

# PROJEKTORSTÖDD AVSÖKNING OCH DOKUMENTATION



Bilden visar Peter Jonsson under mätningarna på LTH

**Peter Ulriksen**

**2015-09-21**

# FÖRORD

Föreliggande projekt baseras på en idé från Peter Ulriksen, rapportens författare, som också har stått för komponentvalen och projektledningen. Programmeringen har gjorts av Peter Jonsson i MATLAB, som med sina toolboxar är en lämplig utvecklingsmiljö, men kanske inte den man baserar en färdig produkt på. Patrik Fröjd har bidragit med kunskap om utformandet av grafiska användargränssnitt, sk GUI.

Författaren vill tacka Joakim Jeppsson och Hans Hedlund, båda SKANSKA, för att de stått faddrar för projektet. Likaså riktas tack till referensgruppen, som bl a kommit med den goda idén att försöka göra systemet trådlöst.

Sist, dock mest, riktas ett varmt tack till projektets finansiärer SBUF och ELFORSK (numera ENERGIFORSK), vilka har stött projektet till lika delar.

Lund 22 september 2015

# SAMMANFATTNING

När en stor yta skall undersökas med en metod som kräver att man anbringar någon typ av sensor mot ytan kan arbetet med att etablera det rutnät i vilket man avser mäta ta lika lång tid som själva mätningen. Rutnätet är nödvändigt för att mätningarna skall kunna dokumenteras. Detta projekt avser utveckling av en metod där rutnätet projiceras optiskt mot den yta som skall undersökas. Detta sker med hjälp av en videoprojektor som också kan användas för att projicera mätresultatet på ytan och för att mäta in företeelser i ytan, t ex spricksystem. Genom omedelbar projektion av mätresultat kan man också få information om var mätningen behöver förtätas. I syfte att kunna demonstrera tekniken, vilken kan användas för många olika typer av undersökningar, integreras den först med utrustning för instrumenterad bomknackning. Bomknackning är en väl accepterad metod vid undersökning av delaminering i betongkonstruktioner men har nackdelen att den är subjektiv och saknar dokumentationsmöjligheter.

Utvecklingsprojektet omfattar sammanställning av lämplig utrustning, hopkoppling av denna samt framställning av programvara för att styra datainsamlingen. Utöver detta tillkommer utrustning för digital fotografisk dokumentation av mätobjekt och mätresultat.

I projektet har vi sammanställt två system, dels det tunga enligt projektplanen, dels ett lättare system för att visa på utvecklingsmöjligheterna. Drivrutiner har endast framtagits för det tunga systemet, vars optiska prestanda ligger i absolut toppklass, viktigt för bl a sprickdokumentation. Vissa komponenter som kamera och projektor från det lättare systemet är dock användbara i det tunga.

På förslag från referensgruppen har också möjligheterna att införa trådlösa förbindelser mellan komponenterna särskilt studerats. Detta är infört avseende digital bildöverföring mellan kamera och dator. Vi har funnit utrustning för digital överföring av mätdata via Bluetooth, men denna är tyvärr ännu inte kompatibel med programmeringsspråket MATLAB. Därför sker mätdataöverföringen antingen via kabel mellan operatör och dator eller via analog radiolänk.

Det finns också en handhållen mus för trådlös kommunikation mellan operatör och dator. För kommunikation i den andra riktningen har programvaran försetts med möjlighet att via röstsyntes styra operatörens handlande.

Slutligen har ASTM-standarder för utvärdering av impedansdata implementerats.

# INNEHÅLL

1	BAKGRUND .....	4
1.1	AVSÖKNING.....	4
1.2	BOMKNACKNING .....	5
2	SYFTE.....	11
3	GENOMFÖRANDE .....	12
4	SYSTEMBESKRIVNING .....	17
4.1	TUNGA SYSTEMET MED FULL FUNKTIONALITET OCH MJUKVARA I MATLAB .....	17
4.2	LÄTTA DEMOSYSTEMET MED LÄGRE PRESTANDA OCH UTAN FULL FUNKTIONALITET ..	20
4.3	ÖVERFÖRING AV MÄTDATA MELLAN OPERATÖR OCH DATOR.....	21
5	UTVECKLAD MJUKVARAS FUNKTION .....	23
6	APPENDIX A: RESONEMANG VID VAL AV KOMPONENTER .....	28
7	APPENDIX B: VERKLIGA MÄTRESULTAT FRÅN LTH.....	33
	REFERENSER .....	51

# 1 Bakgrund

## 1.1 AVSÖKNING

Många undersökningsmetoder bygger på att en sensor av något slag anbringas mot en yta och utför en mätning. Ibland kan sensorn vara kombinerad med en aktuator, som t ex sänder in en akustisk signal i det undersökta objektet. Sådana mätningar vill man ibland utföra i stort antal punkter, antingen längs en linje eller över en yta. Om man önskar redovisa resultatet på ett tydligt sätt krävs det då att mätpunkterna är lokaliserade så att man kan presentera sina mätdata i en profil eller en karta. I de flesta fall innebär detta att man måste markera positioner på det undersökta objektet där mätningarna skall utföras. För ett litet antal mätpunkter låter detta sig göra med hjälp av måttband, men när antalet mätpunkter börjar närma sig ett hundratal, speciellt när mätningen skall ske i ett rutnät om flera kvadratmeter, blir detta arbete mycket tidskrävande och kan lätt ta lika lång tid som själva mätningen.

För vissa radarsystem har man utvecklat mattor med rutnät påmålade. En optisk sensor på radarantennen kan med hjälp av detta bestämma var antennen är och på så sätt lagra positionsinformation med mätdata. Det förekommer också att man sätter mätjul på antennerna. Därefter kan en tredimensionell återgivning av mätdata göras med hjälp av ett datorprogram. Om mätområdet är stort eller mätningarnas natur inte medger att man placerar något mellan sensorn och den undersökta ytan återstår bara den manuella metoden.

För utomhusmätningar i horisontalplanet i stor skala använder man GPS, s.k. real time kinematik (RTK) som medger positionering subcentimetern. Sådana system är inte tillgängliga inomhus och fungerar endast mot oskyddad himmel.

Vi står alltså inför problemet att på ett rationellt sätt markera undersökningspunkter i t ex en 2 x 5 meter stor väggyta med 10 cm mellan mätpunkterna. Det kan alltså vara frågan om 1071 mätpunkter (21 x 51). Ett stort antal mätmetoder kan dra nytta av en rationell lösning på detta problem, t. ex. bomknackning, Impact-Echo, korrosions- och ultraljudmätningar.

Utvecklingsprojektets ansats är att styra mätningen med hjälp av en videoprojektor. Endast mätområdets fyra hörnpunkter behöver anges om det är plant. Därefter räknar datorn om projektionen så att det projiceras ett rektangulärt rutnät på mätområdet. Därefter tänds en markering på den punkt på ytan som står i tur att undersökas. Videoprojektorn används också för att presentera mätresultatet direkt på den undersökta ytan. Parallellt registreras digitalt foto av den med vitt ljus belysta ytan samt av det projicerade mätresultatet. Dessa två bilder blir direkt jämförbara pixel för pixel, eftersom de är tagna från samma punkt med samma optik.

## 1.2 BOMKNACKNING

I syfte att introducera den nya avsökningstekniken måste den kombineras med en undersökningsmetod och därför integreras den inledningsvis med utrustning för instrumenterad bomknackning. Bomknackning är en klassisk metod att undersöka om betong är delaminerad (bom), eng. "bowsing". Metoden har stor acceptans bland dem som arbetar med byggande och underhåll av betongkonstruktioner, se nedan under "Genomförande". Nackdelen med metoden är att utvärderingen är helt subjektiv och att man inte får någon dokumentation av mätresultaten. Bomknackning är egentligen en variant av metoden Impact-Echo. De två fenomen som uppstår när man slår en hammare mot en betongyta är dels en "stående" våg vars frekvens är omvänt proportionell mot delamineringens tjocklek, dels en svängning, som i ett trumskinn, i hela den delaminerade ytan.

Uttrycket för IE-metodens fundamentala resonans "stående våg" (1)

$$f_0 = \frac{\beta \cdot C_p}{2 \cdot h} \quad \text{Ekv 1}$$

$\beta$  = Konstant som för en plattliknande struktur är 0.96. Hade IE mätt en stående våg skulle faktorn  $\beta$  ha varit 1, men randvillkoren komplicerar sambandet.

$C_p$  = Kompressionsvågshastigheten i materialet

$h$  = Det delaminerade skiktets tjocklek

Uttrycket för den första membranresonansen enligt (2)

$$f_0 = 0.47 \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho \cdot (1 - \nu^2)}} \cdot \frac{h}{d^2} \quad \text{Ekv 2}$$

$E$  = Elasticitetsmodulen N/m<sup>2</sup>

$\rho$  = Densiteten kg/m<sup>3</sup>

$\nu$  = Tvärkontraktionstalet (-)

$h$  = Delamineringens tjocklek (m)

$d$  = Delaminerade ytans diameter (m)

Det är den senare tonen man utnyttjar när man knackar bom, den förra tonen ligger i ultraljudområdet om man alls förmår excitera den med slaget. Frekvensinnehållet i det hörbara ljudet från slaget sjunker markant vid delaminering.

Man kan också se bomknackning som en punktimpedansmätning. Impedans är kvoten mellan hammarslagets kraft och betongytans resulterande hastighet. Det är ett mått på betongytans motståndskraft och för solid betong ett mått på betongens hållfasthet.

Sambandet med hållfasthet är dock unikt för varje betongblandning, huvudsakligen beroende på ballastskillnader. Impedansen är en frekvensberoende storhet.

Punktimpedans definieras som

$$Z = \frac{F}{v} \quad \text{Ekv 3}$$

F= kraft (N)

v= hastighet (m/s)

dess invers kallas mobilitet M

$$M = \frac{v}{F} \quad \text{Ekv 4}$$

Enligt (3) är mobilitet ett mått på hur lättexciterad en struktur är. Flera mobilitetsmått är relevanta

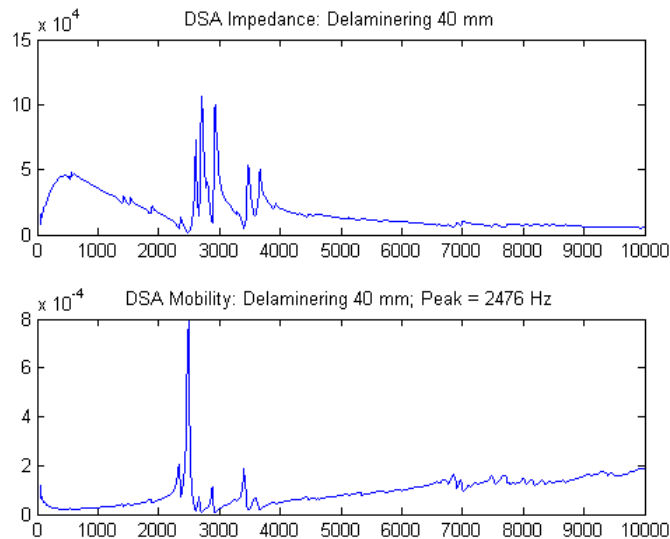
accelerans = acceleration / kraft Ekv 5

mobilitet = hastighet / kraft Ekv 6

eftergivlighet = rörelse / kraft Ekv 7

där den andra termen, impedansens invers, och den sista, invers arbetskurva är av särskilt intresse. Man stegar sig ner i listan genom att integrera rörelsedelen.

Nedan visas exempel på impedans och mobilitetsresultat vid mätning mot en delaminerad betongyta med tjockleken 40 mm. Många anser att mobiliteten ger ett tydligare utslag. När impedansen går mot noll framträder detta tydligare i den inversa mobilitetskurvan, som då går mot oändligheten. De presenterade mätdata kräver att vibrator och impedanshuvud fixeras till mätobjektet med lim. Metoden är alltså inte användbar när ett stort antal punkter skall mätas.



Figur 1. Impedans och motsvarande mobilitet uppmätt genom frekvenssvep.

I ett tidigare projekt utvecklades därför ett handtag som kombinerar kraftsensor och hastighetssensor, alltså ett impedanshandtag, Se Figur 2.



