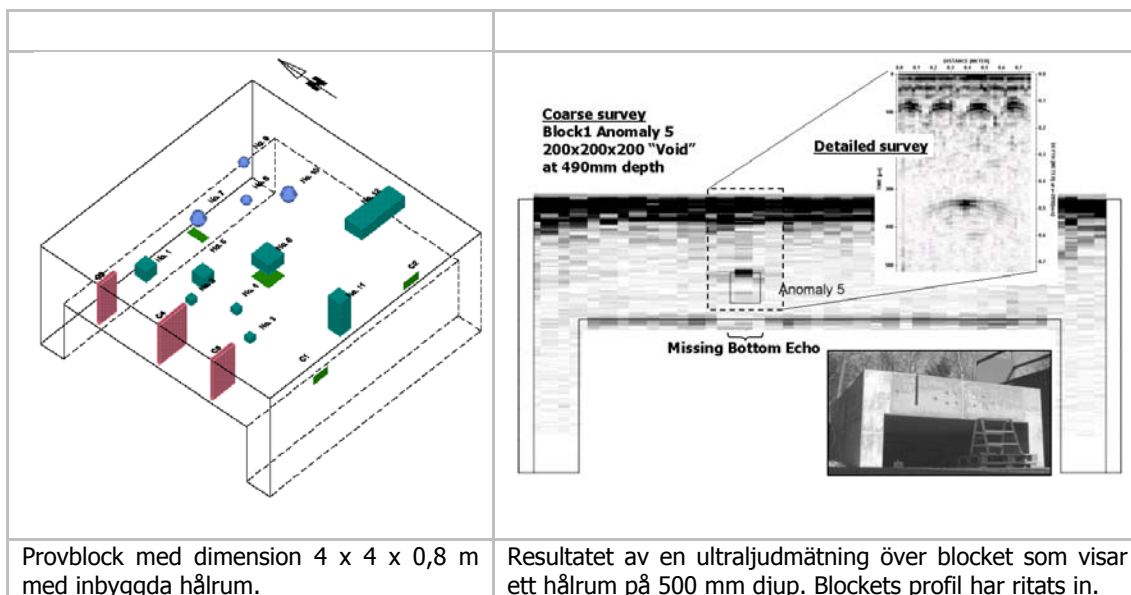


En praktisk guide till oförstörande provning av betongkonstruktioner

Sammanfattning

Oförstörande provningsmetoder (OFP) används i allt större utsträckning på betongkonstruktioner för att undersöka ett antal problemställningar. Metodernas tillförlitlighet och vilka förutsättningar som krävs för relevanta resultat är dock mycket sparsamt kända eller dokumenterade.

Syftet med detta projekt har varit att besvara dessa frågor gällande ett antal enkla och vardagliga byggproblem. Metodernas tillförlitlighet och känslighet har studerats med hjälp av provkroppar med väldefinierade detaljer och inbyggda fel. Deras användbarhet i fält har sedan provats på ett antal utvalda konstruktioner.



Varför OFP av betong ?

Ett antal fall finns där man kan ha användning för OFP:

- * Överensstämmelse med ritning – t ex armeringsdetaljer, betongtjocklek.
- * Bestämning av specifika data och parametrar – t ex betongens elasticitetsmodul, antal och diameter av armeringsstänger.
- * Tillståndsbedömning – t ex betongens homogenitet, hållfasthet och dennas variation, vidhäftningen mellan olika betongskikt.
- * Skadevärdering – t ex betongskador orsakade av brand, frost, ballastreaktioner, tjockleken på skadade skikt samt korrosionsdjup på armering.

