kan de starkast aktiverade frekvenskomponenterna interagera med varandra och skapa nya frekvenser genom s.k. intermodulation. För att studera dessa fenomen analyserades de mottagna signalerna utifrån tre parametrar:

- 1) vågmagnituden (enveloppen), som är en linjär parameter, samt
- 2) den första övertonens magnitud i förhållande till grundtonen och
- 3) intermodulation, vilka båda beror på graden av icke-linjäritet.

Parametrarna kombinerades genom att normalisera och summera respektive skadevärde, vilket ger en bättre helhet än att enbart studera en parameter åt gången.

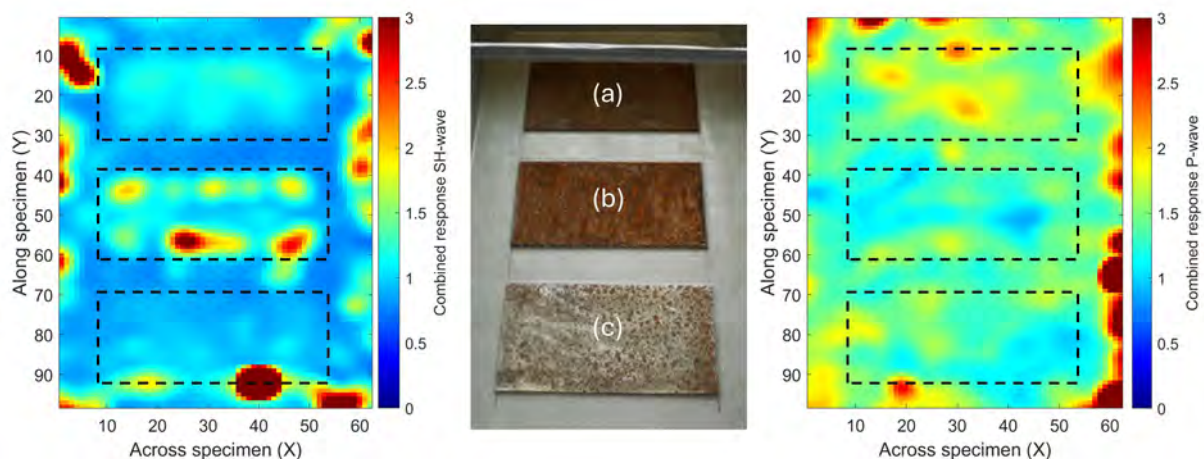
Resultaten i form av C-scan presenteras i Figur 3. En C-scan är en tvådimensionell avbildning (XY-skiva) som representerar en parameters variation vid ett specifikt djup i provkroppen, i detta fall vid botten av provkroppen, vilket är var plåtarna befinner sig. I Figur 3 ser vi att SH-vågorna (vänstra bilden) effektivt både lokaliserar och klassificerar de korroderade plåtarna, med svag indikation för plåt (a), stark för (b), och närmast obefintlig för (c). Motsvarande försök med P-vågor lyckas inte ens att detektera plåtarna.

Resultaten antyder ett förhöjt skadeläge kring provkroppens periferi. Detta kan förklaras av kanteffekter, där interferens skapar distorsion. Dessutom finns sprickor i betongen längs kanten som uppkommit under härdningen, vilka bidrar till ökad icke-linjäritet.

I ett nyligen beviljat projekt kommer en mock-up av ett väggsegment från en reaktorinneslutning med korroderad tätplåt tillverkas för att kunna utvärdera teknikerna under mer realistiska förhållanden.



Figur 2. Betongprovkropp positionerad under LTH:s XY-skanner. Provkroppen mäter 1100x710x420 mm (innermått) och innehåller tre plåtar av varierande korrosionsnivå, se Figur 3. Figur från [4].



Figur 3. Avbildning med skjuvvågor (vänster) och kompressionsvågor (höger) genom kombination av linjära och icke-linjära parametrar av: (a) Enhetligt korroderad plåt (svag korrosion); (b) Skalrostad plåt (allvarlig korrosion); (c) Ursprungligt enhetligt korroderad plåt från vilken rosten har slipats bort. De streckade rektanglarna visar de förväntade positionerna för plåtarna.

REFERENSER

- [1] M. Nilsson, P. Ulriksen, och N. Rydén, "Nonlinear Wave Modulation for the Evaluation of Corroded Steel Plates Embedded in Concrete," *Journal of Advanced Concrete Technology*, vol. 22, no. 9, pp. 545-560, 2024, doi: 10.3151/jact.22.545.
- [2] M. Nilsson, E. Huttunen-Saarivirta, E. Bohner, och M. Ferreira, "Non-destructive evaluation of corrosion in steel liner plates embedded in concrete using nonlinear ultrasonics," *Construction and Building Materials*, vol. 408, 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133691.
- [3] M. Nilsson, P. Ulriksen, och N. Rydén, "Nonlinear ultrasonic characteristics of a corroded steel plate," *Nondestructive Testing and Evaluation*, vol. 38, no. 3, pp. 456-479, 2022, doi: 10.1080/10589759.2022.2123481.
- [4] M. Nilsson, P. Ulriksen, och N. Rydén, "Ultrasonic imaging of concrete-embedded corroded steel liners using linear and nonlinear evaluation," *Nondestructive Testing and Evaluation*, pp. 1-29, 2024, doi: 10.1080/10589759.2024.2402889.
- [5] M. Nilsson, "Nonlinear Ultrasonic Evaluation for Corrosion Assessment of Steel Plates Embedded in Concrete," *Doktorsavhandling, Teknisk geologi, Lunds Universitet, Lund*, 2024.



Markus Nilsson

Doktorand vid Teknisk geologi,
Lunds tekniska högskola
markus.nilsson@tg.lth.se