Figur 2. Närbild på det tidigare utvecklade impedanshandtaget t.v. som mäter både kraft i slaget och betongytans hastighet i slagriktningen. Dessa parametrar medger beräkning av betongytans impedans. Hammaren, en sk "Thorace dead blow hammer" är fylld med blykulor. Det gör den rekylfri, dvs inga studsar uppkommer. Det förlänger också impulstiden något.

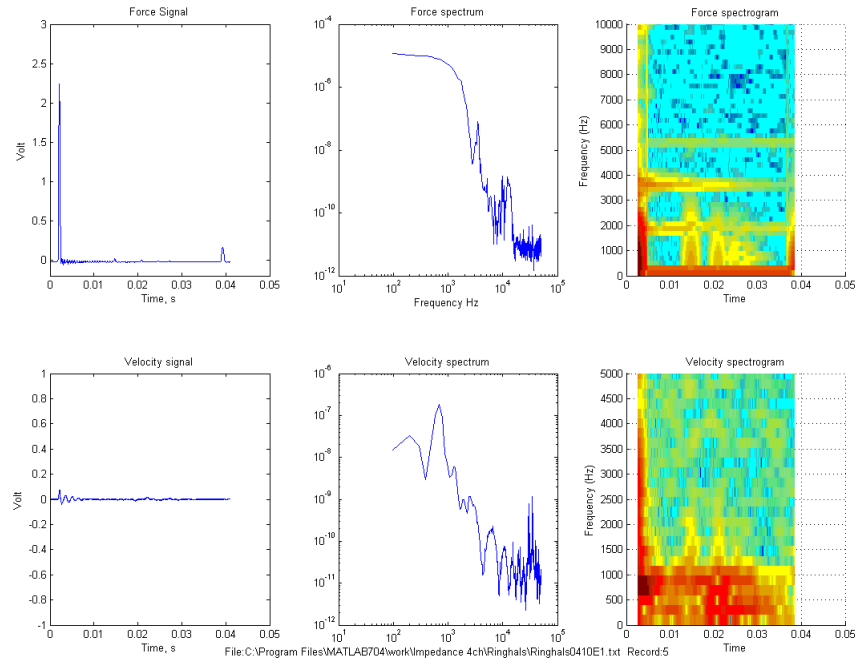
Det har vid tidigare fälttester i Ringhals 2011 visat sig att det även går att utföra enklare bomknackningsmätning med hjälp av hammare som slås direkt mot betongytan och en stationär mikrofon. Den stora fördelen med detta är att operatören endast behöver ha en vanlig snickarhammare utan sensorer och kablar i handen. Signalen överförs genom luften. Det enda man då kan basera utvärderingen på är den dominerande frekvensen i



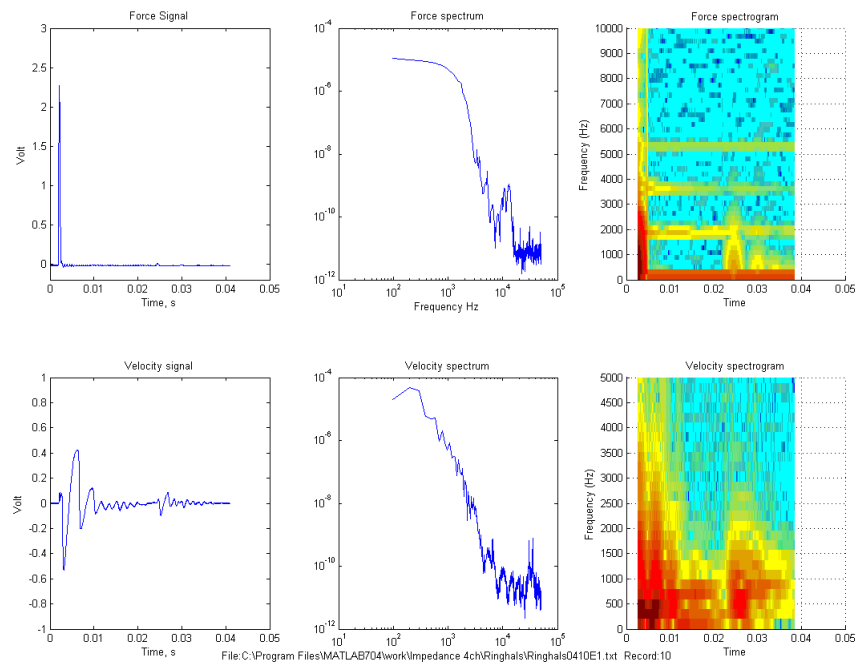
slaget. Denna är inte beroende av slagets styrka, utan styrs av Ekv 2 i vilken delamineringens tjocklek och utbredning är de avgörande faktorerna.

Slutsatsen av mätningarna i Ringhals var att de bästa metoderna att undersöka bom/delaminering är med hjälp av det tidigare utvecklade handtaget, samt mätning med oinstrumenterad snickarhammare och mikrofon.

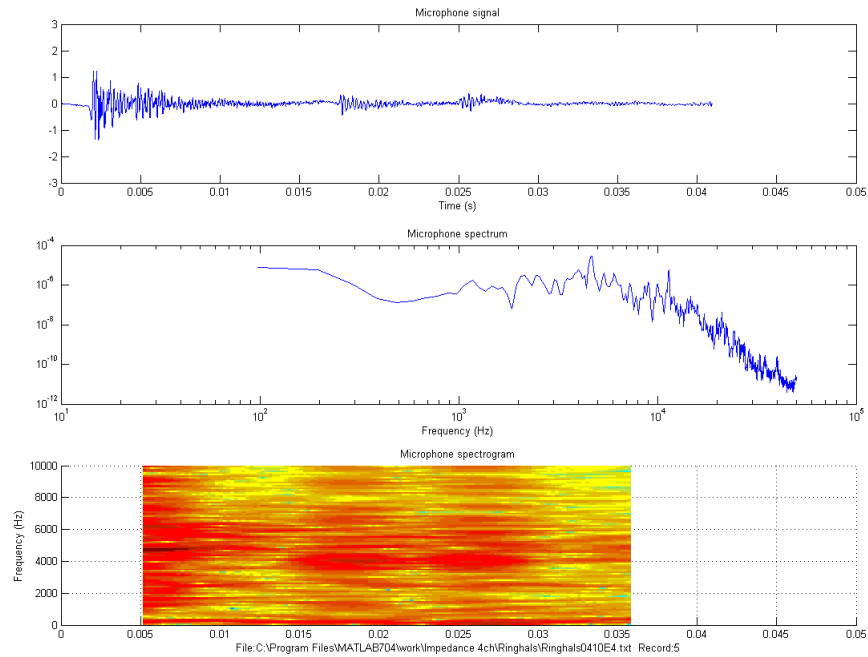
Tyvär gav det sämre resultat om man använde impedanshandtaget tillsammans med mikrofon. Punkt 5 var ett område med solid betong medan punkt 10 var tydligt delaminerad. Resultat från mätningar med impedanshandtaget visas nedan i Figur 3. Varje delbild visar på övre raden först uppmätt kraftsignal i tidsdomän, sedan hela kraftsignalens frekvensspektrum och sist dess spektrogram som är spektrumets funktion av tiden. I spektrogrammet är tiden på horisontella axeln och frekvensen på vertikala axeln. Rött är den starkaste frekvensen, blått den svagaste. På den undre raden visas hastigheten på motsvarande sätt. Notera den betydligt högre ythastigheten i punkt 10. I Figur 4 visas enbart mikrofonsignalen. Notera där den kraftiga förskjutningen av frekvensmaximum mot lägre frekvenser.



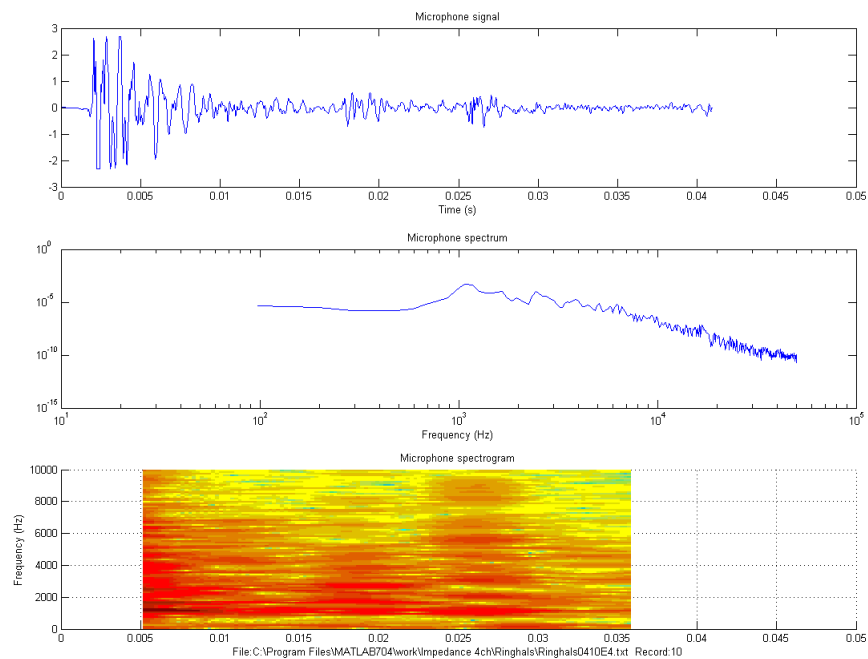
Ovan visas resultat från solid betong (p5), nedan resultat från delaminerad betong (p10)



Figur 3. Thorace hammare och kombinationshandtag som ger kraft och hastighet.



*Ovan visas resultat från solid betong (p5), nedan resultat från delaminerad betong (p10)*



*Figur 4. Slag med snickarhammare samt inspelning av ljudsignal från stationär mikrofon. Mätningen triggas igång av ljudpulsen från slaget. Den akustiska bakgrunds-nivån, som framgår av de första 2 ms data, ligger som synes långt under signalnivån från slaget. Ingen kraftsignal registreras och snickarhammaren behöver inte ha någon förbindelse med mätutrustningen.*

## 2 Syfte

Syftet med detta projekt är att utveckla en metod som på ett enkelt sätt utför arbetet att markera alla punkter som skall mätas vid en undersökning och lagrar insamlad information så att den kan repeteras och vidarebehandlas. Detta sker genom att punktmarkering och mätdatainsamling sker via en dator med tillkopplad videoprojektor som projicerar ett rutnät. Därigenom kan tid sparas, men man kan också förvänta sig en kvalitetsförbättring i mätdata genom att misstag elimineras. Genom att mätresultaten successivt projiceras på den undersökta ytan kommer man att få vägledning om var mätningen bör förtätas för att bättre beskriva skadesituationen. Detta medför möjligheter till ytterligare tidsbesparingar eftersom man kan börja med att undersöka hela ytan i ett gles rutnät och sedan förtäta det i de områden som uppvisar avvikelser.

Vidare är syftet att introducera denna metod på arbetsplatser. Det sker genom att en av de vanligaste undersökningsmetoderna, bomknackning, instrumenteras och integreras med metoden. Senare kan andra undersökningsmetoder kompletteras med programvara som gör det möjligt att använda projektormetoden för mätning, datainsamling och presentation av andra mätresultat, t ex ultraljudmätningar och registrering av amplituden för vibrationer som skapas av maskineri i den aktuella byggnaden. Delaminering antas återspeglas i att dessa vibrationers amplitud blir högre i de delaminerade områdena.

*När denna rapport författas har vi tyvärr inte hunnit med ovanstående introduktion på arbetsplats. Den kommer emellertid att genomföras inom ramen för de medel projektet har haft till sitt förfogande.*

Däremot har vi kunnat testa funktionen i källaren på V-huset vid LTH, där det har visat sig finnas en betydande delaminering i väggen till ett av de gamla, nu utrivna, klimatrutten. Dessa mätdata presenteras i Appendix B.

### 3 Genomförande

Arbetet avser integration av de tekniska komponenterna samt utveckling av de algoritmer som skall styra projektorn och datainsamlingen. Detta är huvudsakligen ett skrivbords- och laboriearbete, men det kompletteras med prov i verkliga konstruktioner.

Utöver detta kommer prototypinstrumentet att demonstreras på ett antal arbetsplatser. Det har visat sig att det är svårt att introducera ny teknik om de som avses använda den inte accepterar nyheten. Därför är det viktigt att slipa av funktionen genom sådana demonstrationer. Dessa skall alltså ske i god tid innan projektet avslutas.