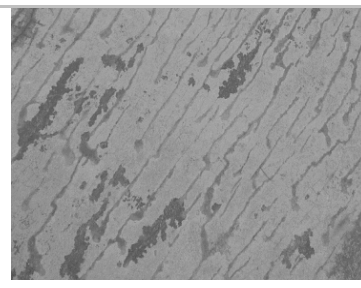
Exempel i fält



Vänster: Bro med efterspänd betong. Innan borring i balksidorna skall spännkablarnas lägen kartläggas med röntgen. **Mitten:** röntgenplåten monteras på utsidan. **Höger:** isotopen monterad på insidan.



Vänster: Denna tunnel har en 600 mm tjock betongmantel som platsgjutits. **Höger:** Betongens tjocklek och homogenitet kontrolleras med ultraljudmätning.



Vänster: Dammpelare med sprickor orsakade av alkaliskesyra-reaktion (akr). Sprickorna syns på den utborrade kärnan. **Mitten:** bropelare med akr-sprickor. **Höger:** Nygjuten broplatta med plastiska krympsprickor. Dessa konstruktioner undersöktes med seismiska provningsmetoder.

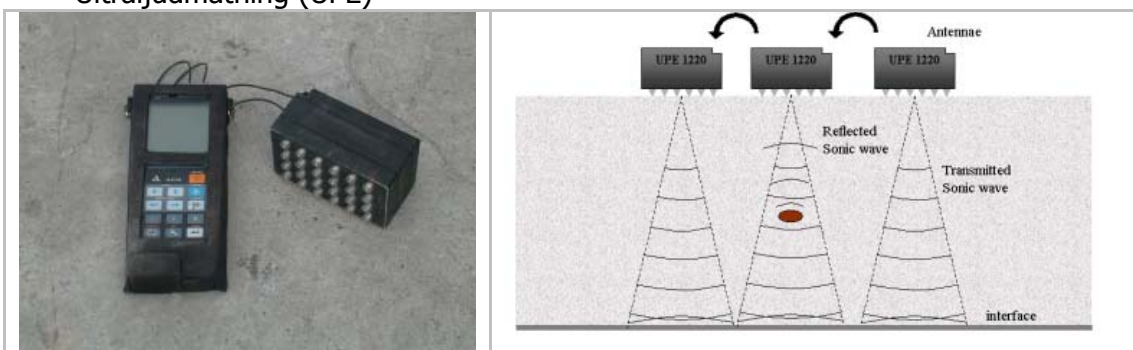
Vilka metoder har undersökts i projektet ?

Radiografiska, elektromagnetiska och seismiska metoder har undersökts. Vissa metoder var vid projektets början ganska välkända medan andra var relativt nya, i alla fall avseende betongprovning. Ett par ej tidigare kända metoder som kommit fram under projektets gång visade sig vara mycket användbara, nämligen ultraljudinstrumentet A 1220 från det ryska företaget Spectrum samt digitalröntgensystemet från Agfa Strukturix. Dessutom gjordes viktiga utvecklingar av radarantennen i ett tidigt skede av projektet av Malå GeoScience och Luleå Tekniska Universitet.

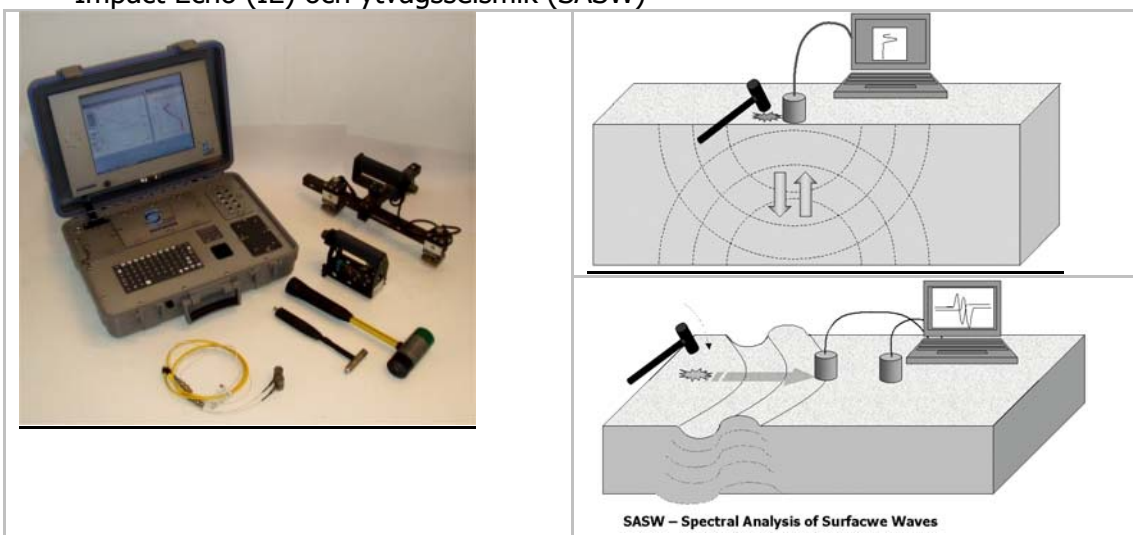
Seismiska metoder som ultraljudmätning (Ultrasonic Pulse Echo-UPE), Impact Echo (IE) och ytvågsseismik (Spectral Analysis of Surface Waves-SASW) baseras på transmission och reflektion av mekaniska vågor; i dessa fallen av skjuv-, tryck- respektive ytvågor (Rayleighvågor). Dessa metoder gör att vi kan mäta ljudhastigheten vilken är beroende av betongens mekaniska egenskaper som elasticitetsmodul, hållfasthet och densitet. Dessutom orsakas reflexer från fasgränser mellan olika material och sprickor respektive hålrum. Vågorna är en form av mekanisk energi och de ger information om betongens mekaniska egenskaper. Seismiska vågor är känsliga för fasgränser mellan material med olika akustisk impedans (produkten av ljudhastighet och densitet). Ett luftfyllt hålrum ger exempelvis nästan 100% reflektion av vågenergin medan en fasgräns mellan betong och stål ger ca 70% reflektion.

De seismiska metoder som undersökts är:

- Ultraljudmätning (UPE)



- Impact Echo (IE) och ytvågsseismik (SASW)



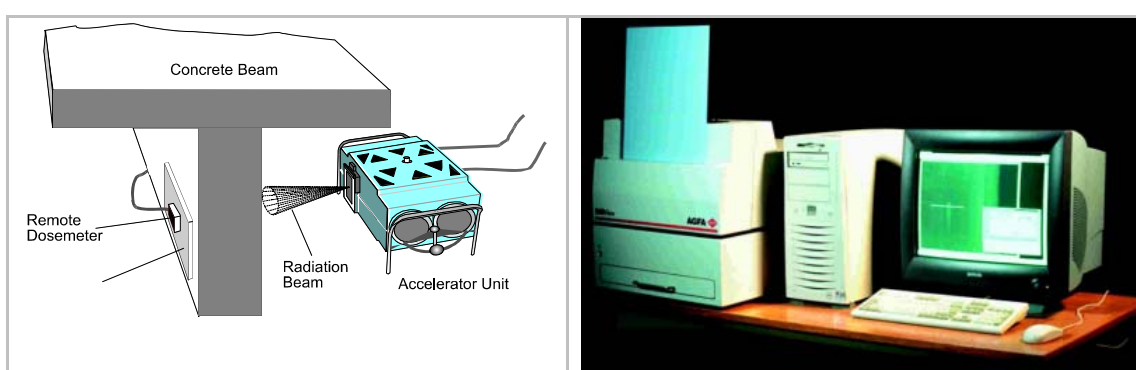
Radiografiska metoder, dvs metoder som bygger på röntgen- och gammastrålning, är en form av elektromagnetisk strålning vilket gör det möjligt att se in i betongen. Röntgenstrålning bildas när elektroner, accelererade till höga energinivåer, tvingas mot en platta av tung metall vilket leder till att det utvecklas fotoner eller knippen med stålningens energi. Gammastrålning sker på grund av att vissa materials atomkärnor sönderfaller (isotoper) på grund av deras instabilitet. Denna process ger upphov till utsöndring av energi i form av gammastrålning.