God kontakt med kärnkraftverkens personal är etablerad efter ett möte med företrädare för personal vid samtliga svenska verk. Det ägde rum i Ringhals 17 mars 2009. Vid det mötet framkom att konventionell bomknackning är en vanligt förekommande metod trots dess lätt insedda brister. Företrädare för Vattenfall AB är intresserade av metoden och jämte Trafikverket landets största beställare av underhållstjänster i betongkonstruktioner. Andra intressentgrupper har identifieras via projektets och andra referensgrupper.

Inledningsvis används en projektor med konventionell ljuskälla, men i en kommande etapp införs en laserbaserad projektor om detta bedöms medföra fördelar. Dessa projektorer har den stora fördelen att eftersom de saknar linser är bilden alltid fokuserad till laserstrålens bredd, vilket är ett konstant vinkelmått. Detta angreppssätt motiveras med att laserprojektorerna behöver utvecklas ytterligare innan de förmår lysa upp tillräckligt stora ytor i ljusa rum.

Projektets ursprungliga delmål enligt ansökan framgår nedan i kursiv text. Delarna I-VI avser projektorstyrd avsökning medan delarna VII-VIII avser instrumenterad bomknackning. Måluppfyllelse och tillkommande funktionalitet kommenteras efter varje delmoment.

#### I

*Grundtanken i detta projekt är att man låter markeringarna vara virtuella. Det sker genom att man optiskt projicerar ett rutnät på den yta som skall undersökas. Enklast sker detta genom att man placerar en videoprojektor centralt framför mätområdet. Detta har emellertid den nackdelen att operatören kommer att skymma det projicerade rutnätet.*

Programvara för att projicera ett rutnät rakt framifrån är utvecklad. Rutnätet projiceras med ledning av de fyra hörnen i den yta som skall undersökas. Man måste välja hur många punkter rutnätet skall omfatta.

## II

*I en modern projektor finns det en s.k. keystone funktion, som låter projektorn befinna sig inom ett ganska stort område framför projektduken och ändå ge en rektangulär bild. Projektet syftar till att utveckla en digital projektionsomvandling som låter projektorn stå helt utanför den volym som den önskade projektionsytan utgör ena gaveln av. Om projektorn står en bit till höger om projektionsytan kommer en högerhänt operatör inte längre att skymma projektionsområdet nämnvärt.*

Keystone-funktionen är oftast digital. I vissa projektorer kan man markera fyra hörn, inom vilka bilden projiceras. I andra finns det kontroll för horisontell och vertikal keystone. Vertikal keystone innebär att projektorn kan stå under bildens centrumprojektion och ändå projicera en korrekt bild. Keystone är oftast implementerad i en bildprocessor som räknar om bilden till en delmängd av den tillgängliga, vilket gör att man förlorar upplösning i den delen av bildytan som inte används.

Utöver keystone-funktionen har vissa projektorer sk lens-shift. Det innebär att den projicerande linsen förskjuts på den optiska axeln. Det är samma funktion som i en bälgförsedd kamera med vilken man kan förskjuta linsen och dessutom luta den, för att kompensera för oönskade avbildningsfel, t ex oparallella linjer. Det finns också objektiv med sk perspective control, vilket är samma sak, fast utan bälg, projektorerna fungerar på likartat sätt. Den projektor som har störst lens-shift är en Epson med 42% lens shift. Målsättningen är att projektorn skall kunna stå på en punkt till höger om den yta som skall avsökas. För det krävs 100% lens shift och det verkar ingen projektor ha.

Ytterligare en projektortyp som skall nämnas är sk short-throw projektorer. De har en extrem vidvinkellins som tillåter att projektorn placeras några decimeter framför den yta bilden skall projiceras på. Dessa projektorer kan emellertid inte användas då projektorn måste stå mitt framför den belysta ytan och därför kommer att vara i vägen för operatören. Man skulle kunna använda dem med vridning av optiska axeln 90 grader, men då kommer bilden att bli rektangulär på höjden och man kommer att förlora mycket upplösning.

Därför har vi implementerat en egen funktion som motsvarar keystone, men som i princip saknar begränsningar i varifrån rutnätet projiceras, det blir ändå rätvinkligt på en plan yta. Den koordinattransformering som genomförs kan, om behovet uppstår, generaliseras till enkel och dubbelkrökta ytor, dvs en cylinder eller en sfär. Bilden kan projiceras på horisontella och vertikala ytor, t ex på en vägg eller ett golv.

Då Epson-projektor var stor och inte särskilt ljusstark har valet i stället blivit en kompakt och ljusstark projektor SANYO PLC-XU 106. Den väger drygt 3 kg, har måtten 330 x 250 x 80 mm och en ljusstyrka på 4500 lumen. Upplösningen är 1024 x 768 pixlar.

### III

*Vid snedprojektion kommer avståndet mellan den bilddel som ligger närmast projektorn att skilja sig flera meter från den del som ligger längst bort. Detta kan medföra fokuseringsproblem med vanliga optiska system (baserat på linser). På marknaden finns nu sk pico-projektorer som utnyttjar tre små laserkanoner och ett spegelsystem för att rita upp bilden. En sådan projektor saknar linser och fokus och skärpan behöver således inte ställas in. Bilden är skarp på alla avstånd. Dessa projektorer är fortfarande ganska ljussvaga och lyser upp en bild med en diagonal av 2.5 m i ett rum med dämpad belysning. Prestanda kommer naturligtvis att förbättras.*

Det enda företag som tillverkade laserbaserade pico-projektorer var Microvision Inc. I USA. De lyckades emellertid aldrig höja ljusstyrkan i sin produkt, den uppgick till 10 lumen. Då projektorerna såldes för billigt i syfte att öka marknadsandelen har företaget försvunnit från marknaden för pico-projektorer. När denna rapport författas meddelas att Lenovo tagit upp tillverkning av laserbaserade projektorer för inbyggnad i konsumentelektronik. Det är således möjligt att laserprojektorer återkommer på marknaden. Philips har emellertid lanserat en LED-baserad picoprojektor med ljusstyrkan 100 lumen och en sådan har i demonstrationssyfte skaffats till projektet. Den utgör en del av det vi kallar det lätta systemet.

### IV

*Den under II nämnda digitala projektionsomvandlingen kräver indata för att kunna fungera. De skaffas genom att man markerar undersökningsområdets fyra hörnpunkter, de bör vara hörnen i en rätvinklig rektangel. Därefter riktar man in projektorn så att den med vitt ljus kommer att belysa ytan mellan de fyra punkterna så nära som möjligt. Datorprogrammet ber därefter operatören att markera den övre, vänstra hörnpunkten (ÖV) med markören och klicka den. Därefter sker samma sak med ÖH, NV och NH. Med dessa fyra punkter kan algoritmen räkna om bildkoordinaterna i den bild som skall projiceras så att den projicerade bildens hörn sammanfaller med den på väggen markerade rektangulära ytan. Datorn tändes nu ett rutnät som markerar alla de beställda undersökningspunkterna. Skulle man projicerat den omräknade bilden på en yta rakt framför projektorn skulle den ha haft sneda vinklar och de horisontella sidorna skulle inte ha varit parallella. Rutorna skulle inte vara lika stora. Men sett från en punkt rakt framför den projicerade bilden är rutnätet rektangulärt och alla rutor är lika stora och fyrkantiga.*

Denna funktion är implementerad i mjukvara. Den har kompletterats med en version som innebär att man har en mall, säg 1 x 1 m med sig som fästs mot väggen i den orientering man vill att rutnätet skall ha. De fyra punkterna hämtas från denna mall. Därefter talar man om hur många punkter man vill att det skall finnas i rutnätet och hur stora rutorna skall vara. Därefter projiceras rutnätet på den yta som skall undersökas. Fältprov får utvisa vilken metod som är att föredra eller om kanske båda skall behållas.

## V

*Nu tändes datorprogrammet en blinkande cirkel kring den första mätpunkten och anbefaller en mätning. Operatören placerar sensorn där och genomför rutinen för varje mätpunkt. Denna rutin beror naturligtvis av vad det är för sensor man använder. När mätningen i en punkt är klar signalerar operatören detta med en knapp förbunden med datorn. Den blinkande cirkeln ersätts nu med en färgfylld cirkel där färgen indikerar resultatet av mätningen. En ny blinkande cirkel tänds och operatören fortsätter sina mätningar. Efterhand som mätningarna fortskrider kommer resultatet att målas upp på den avsökta ytan av videoprojektorn. När hela ytan är avsökt interpolerar datorn alla mätvärdena till en kontinuerlig färgbild som projiceras. Nu kan intressanta områden markeras på den undersökta ytan, t ex med sprayfärg.*

Dessa funktioner är implementerade i mjuk- och hårdvara. Då referensgruppen föreslog att kommunikationen mellan systemkomponenterna borde vara sladdlös finns det en handhållen mus med styrkula som innebär att man kan manövrera datorns cursor med ena handen. Denna styrkula har sladdlös förbindelse med datorn.

## VI

*Operatören går undan. En digital kamera kopplad till datorn tar därefter en bild av den på mätområdet projicerade bilden. Därefter växlar projektorn till att återigen projicera vitt ljus. Nu belyses alltså objektet med vitt ljus och den digitala kameran tar en bild av väggytan och dess alla egenheter och markeringar. Med dessa två bilder går det lätt att i efterhand identifiera var på det undersökta objektet mätvärdena anger en avvikelse. I detta skede kan man också tänka sig att man med cursorns hjälp mäter in sprickor och andra karaktäristiska objekt i mätområdet.*

Den potentiella möjligheten att mäta in sprickor och behovet av att kunna dokumentera den yta som undersökts gjorde att största möjliga upplösning eftersträvades i kameran. Valet föll då på en Nikon 800E, vilken har 7360 x 4912 pixlar. Då fotografering på kort avstånd blir aktuellt valdes det ryktbara ultravidvikelobjektivet Nikon 14-24 mm/f/2.8, som alltså är ett zoomobjektiv, vilket gör att upplösningen kan utnyttjas optimalt. Till denna kamera finns också en trådlös fjärrstyrning, vilken gör att kameran, när den väl startats, kan skötas helt från datorn. Även de stora bildfilerna kan överföras trådlöst. Detta tar visserligen lite tid, men det är endast två bilder som skall lagras för varje mätområde. Mjukvaran för att styra kameran är en Nikonprodukt. Den är öppen i ett annat fönster i datorn än det som projiceras på undersökningsområdet. Med den ovannämnda trådlösa styrkulan kan sprickor mätas in punktvis. Hur detta skall ske blir föremål för studier vid fältprov.



## VII

*Med stöd av ELFORSK har instrumenterad bomknackning utvecklats så långt att det finns ett handtag som medger att kraft i slaget och betongytans resulterande hastighet kan mätas. Dessa två storheter är tillräckliga för att punktimpedansen skall kunna beräknas. Detta är en frekvensberoende storhet och ofta ersätter man detta med kvoten av de största uppmätta värdena för kraft respektive hastighet. Ur den registrerade hastighetsfunktionen kan betongens resonansfrekvens bestämmas. Punktimpedansen signalerar delaminering och för solid betong är den ett kvalitetsmått. Utvecklingsarbetet avser att utveckla algoritmer som ger robusta värden på mätta och beräknade storheter. Metoden kräver kablage mellan handtag och dator, däremot inte nödvändigtvis kablage till hammaren.*

Algoritmer är också framtagna för att beräkna flera ASTM-standarder.

För en bild på impedanshandtaget, se Figur 2, s 11.

## VIII

*Ett första försök i ett tidigare ELFORSK-projekt visade att signifikant information kan inhämtas med en mikrofon uppställd framför mätobjektet. Detta innebär att man kan utföra bomknackningen med en vanlig hammare och att denna inte behöver anslutas till datorn. Datainsamlingen startas av ljudet från slaget. Signalen registreras med sk pre-trigg, vilket gör att hela slagförloppet registreras. Det går inte att beräkna den fysikaliska storheten punktimpedans på detta sätt, men arbetet blir mycket ledigare, vilket kan vara av stor betydelse om antalet mätpunkter är stort. Den enda parameter som kan mätas säkert vid vanligt hammarslag utan förbindelse med datorn, är frekvenstoppen i det registrerade ljudet.*

Programvaran som utvecklats för datainsamlingen kan registrera upp till åtta kanaler. Ju fler kanaler desto lägre samplingshastighet blir det i varje kanal. Det går alltså utmärkt att ansluta en mikrofon till en kanal. Man kommer då att täcka in hela det akustiska området, då den högsta frekvensen man kan registrera är knappt 25 kHz. Det innebär att man inte kan registrera den stående vågen som uppstår enligt impact-echo-principen, men väl alla fenomen som är förknippade med vanlig bomknackning, som ju av nödvändighet är begränsad till det akustiska området 20Hz – 20 kHz.