Mängden strålning som passerar genom objektet mäts med hjälp av film eller annan detektor (digitalplåtar). Hur mycket strålning som passerar beror på materialets densitet. En röntgenbild är därför en bild av den materialvolym som genomstrålats där bildens densitet beror på objektets densitet och tjocklek. Ett hålrum i en betongvägg kommer att leda till att den genomträngande strålningsmängden blir större medan ett armeringsstång kommer att ha motsatt effekt. Bilderna kommer att bli mörkare i linje med hålrummet och ljusare i linje med armeringsstången.

Följande strålningskällor, som är de vanligaste som används i industriell radiografi, användes i projektet:

Låg till mellan energi, dvs gammastrålning: Cobolt (Co) och Iridium (IR) isotoper.

Högenergiröntgen (HECR): Betatron 7.5 MeV



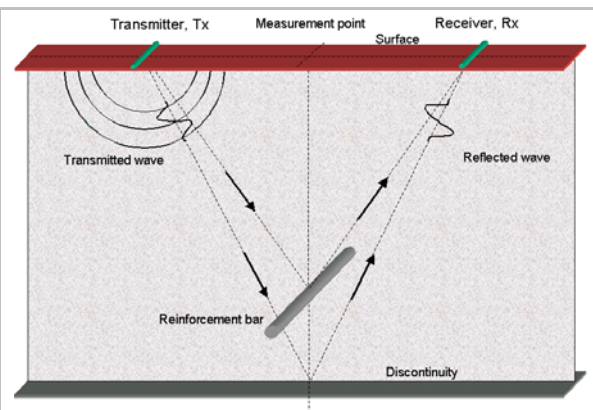
Vänster: Typisk uppställning för röntgen med Betatron. En 220 V, 15 A strömkälla behövs.

Höger: Skanner och arbetsstation.

Bildtekniken som användes var digitalröntgensystemet från Agfa Structurix (Computed Radiography-CR). Jämförelser gjordes också med traditionell industriell röntgenfilm (D7 och D8) samt även med scintillerande detektorer.

Elektromagnetiska metoder: Ground Penetrating Radar (GPR) är en radarteknik med hög upplösning som avsöker betongen nära ytan. Antennen producerar korta elektromagnetiska pulser som skickas in i betongen. Informationen som kommer tillbaka beror på skillnaden mellan materialens (betong och stål) förmåga att transmittera eller hindra denna energi. Den del av signalen som reflekteras samt transmissionstiden och amplituden registreras digitalt.

I våra undersökningar gjordes mätningar vars resultat visas i form av plottade tid-amplitudkurvor där avståndet mellan varje mätpunkt var 2 eller 4 mm längs en linje. Flera sådana avsökningar kan användas till att producera en datakub.

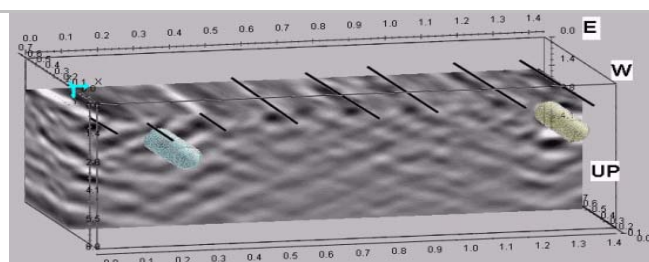


Ett radarsystem består av en laptop, en kontrollenhet och en antenn. Den är normalt batteridrivnen. Antennen dras längs med betongytan och mätningen görs därmed kontinuerligt. Inget kontaktmedel behövs mellan antennen och betongytan.

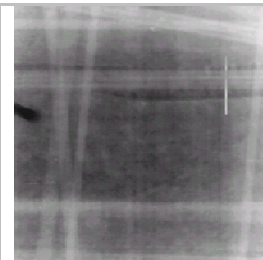
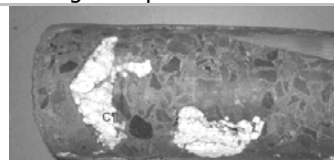
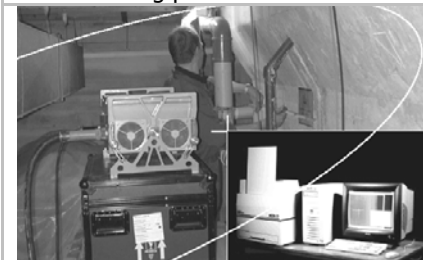
Radarprincipen: En signal skickas in i betongen. Signalen reflekteras från material med annan elektromagnetisk impedans, t ex från stål i betong, och den reflekterade signalen registreras på betongytan.

Vilka problemställningar har undersökts i projektet?

Huvudsyftet har från början varit att studera hur väl olika metoder kan upptäcka och beskriva hålrum i injekterade spännkabelrör och hålrum i betong. I de flesta fall krävs dock att man vet mer om konstruktionen, till exempel armeringsdetaljer och andra betonegenskaper, vilket kan innebära att flera provningsmetoder måste användas i ett givet fall. Därför har bland annat kartläggning av armeringsdetaljer med radar och röntgen varit en viktig del av arbetet.



Radarmätning på en brobalk för att kartlägga armering och spännkablar.



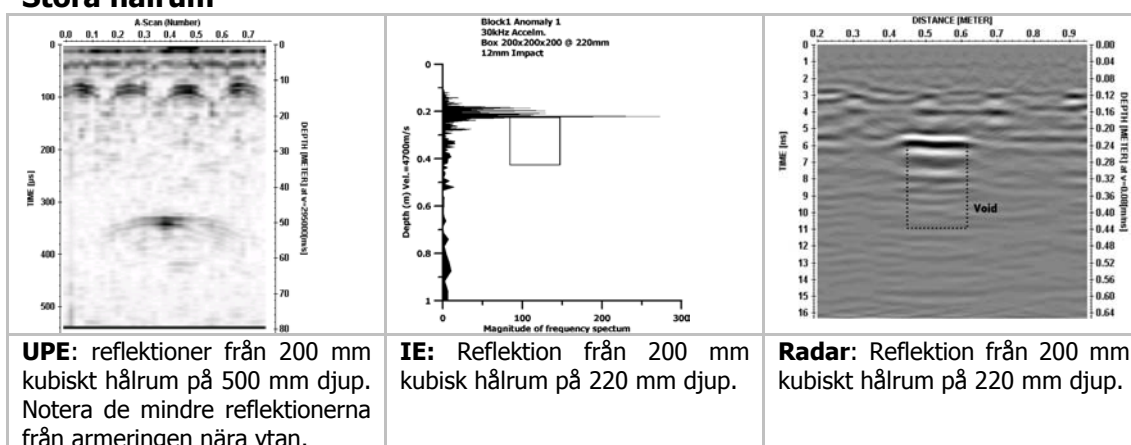
Vänster: En tjock betongkonstruktion undersöks med högenergiröntgen. **Mitten:** Urborrard kärna visar ingjutet byggsräp som upptäckts med röntgen. **Höger:** Röntgenbild som visar armeringsstänger och spännkablar i en brobalk. Det mörka partiet till höger visar ett hålrum i det injekterade spännkabelröret.

En inledande viktig del av projektet för att undersöka metodernas tillförlitlighet och känslighet har varit att undersöka provblock med väldefinierade detaljer och inbyggda fel. Några exempel på provblock och mätresultat ges nedan.