För en bild på mikrofon och ICP-förstärkare, se Figur B7, s 42. (Appendix B).

## 4 Systembeskrivning

Då projektet kan genomföras med en stor del komponenter som är kommersiellt tillgängliga har en omfattande del av arbetet utgjorts av identifiering av dessa. Projektet är baserat på den kraftfullaste tekniska utrustningen som inom rimliga ekonomiska gränser gått att få tag på. Parametern vikt har inte ingått i dessa val. Emellertid är utvecklingen snabb inom området. Vi har därför också skaffat komponenter till ett lättare system, vilket inte har lika höga prestanda och för närvarande inte full funktionalitet, men som i delar kan tjäna som exempel på vad framtiden kan tänkas erbjuda. Detta gör vi för att den nuvarande tekniska utrustningens omfattning inte skall verka avskräckande på de tilltänkta operatörerna. Det finns således två system, men operatörsdelen är i huvudsak samma. Det som mest skiljer systemen åt är vikten. Medan det tunga systemets centrala komponenter väger 12 kg, väger det lätta systemet centrala komponenter 5 kg. Gemensamt för båda systemen är då två stativ med sammanlagd vikt av 4 kg.

### 4.1 TUNGA SYSTEMET MED FULL FUNKTIONALITET OCH MJUKVARA I MATLAB

Systemets stationära del består av följande komponenter:

- Panasonic CF-19 Toughbook, laptop-dator (2.3 kg)
- Sanyo PLC-XU106 Videoprojektor 4500 lm, 1024 x 768 (3.7 kg)
- Nikon D800E digitalkamera med fjärrstyrning och vidvinkelzoom 14-24 mm f/2.8 (2 kg)
- Stationär mikrofon
- Två stycken kolfiberstativ med panoramahuvud (2+2 kg)



Figur 5. Laptop, videoprojektor och fjärrstyrd Nikon 800E (wifi)

Operatörsdel:

-Sladdlös styrkula (musfunktion)

och

-Hammare instrumenterad med kraftgivare och förstärkare

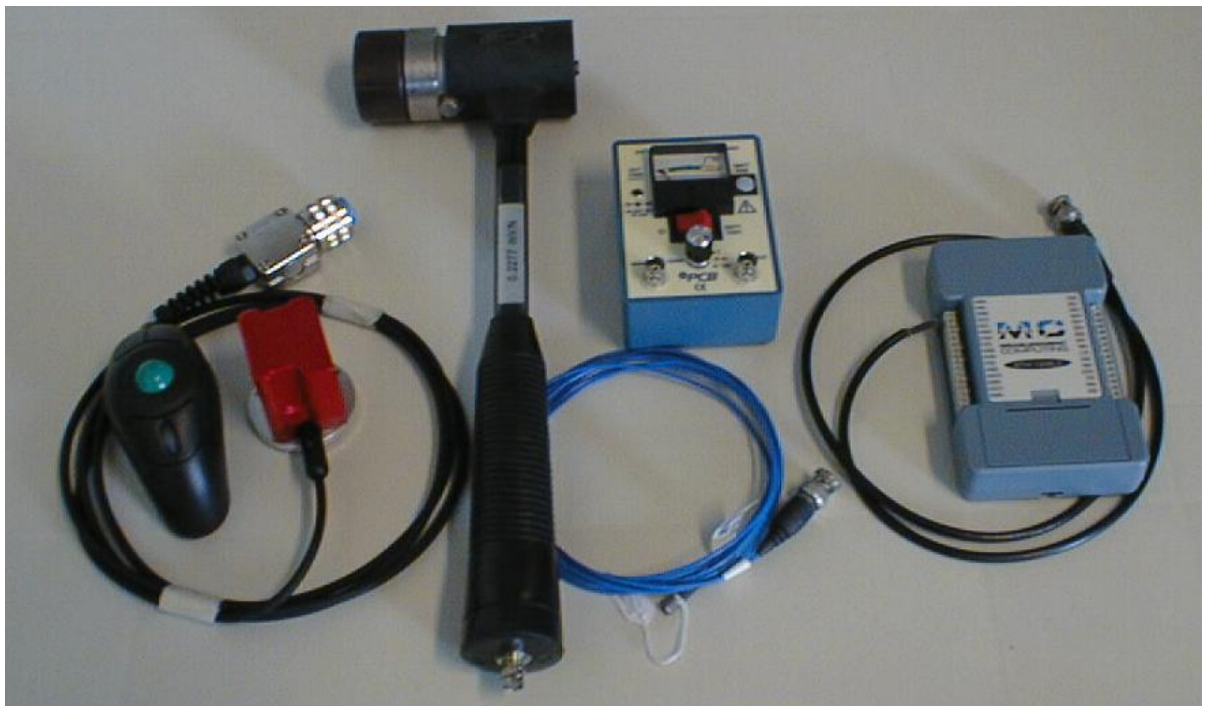
-Geofon (hastighetsgivare)

-AD-omvandlare

alternativt

-Kombinationshandtag kraft/hastighet (impedanshuvud)

-AD-omvandlare



Figur 6. Trådlös, handhållen styrkula (Bluetooth), hastighetsgivare(röd), hammare med kraftgivare, ICP-förstärkare till kraftgivaren, trådlös MCC AD-omvandlare (Bluetooth)

#### 4.2 LÄTTA DEMOSYSTEMET MED LÄGRE PRESTANDA OCH UTAN FULL FUNKTIONALITET

Läsplattan kan kommunicera trådlöst med AD-omvandlare och Lumix-kameran. Ingen programvara för att styra projektorn är utvecklad (Androidmiljö).

MATLAB kan inte köras på denna typ av läsplatta. En Windows-läsplatta kan däremot göra det. Den visade läsplattan levererades i paket med Lumix-kameran.

Systemets stationära del består av följande komponenter:

- Acer Iconia B1 läsplatta (0.2 kg)
- Panasonic Lumix GM kamera 12-32 mm f 3.5-5.6, 4592 x 3448 pixlar (0.3 kg)
- Philips PicoPix PPX-3610 projektor 100 lm, 854 x 480 (0.3 kg)
- Två stycken kolfiberstativ med panoramahuvud

Befintlig läsplatta kan kommunicera med såväl kameran som med den trådlösa MCC AD-omvandlaren. Operatörsdelen är samma som för det tunga systemet



Figur 7. Huvudkomponenter i det lätta systemet: Läsplatta, picoprojektor och kamera

#### 4.3 ÖVERFÖRING AV MÄTDATA MELLAN OPERATÖR OCH DATOR.

Hammaren kräver en sk ICP-förstärkare för att kraftsignalen skall kunna digitaliseras, medan geofonens signal kan digitaliseras direkt. Mikrofonen kräver också en ICP-förstärkare. ICP-förstärkaren driver den elektronik som sitter i kraftsensorn och mikrofonen och alstrar den signal som man vill mäta. Mikrofonsignalen överförs genom luften rent akustiskt och mikrofonen och ICP-förstärkaren kan därför stå vid datorn.

Överföring kan ske antingen med kabel eller sladdlöst. Det finns flera alternativ. Om kabel används kommer signalerna från operatören att ledas till en AD-omvandlare vid datorn alternativt hos operatören. Placeras AD-omvandlaren vid datorn kommer det att löpa två kablar mellan operatören och datorn/projektorn, som är samlokaliserade.

Vi har funnit två möjligheter att överföra mätdata trådlöst. Det ena är en AD-omvandlare från Measurement Computing med beteckningen BTH-1208 LS. Det betyder att den överför 8 kanaler mätdata med 12 bitars upplösning med hjälp av Bluetooth. Sammanlagda digitaliseringsförmågan är 50 kSa/s. Det är alltså maximal hastighet i en kanal. Med två kanaler sjunker samplingshastigheten till 25 kSa/s osv. Apparaten kan då vara placerad hos operatören medan datorn mottar signalerna via Bluetooth. Tyvärr har denna smidiga lösning ännu inte någon färdig drivrutin för kommunikation med MATLAB. Vi förväntar oss att detta problem kommer att lösas.

Det andra är en överföring av audiosignal i stereoformat över en analog radiolänk tillverkad av Atlantic Technology WA-50. Det finns en sändarmodul på operatörssidan och en korresponderande mottagare på datorsidan. Signalen mottages i analog form och måste sedan omvandlas till digital vid datorn. Radiolänken introducerar ett högfrekvent brus som gör direkt digitalisering omöjlig då man i så fall skulle göra våld på samplingsteoremet som säger att man måste ha minst två sample per cykel i den signal som skall digitaliseras. Man kommer runt problemet genom att montera lågpasfilter i de två kanalerna. Denna typ av lösning är vanlig i musikindustrin, så det finns alternativ. Atlanticsystemet är mycket kompakt jämfört med många av dessa.

Hemsidor med ytterligare information

Toughbook: <http://www.manualslib.com/manual/118616/Panasonic-Cf-19.html>

SANYO: [http://www.projectorcentral.com/pdf/projector\\_manual\\_5315.pdf](http://www.projectorcentral.com/pdf/projector_manual_5315.pdf)

Nikon: [http://cdn-10.nikon-cdn.com/pdf/manuals/dslr/D800\\_EN.pdf](http://cdn-10.nikon-cdn.com/pdf/manuals/dslr/D800_EN.pdf)

Nikon: [http://www.nikon.se/microsites/brochure/nikkor\\_lens/Nikkor\\_Lenses\\_SV.pdf](http://www.nikon.se/microsites/brochure/nikkor_lens/Nikkor_Lenses_SV.pdf)

Philips: [http://download.p4c.philips.com/files/p/ppx3610\\_eu/ppx3610\\_eu\\_dfu\\_eng.pdf](http://download.p4c.philips.com/files/p/ppx3610_eu/ppx3610_eu_dfu_eng.pdf)

LUMIX: [ftp://ftp.panasonic.com/camera/dmcgm1k/dmc-gm1k\\_en\\_om.pdf](ftp://ftp.panasonic.com/camera/dmcgm1k/dmc-gm1k_en_om.pdf)

ACER: [http://www.phonearena.com/phones/Acer-Iconia-B1\\_id7622/manual](http://www.phonearena.com/phones/Acer-Iconia-B1_id7622/manual)

## 5 Utvecklad mjukvaras funktion

En målsättning med projektet har varit att mjukvaran skall skrivas i ett för ingenjörer tillgängligt programspråk. Syftet med detta är att underlätta tillägg och modifiering av mjukvaran.

MATLAB är en sådan utvecklingsmiljö, som innehåller färdigutvecklade rutiner i form av s.k. *toolboxar*. T ex finns det sådana för att göra de koordinattransformationer som krävs för att vid snedprojektion åstadkomma rätvinkliga figurer.

Mjukvaran har för närvarande följande funktionalitet:

- Val av registreringsparametrar (geofon/accelerometer, förstärkning, samplingshastighet, signallängd)
- Val av antal mätpunkter i och utformning av rutnätet
- Vilken aspekt av signalutvärderingen som skall visas
- Kalibrering av av mätområdet med hjälp av kända punkter
- Uppritning av rutnät
- Anvisning av nästa mätpunkt
- Presentation av registrerade mätdata för acceptans / förkastning
- Presentation av preliminärt resultat i punkten i fix färgskala
- Presentation av interpolerad, global resultatbild i universell, optimerad färgskala

Programvaran lagrar de beräknade aspekterna på signalen (f.n. värden beräknade ur mobilitetsspektrum enligt enligt ASTM C1740-10 samt ett impedansmått, *Peak Level Ratio*, beräknat som en kvot mellan största kraft och motsvarande hastighet i signalen). Vidare lagras obehandlade signaler från kraft- och hastighetsgivare eller accelerometer uppgifter om tid och projekt m.m.

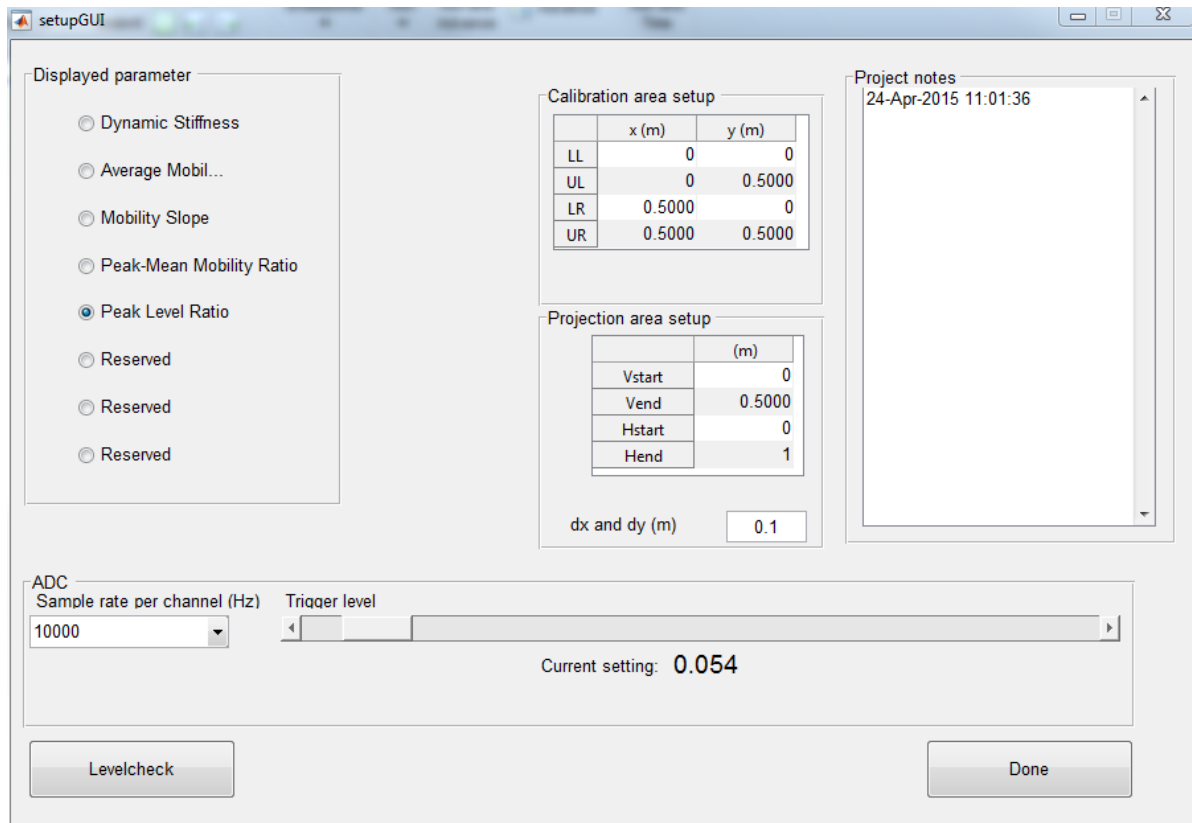
MATLAB har de fördelar som beskrivs ovan, men en nackdel är att man inte har fullständig kontroll över grafiken i datorns bild. När projektet nått längre kan det därför bli aktuellt att koda mjukvaran i annat språk.

Operatören möts av ett antal Graphical User Interfaces - GUI när mjukvaran används.

Det första GUI visas i bilden nedan (setupGUI) och medger val av parameter som

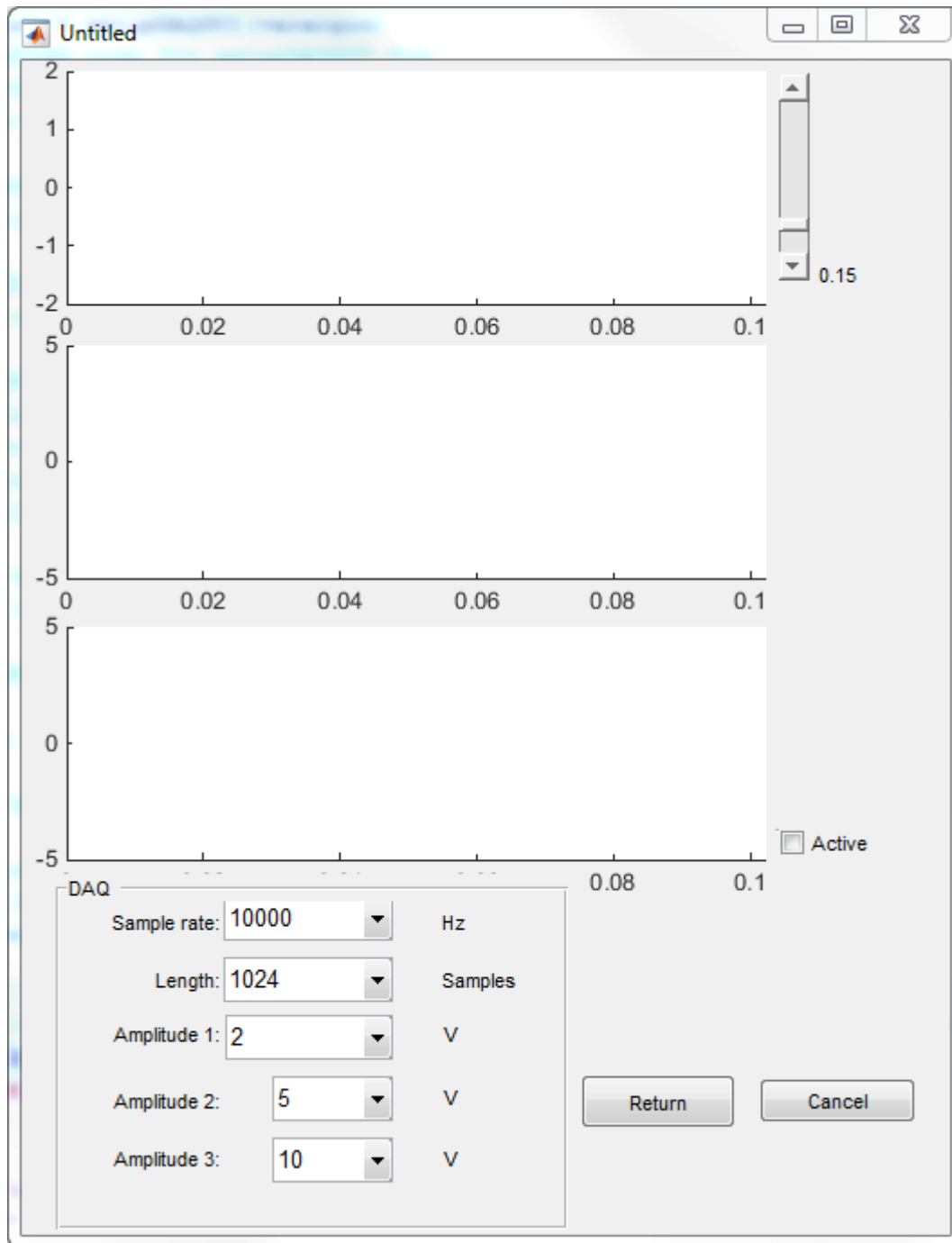


beräknas vid interpolering av resultatbilden (rådata lagras, så efterbearbetning är möjlig). Man kan också påverka hur rutnätet skall utformas och hur många rutor det skall ha, alternativt hur stora de skall vara. Man ställer även in vilken samplingshastighet AD-omvandlaren skall arbeta med.



I denna GUI väljer man de fundamentala parametrarna för undersökningen: Vilken parameter som skall visas, ytan som skall avsökas och hur snabbt AD-omvandlaren skall sampla. Eftersom AD-omvandlaren startas av hammarslaget måste man också ställa nivån när detta skall ske (Trigger level).

Om man inte känner till vilken samplingshastighet som skall användas kan man klicka på rutan "Level check" varpå nedanstående GUI framträder.



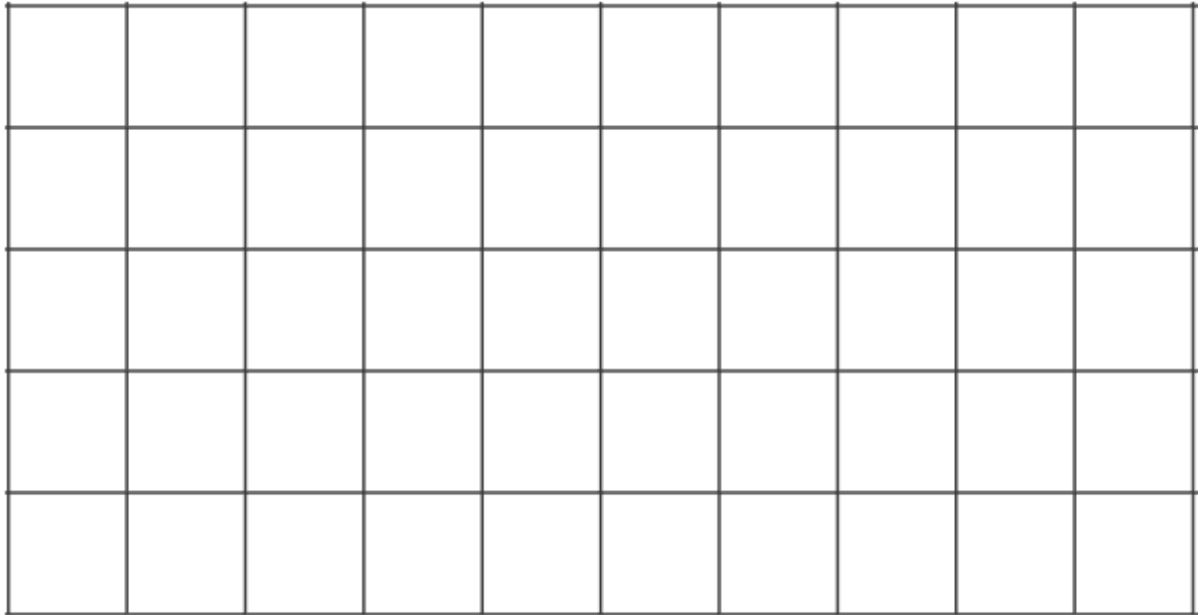
Med denna GUI kan man prova sig fram till slagstyrka och inställningar som matchar.

Om man klickar i rutan "Active" kommer signalen i en tredje mätkanal att framträda.

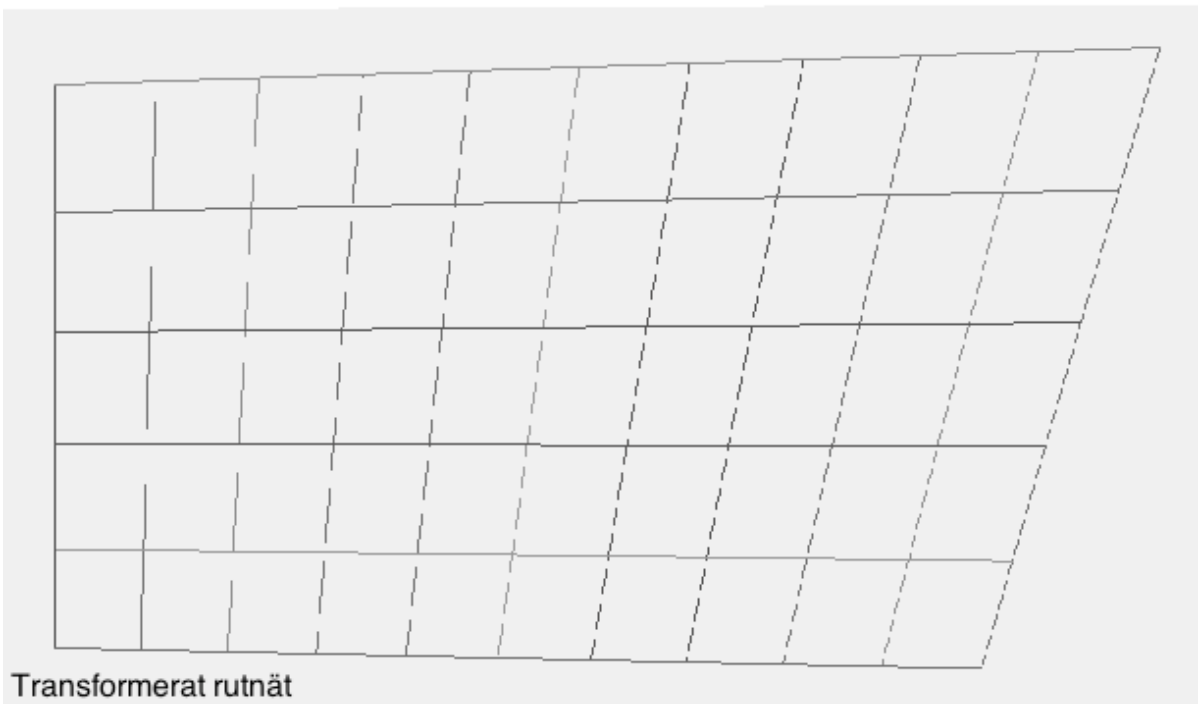
GUI medger också att man ställer mätområdet i de tre mätkanalerna.