Exempel – provblock

Det största provblocket visas på sidan 1. Detta användes huvudsakligen för att undersöka metodkänslighet för detektering av sfäriska och kubiska hålrum av olika storlekar (100 mm och större) samt på olika djup. Betongplattan är 16 m² stor och 800 mm tjock. De metoder som undersöktes var de seismiska metoderna ultraljudmätning (UPE), impact echo (IE) och ytvågsseismik (SASW). I detta fall visade sig UPE vara den bästa och snabbaste metoden. Seismiska metoder kan detektera relativt stora hålrum (> 100 mm) där endast en sida av konstruktionen är åtkomlig. Se exempel på resultat nedan.

Stora hålrum



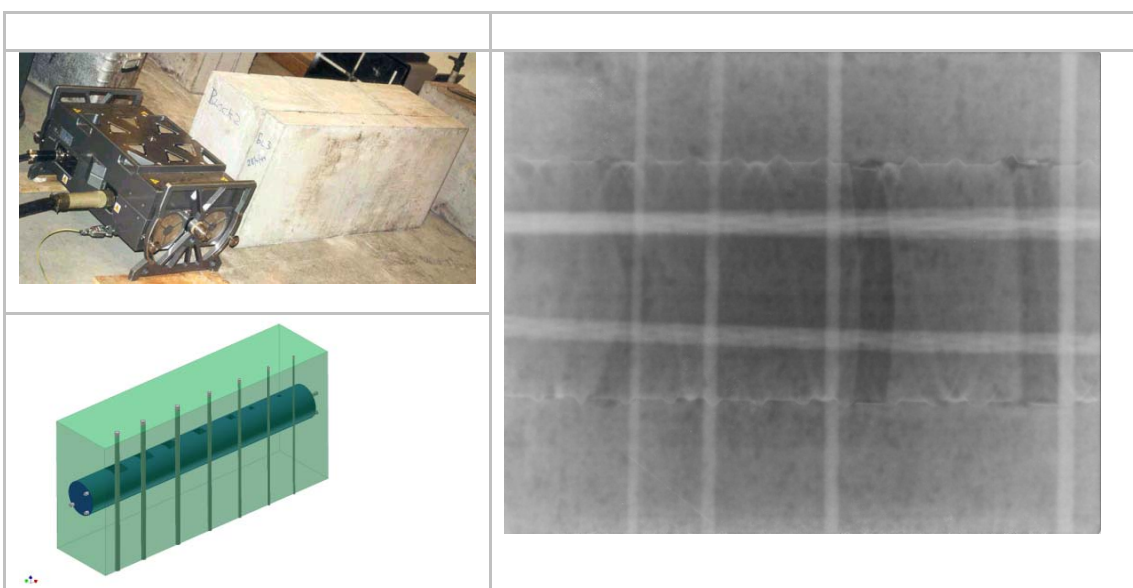
Om betongen är av god kvalitet och maximal ballaststorlek är mindre än 25 mm anses UPE vara den bästa tekniken för detektering av hålrum och i vissa fall uppskatta storleken på dem. UPE är också bra till att mäta tjocklek, t ex 600-800 mm i en betong av bra kvalitet. Om betongen är av sämre kvalitet och/eller om maximal ballaststorlek är större än 25–32 mm kan det vara svårt att använda ultraljudmätning på grund av att signalen dämpas ut snabbare (mindre inträngning) och datakvaliteten påverkas av störande reflektioner. Impact echo är däremot inte känslig för ballaststorleken och kan tränga in många meter i betongen beroende på impact-kraften. Den är dock inte lika bra på att detektera hålrum som ultraljudmätning. Den minsta storleken på hålrum eller spricka parallell med ytan som kan detekteras med impact echo är normalt samma som mätdjupet, till exempel 200 mm hålrum på 200 mm djup.