När dessa inställningar är klara tänds ett hårkors över hela bildytan och man placerar därefter detta i de fyra hörnpunkter man valt för mätområdet eller i en referensytas hörnpunkter om man valt den metoden. I det senare fallet kan man specificera rutornas storlek. En datorgenererad röst talar om för operatören att denna input efterfrågas.

Därefter tänds rutnätet och den första mätpunkten markeras. Det projicerade rutnätet är skevt, men då man står framför rutnätet på den yta som skall undersökas är det rätvinkligt och fyrkantigt. Se exempel nedan.



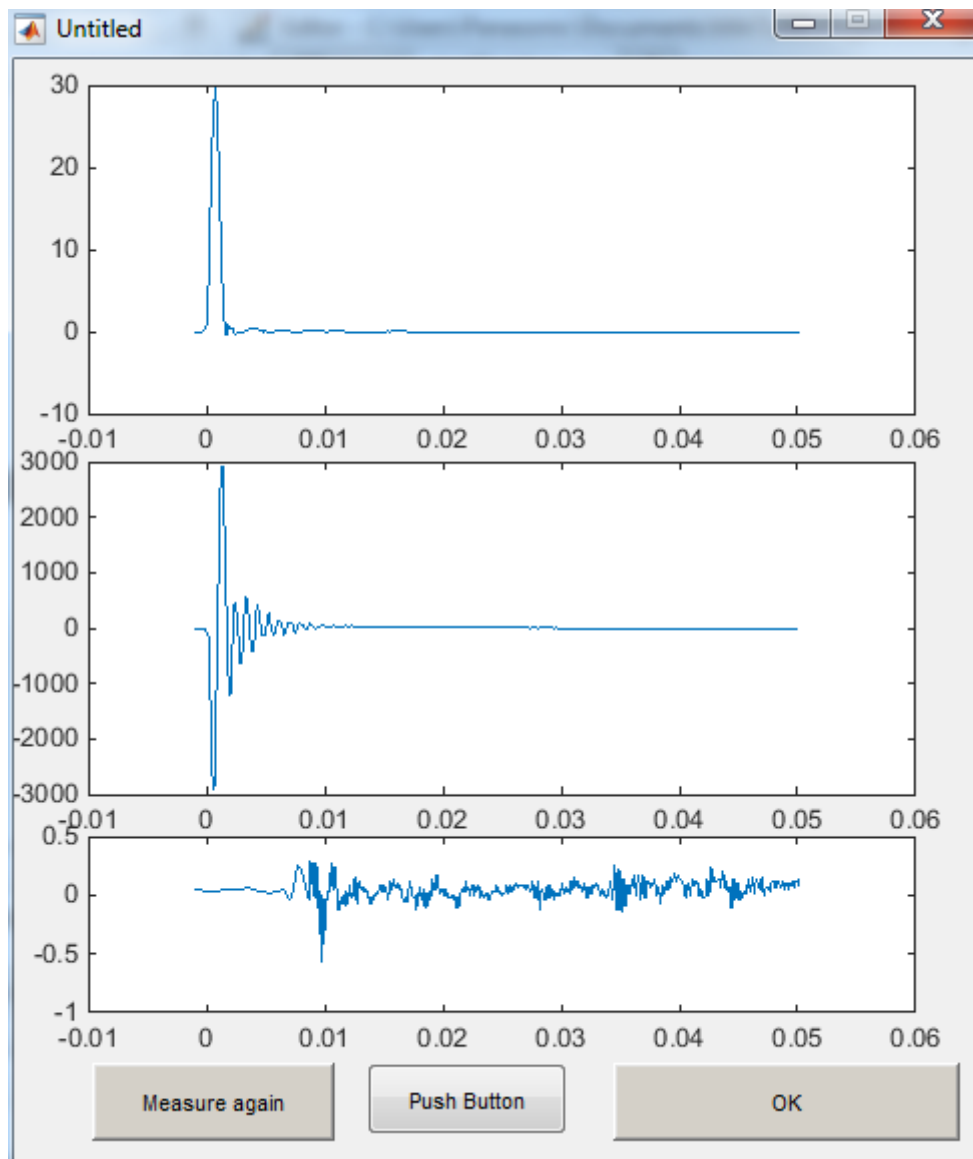
Definierat rutnät



Transformerat rutnät

Efter varje slag tänds ett nytt GUI ovanpå rutnätet och det visar de registrerade signalerna. Skulle de vara tillfredställande klickar man OK och rutnätet kommer åter fram med nästa punkt markerad. Är signalerna felaktiga klickar man på "Measure

again” och då indikeras den mätta punkten ånyo. Om en registrerad signal är överstyrd markeras punkten röd och hörs rösten ”Channel x is clipped” och man får göra om slaget. Annars är de markerade punkterna blå.



Denna GUI presenteras alltså operatören efter varje slag. Överst visas signalen från hammaren (kraft), i mitten signalen från geofonen (hastighet) och underst signalen från en eventuellt ansluten mikrofon. Klickar man OK flyttar rutnätets markör sig till nästa position.

Klickar man ”Measure again” indikeras punkten på nytt och mätningen görs om.

## 6 Appendix A: Resonemang vid val av komponenter

### -Dator

Datorn är vald för att vara kompakt och oöm. Den har också en god uppsättning in/ut-portar.

Panasonics Toughbook CF-19 är en slags *de facto* standard i branschen när det gäller fältdatorer. Vi har flera års god erfarenhet av modellen. Enda begränsningen är att det inte finns bakifrån belyst tangentbord.

### -Videoprojektor

Videoprojektorn kommer att projicera bilder snett, vilket innebär att bildens inte kan vara fokuserad över hela ytan om den projiceras med linser. Alla videoprojektorer utom de som använder laserstrålar som vinklas över bildytan med ett spegelsystem är optiskt fokuserade med linser. En laserprojektor vore därför optimal för det aktuella syftet. Tyvärr har tillverkarna ännu inte kommit med tillräckligt ljusstarka modeller, men nyligen har Lenovo meddelat att de tar upp tillverkningen av sådana projektorer. Marknaden för andra videoprojektorer undersöktes under perioden 2013-2014.

Det finns, som tidigare nämnts, en kategori projektorer som har sk "short-throw"-optik, vilket innebär att bilden kan projiceras från ett avstånd i storleksordningen en halv meter från den yta bilden skall falla på. Dessa projektorer måste ställas upp rakt framför arbetsytan och hamnar därför i operatörens arbetsområde. De måste antingen ställas på golvet eller hängas i taket om man vill mäta på en vägg.

Det finns också interaktiva projektorer som medger att man ritar i en projicerad bild och lagrar den kompletterade bilden i datorn via en kamera i projektorn.

De begrepp som är viktigast för projektets syfte är ljusstyrka, keystone, lens-shift, optisk zoom och vikt. Epsons projektor EH-TW3200 med det bästa lens-shift värdet på marknaden (47.1%) var inte särskilt ljusstark (1800 lm) och rätt stor och tung (7.3 kg). Keystone-funktionen implementerar vi i mjukvara i datorn.

Projektorvalet styrdes av kombinationen hög ljusstyrka och låg vikt. Den valda projektorn Sanyo PLC-XU106 hade vid valet det bästa förhållandet mellan dessa parametrar 4500 lm och 3.5 kg.

För att illustrera vad framtiden kan föra med sig i form av ett mer kompakt system har vi också valt en Philips PicoPix projektor med en ljusstyrka på 100 lm. Denna har bättre

ljusstyrka än de laserprojektorer i picoformat som har funnits på marknaden men den har inte laserprojektorns egenskap att vara fokuserad på alla avstånd. Däremot är den mycket liten.

-Kamera

Kameran placeras rakt framför mätområdet om det är en vertikal yta. Det är alltså fråga om konventionell fotografering. Syftet är att dokumentera mätdata med samma bildgeometri som en konventionell bild av det undersökta området. För detta räcker en kamera med måttlig upplösning. Önskemålet att även kunna använda kameran för att dokumentera sprickor gör emellertid att man måste finna en kamera med maximalt förhållande mellan optisk upplösning och kostnad/vikt. (Inledningsvis föll valet på en uEye iDS industrikamera, men det visade sig olämpligt av två skäl. Dels fordrade kameran förbindelse med USB-kabel, dels saknade den autofokusfunktion. Bländarautomatik fanns dock.) Denna optimering av upplösning vs kostnad/vikt innebär också att vi håller höjd för andra tillämpningar, som t ex bestämning av mätytans topografi via ett projicerat rutnät. Därutöver måste kameran kunna kommunicera trådlöst med datorn som styr mätförloppet. Syftet med det är att alla relevanta data skall kunna samlas i en datafil. Det innebär också att kameran kan exponera utan skakningar, vilket hjälper till att förbättra skärpan i bilden.

När valet gjordes 2014 var Nikon 800E en sådan kamera, kanske den bästa. Bokstaven E står för att anti-alias-filtret är borttaget. Därigenom förbättras upplösningen jämfört med kameravarianten Nikon 800.

Kameran kan styras sladdlöst via wifi och data kan överföras. Sökarbilden kan studeras i datorn och foto tas kontrollerat från datorn. Den mjukvara som sköter detta är utvecklad av Nikon och löper parallellt i ett annat fönster i datorn.

För att illustrera vad framtiden kan föra med sig i form av ett mer kompakt system har vi också valt en kompakt Panasonic Lumix kamera. Den har inbyggt wifi och levererades med en ACER Android läsplatta från vilken kameran kan styras. Läsplattan kan också kommunicera med den trådlösa AD-omvandlaren från Measurement Computing BTH-1208 LS.

Vad framtiden redan fört med sig är att Canon kommit med en kamera EOS 5DS R med ännu högre upplösning, 50.6 Mpixel. Även denna kamera saknar antialiasingfilter.

## -Objektiv

Då det kan vara fråga om mätningar av stora ytor i trånga utrymmen är ett vidvinkelobjektiv att föredra. I syfte att på bästa möjliga sätt kunna anpassa bildstorleken till mätområdet är det dessutom lämpligt att det finns zoom-funktion. Ljusstyrka är i detta fall sekundärt, annars en viktig parameter vid objektivval. Orsaken är att mätområdet kommer att vara upplyst av projektorn. Antingen med resultatbilden från mätningarna eller med vitt ljus när man fotograferar själva mätområdet.

Givet att kameran var en Nikon föll valet på Nikon-optik och då var det också naturligt att välja ultravidvinkelobjektivet 14-24 mm med zoom - AF-S NIKKOR 16-35mm f/4G ED VR. Bildvinkeln är 84-114 grader beroende på zoominställning.

Detta objektiv är berömt för dess förmåga att trots den korta brännvidden åstadkomma bilder nästan utan distorsion och vinjettering. Med distorsion menas att en linje i kanten av bildområdet blir böjd. Vinjettering innebär att bildens ljusstyrka avtar mot kanterna. Valet kunde likaväl ha utgått från detta objektiv och lett fram till kameran.

Det finns situationer då kameran inte kan ställas upp rakt framför den undersökta ytan, t ex om man mäter på en horisontell yta som ett golv. Kameran kan ju inte fästas i taket om ett sådant finns. Det innebär att även kameran kommer att se den undersökta ytan från ett snett infall. Man kan korrigera detta i datorn eller använda ett särskilt sorts objektiv. De kallas "Perspective Control – PC – lenses". Nikon har tre sådana med brännvidderna 24, 45 och 85 mm, vilka har bildfältet 84, 51 och 28 grader. Man kan då luta, förskjuta och rotera objektivet relativt bildplanet i kameran. Objektiven har beteckningarna PC-E NIKKOR 24mm f/3.5D ED, PC-E Micro NIKKOR 45mm f/2.8D ED och PC-E Micro NIKKOR 85mm f/2.8D. Fördelen med att korrigera med ett objektiv är att full upplösning bibehålles i bilderna. Räknar man om dem i datorn får man räkna med att förlora upplösning.



Figur A1. Nikons PC-E Micro NIKKOR 45 mm objektiv med 51 graders bildvinkel

För mer information om Nikon-objektiven, se broschyren på Nikon-hemsidan i kapitel 5.

#### -Stativ

Stativen kommer att vara en av de tyngsta komponenterna i systemet. Det behövs två stativ, ett till kameran och ett till projektorn. Båda måste ha ett panoramahuvud med arm samt snabbkoppling. I projektbeskrivningen är målsättningen att hålla hela systemet vid en vikt under 15 kg. Stativ skall vara stabila. Detta associeras ofta med tyngd. Men i detta fallet skall de vara lätta. Därför måste de i stället för tunga vara styva. Därför valdes kolfiberstativ med en vikt om c:a 1 kg per styck. Därtill kommer panoramahuvudena med samma vikt.

#### -Operatörsdel

Systemet medger att man ansluter olika sensorer till dataregistreringen. Men i projektplanen har vi fokuserat på instrumenterad bomknackning, eftersom det är en väl etablerad metod, som skulle kunna förbättras med den teknik vi föreslagit. I tidigare projekt, finansierade av ELFORSK, har vi studerat olika metoder att mäta punktimpedans, som är samma sak som bomknackning. De metoder som visat sig vara



bäst att identifiera en given delaminering i kärnkraftverket Ringhals kylvattenvägar är ett egentillverkat kombinationshandtag (F/v) kombinerat med hammare samt snickarhammare och mikrofon. Tyvärr visade sig dessa metoder inte lämpliga att kombinera därför att det ljud som uppstår när man slår på kombinationshandtaget inte har samma koppling till delaminering som när man slår direkt på betongytan med en snickarhammare.

I projektet har vi valt att använda kommersiellt tillverkade produkter och de består av en sk "Modally tuned" hammare från PCB Piezotronics och en geofon från Germann Instruments. Geofonen är försedd med tre små spikar, som gör att den vilar stabilt på det underlag den pressas mot. En ¼" mikrofon från PCB Piezotronics 130D20 har använts för att uppfånga direkt ljud.

Man kan ersätta signalen från hammarens inbyggda kraftgivare med en signal från en stationär mikrofon. Då får man ett helt sladdlöst system som funktionsmässigt ligger mycket nära den klassiska bomknackningen.

Beroende på hur man kopplar får AD-omvandlaren antingen räknas till operatörsdelen eller till den stationära delen.

#### -Analysdel

Det fotografiska bildmaterialet är mycket högupplöst. Därför bör det analyseras i utrustning med så hög upplösning som möjligt. Nikon 800E har en upplösning av 7360 x 4912 pixlar och det skulle man vilja se i en bild. Sådan betraktning utrustning finns inte när detta skrivs. Det rimligaste alternativet är en laptop med 4K upplösning och en platt-TV med samma upplösning och rimlig storlek, t ex 55". Vi har valt en laptop med beteckningen ASUS ZenBook Pro UX501JW och skärmen är en LG 55UB850V.

1.

## 7 Appendix B: Verkliga mätresultat från LTH

Systemet har provats mot en vägg i källaren i V-huset, där klimatrummen tidigare varit installerade. I skarven mellan två före detta rum finns en tydlig delaminering. Kring denna har en 2 x 1 m stor yta markerats med hörnpunkterna. Dessa ligger till grund för projektorsystemets uppritning av rutnätet.

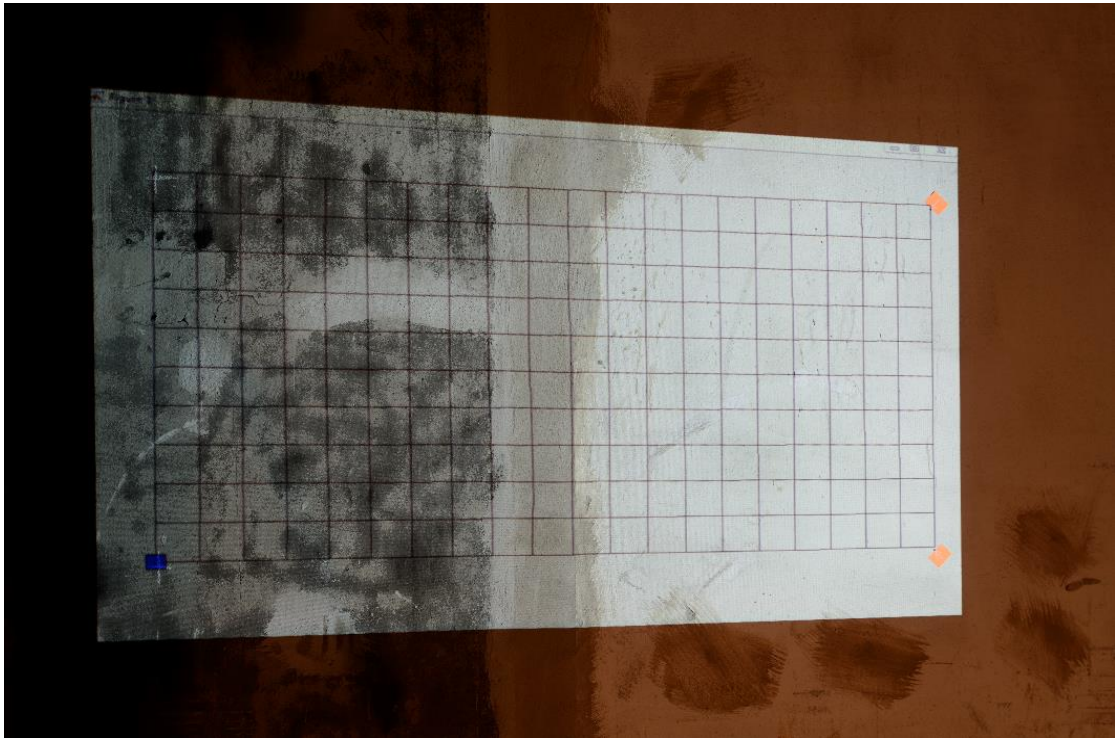
Notera att den vita ramen är högre till vänster än till höger, det är en parallelltrapets, detta beror på bildens sneda infall. Rutnätet däremot är rektangulärt. Rå betong t.v. i bilden, vitmålad t.h.

Alla foton tagna med Nikon 800E och 14-24 mm ultravidvinkelobjektivet.

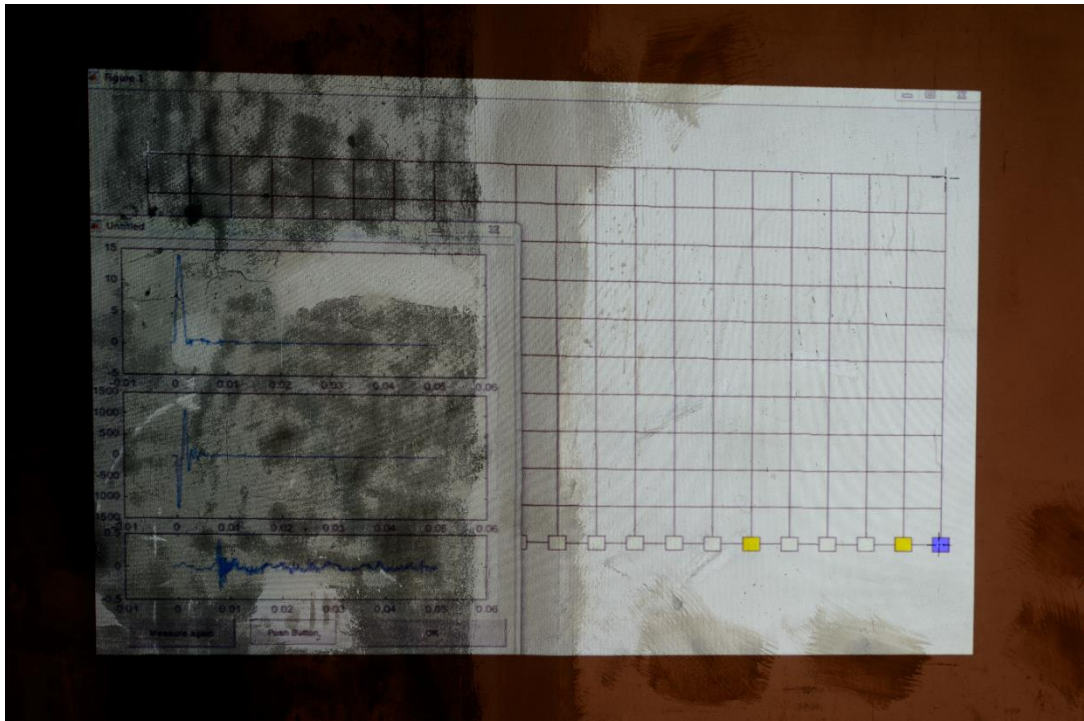
Observera att moirémönstret, de böjda banden i bilderna, uppstår i ordbehandlingsprogrammet och inte förekommer i de verkliga bilderna.



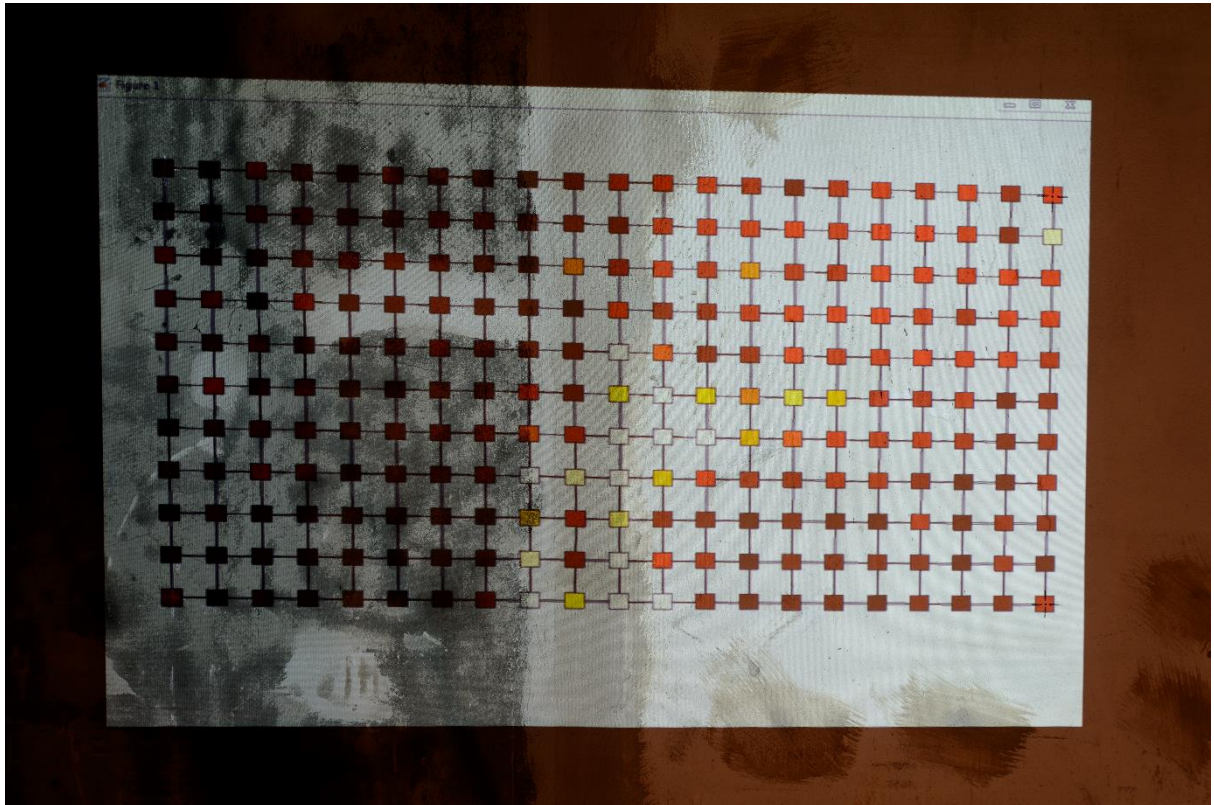
Figur B1. Det valda undersökningsområdets hörnpunkter markerat med vita kors t.v. och med svarta kors t.h. (reseau-märken). Ytan är 2 x 1 m och är en del av f.d klimatrum i V-husets källare.