I figuren ovan kan man också se ett exempel på detektering av hålrum med radar. Radar är inte lika känslig som seismiska metoder avseende detektering av luftfyllda hålrum. Radarvågens inträngning i betong är normalt begränsad till ca 300 mm på grund av betongens höga konduktivitet (ledningsförmåga) beroende på betongens fuktighet samt störande reflektioner från armeringsstänger. I vissa fall kan radar vara ett bra alternativ till seismiska metoder eftersom den kan mäta snabbt ty den behöver ingen kontakt med betongytan och den har dessutom en väldigt hög upplösning. Radar kan vara lämplig för detektering av hålrum i oarmerad och helst ganska torr betong.

Små hålrum

Mycket små hålrum (mindre än 20 mm) i betong upp till 1200 mm tjock upptäcktes lätt med högenergiröntgen (HECR). Det kan vara av intresse att hitta små hålrum i injekterade spännkabelrör eller i konstruktioner som är känsliga för läckage eller korrosion. Röntgen påverkas inte av störande reflektioner från ränderna i konstruktioner med komplicerad geometri på samma sätt som seismiska metoder. Den största tjockleken som kan undersökas med röntgen (7.5 MeV Betatron) är 1500 mm. Röntgen kräver att bägge sidor av konstruktionen är åtkomliga.

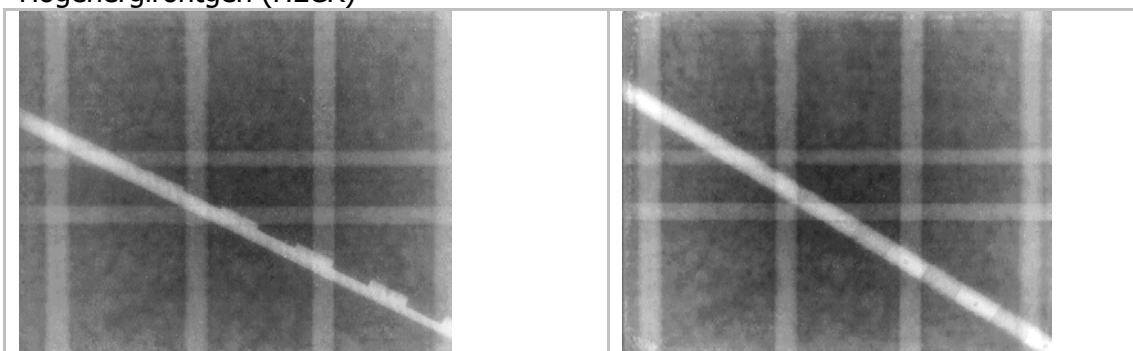
Ett antal undersökningar utfördes på provblock med hålrum, olika tjocklekar samt armeringskonfigurationer.



Vänster överst: Betatron och provblock i laboratorium. **Vänster nederst:** Skiss av ett provblock med spännkabelrör och hålrum i storlek från 15 mm till 70 mm. **Höger:** röntgenbild av provblock som visar 15 mm, 20 mm och 30 mm hålrum (mörkare områden) samt armeringsstänger. Observera hur tydlig röntgenbilden är, till och med spännkabelrörets tunna väggsidor syns.

Armeringsdetaljer

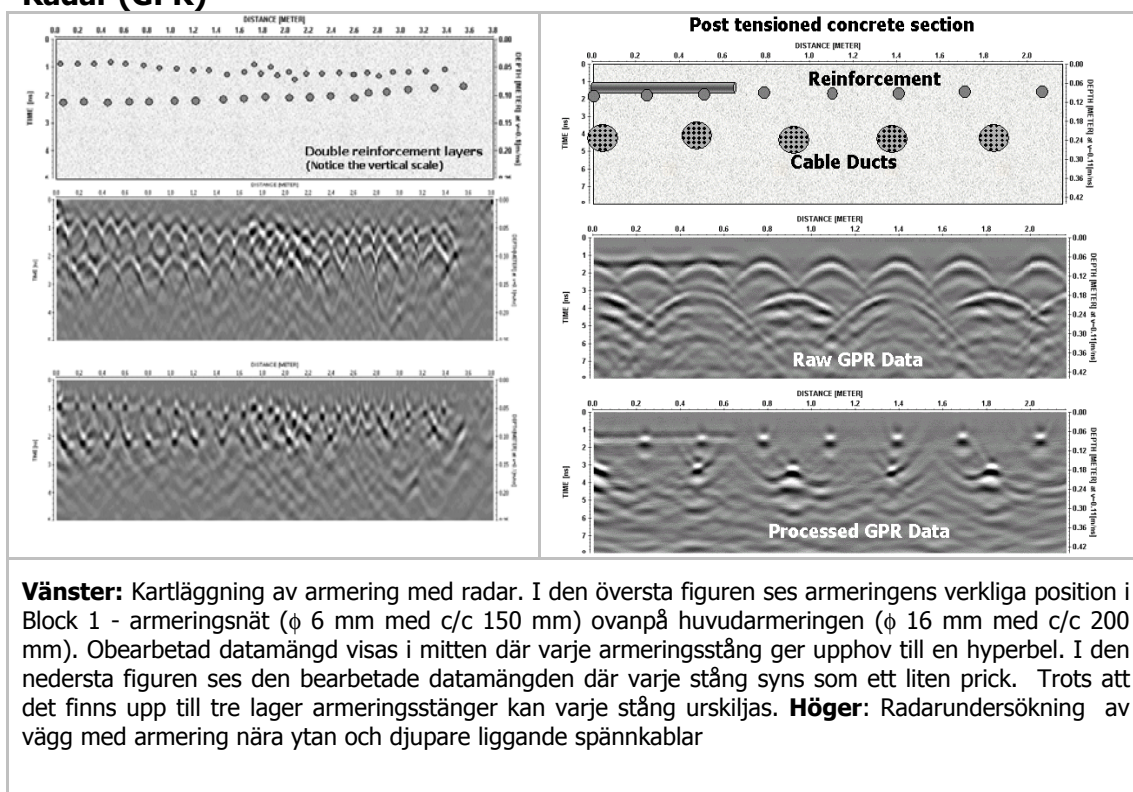
Högenergiröntgen (HECR)



Genom att mäta graden av svärtning på röntgenbilden är det möjligt att detektera ner till 10%-20% tvärsnittsförlust om bilden är tagen med strålningsriktningen parallellt med skadan. Om bilden är tagen vinkelrätt skadan kan en tvärsnittsförlust ner till 5% vara synlig. I bilderna ovan ser vi en ϕ 20 mm armeringsstång med varierande tvärsnittsförlust i 300 mm betong. Bilden till vänster visar ett tvärsnitt vinkelrät strålningsriktningen och bilden till höger ett tvärsnitt parallellt med strålningsriktningen.

En röntgenbild av armering kan ge en mycket detaljerad information. Armeringens diameter, djup, form, c/c-avstånd samt eventuella skador kan bestämmas.

Radar (GPR)



Projektdeltagare

Force Technology, Danmark	Peter Shaw, Jon Rasmussen, Torben Klit Pedersen, Oskar Klinghoffer
Malå GeoScience, Sverige	Christer Gustavsson, Johan Friberg
Luleå Tekniska Universitet, Sverige	Sten-Åke Elming
Vattenfall Utveckling, Sverige	Christian Bernstone
Vägverket I Danmark	Erik Stoltzner
Vägverket I Norge	Ian Markey
NCC Teknik, Sverige	Per-Olof Björkqvist
Islands råd för byggnadsforskning	Gisli Gudmundsson

För ytterligare information kontakta:

Benny Staaf, Force Technology, Tel 021-490 32 03 (Dir), bst@forcetechnology.se

Peter Shaw, Force Technology, Tel. (+) 45 2269 7208 (mob), (+) 45 43 267208 (Dir),

psh@force.dk