Figur B2. Rutnätet (2 x 1 m) strax innan datainsamlingen börjar. Första mätpunkten markerad blå, nere t.v.



Figur B3. Efter varje slag visas en GUI innehållande de registrerade signalerna (vänstra delen av bilden). Överst visas kraftsignalen, därunder hastighetssignalen och underst signalen från en mikrofon. OK klickas.



Figur B4. När alla mätpunkter samlats in kan bilden se ut så här. Färgskalan har ändrats jämfört med föregående bild. Det delaminerade området i bildens mitt framträder tydligt som ett ljusare område. I nästa steg interpoleras uppmätta data för att ge en kontinuerlig färgsättning av den undersökta ytan.

Försök genomfördes med

- 1) Strukturhammare (F-kraft) och geofon (v-hastighet)
- 2) Automatkörnare och mikrofon (f-frekvens, helt sladdlöst)
- 3) Snickarhammare och mikrofon a.k.a. äkta bomknackning (f-frekvens, helt sladdlöst)

1) ger en äkta impedansmätning, 2) ger en normerad impuls som alltså är lika varje gång och 3) ger en starkare puls än 2, men den är inte normerad. Enligt erfarenheterna från Ringhals 2011 är det frekvensinnehållet man skall studera när snickarhammare används. Detsamma har gjorts med mätdata från automatkörnaren.

En automatkörnare är ett litet verktyg som man pressar mot en yta som man vill slå ett märke i. När man pressat in handtaget till botten utlöses en spänd fjäder och ger ett kraftigt slag. I detta fall har automatkörnaren inte haft en spets utan avslutas med en plan metallyta med 12 mm diameter.

Vid mätningarna med enbart mikrofon ersattes kabeln från hammaren med kabeln från mikrofonen. Därmed kunde systemet trigga på den akustiska signalen från automatkörnaren och snickarhammaren.



Figur B5. De två stativen med kameran respektive projektorn. På projektorn står datorn som styr allt.



Figur B6. Närbild på dator och projektor inbyggd i skyddskåpa.



Figur B7. Mikrofon t.v. med förstärkare



Figur B8. Automatkörnare som modifierats med en slagplatta





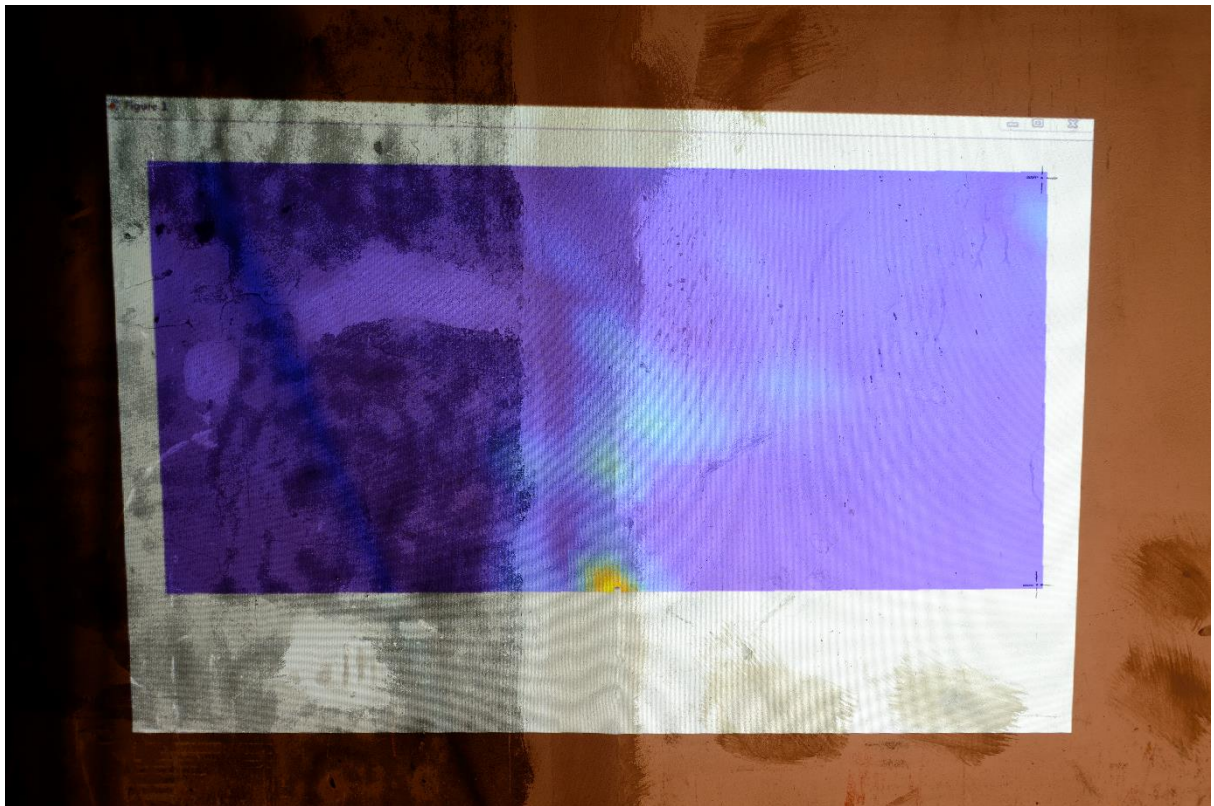
Figur B9. Den vid försöken använda snickarhammaren



Figur B10. Projektor med bild projicerad på den väggyta som undersöks

En iakttagelse från försöken är att vid mätning med automatkörnare och snickarhammare står operatören mycket nära en stark ljudkälla, i synnerhet när snickarhammare används. I syfte att skydda operatörens hörsel bör därför hörlurar med bluetooth-överföring användas. Dessa medger att man kan höra den datoranimerade rösten som styr datatagningen, samtidigt som man skyddar hörseln. Om man ersätter

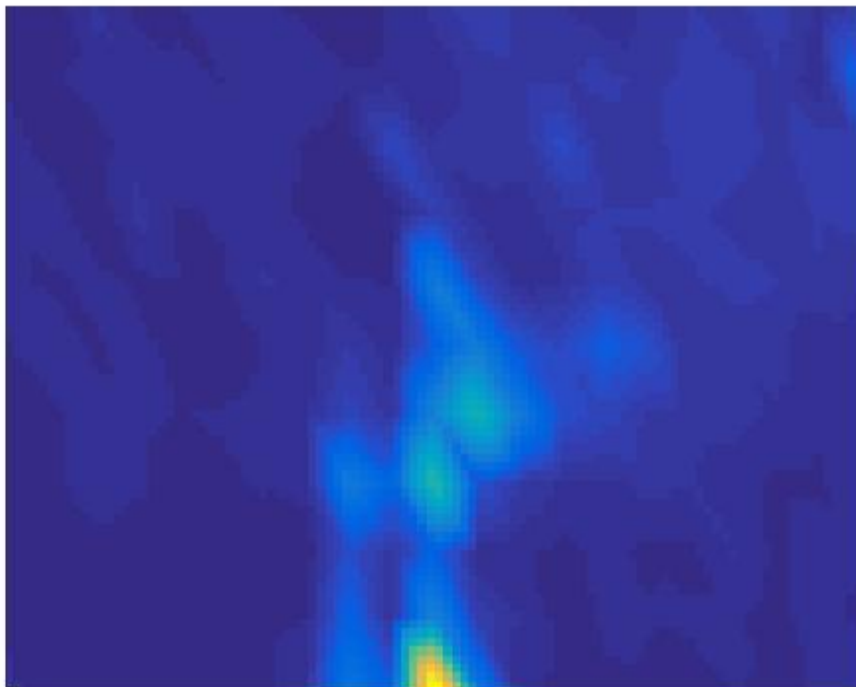
hörlurarna med ett headset kan mikrofonen användas för att dels registrera ljudet från slaget, dels låta operatören tala in sin subjektiva uppfattning om graden av delaminering i samband med slaget.



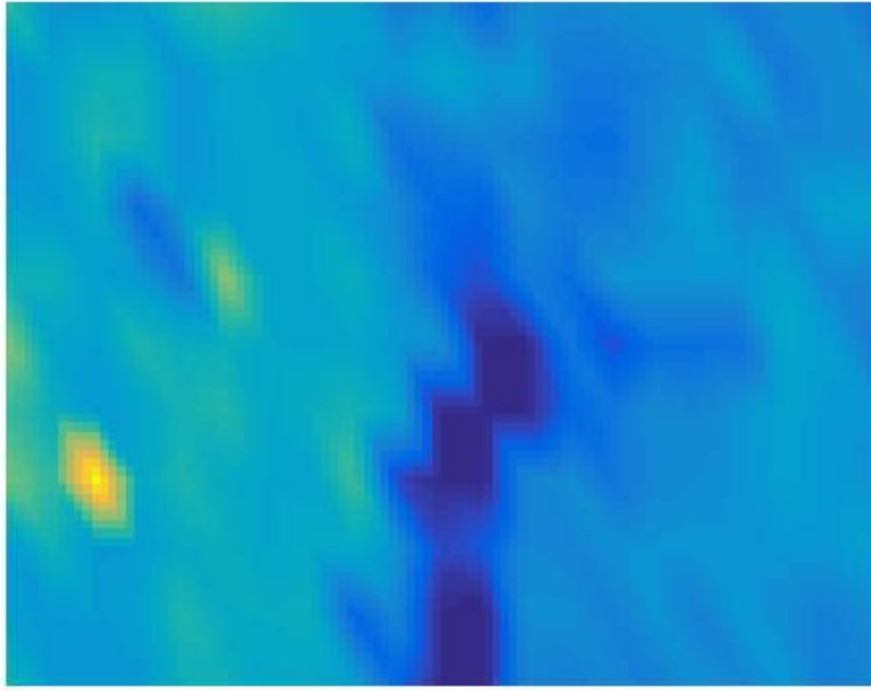
*Figur B11. Denna bild visar det interpolerade resultatet av undersökningen med hammare och geofon projicerat på mätytan. Genom att jämföra denna bild med en bild som markerar mätområdet kant, kan man lokalisera läget för skadade partier relativt visuella markeringar på ytan. Man kan också rita av de skadade partierna på mätytan direkt.*



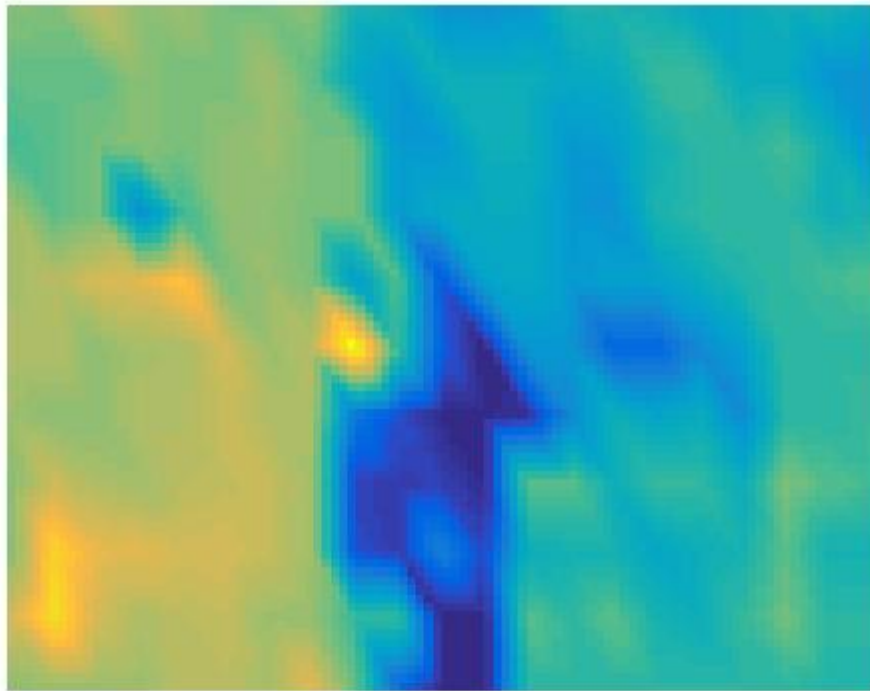
Figur B12. Mätområdets kantlinje/begränsningslinje projicerad på mätytan



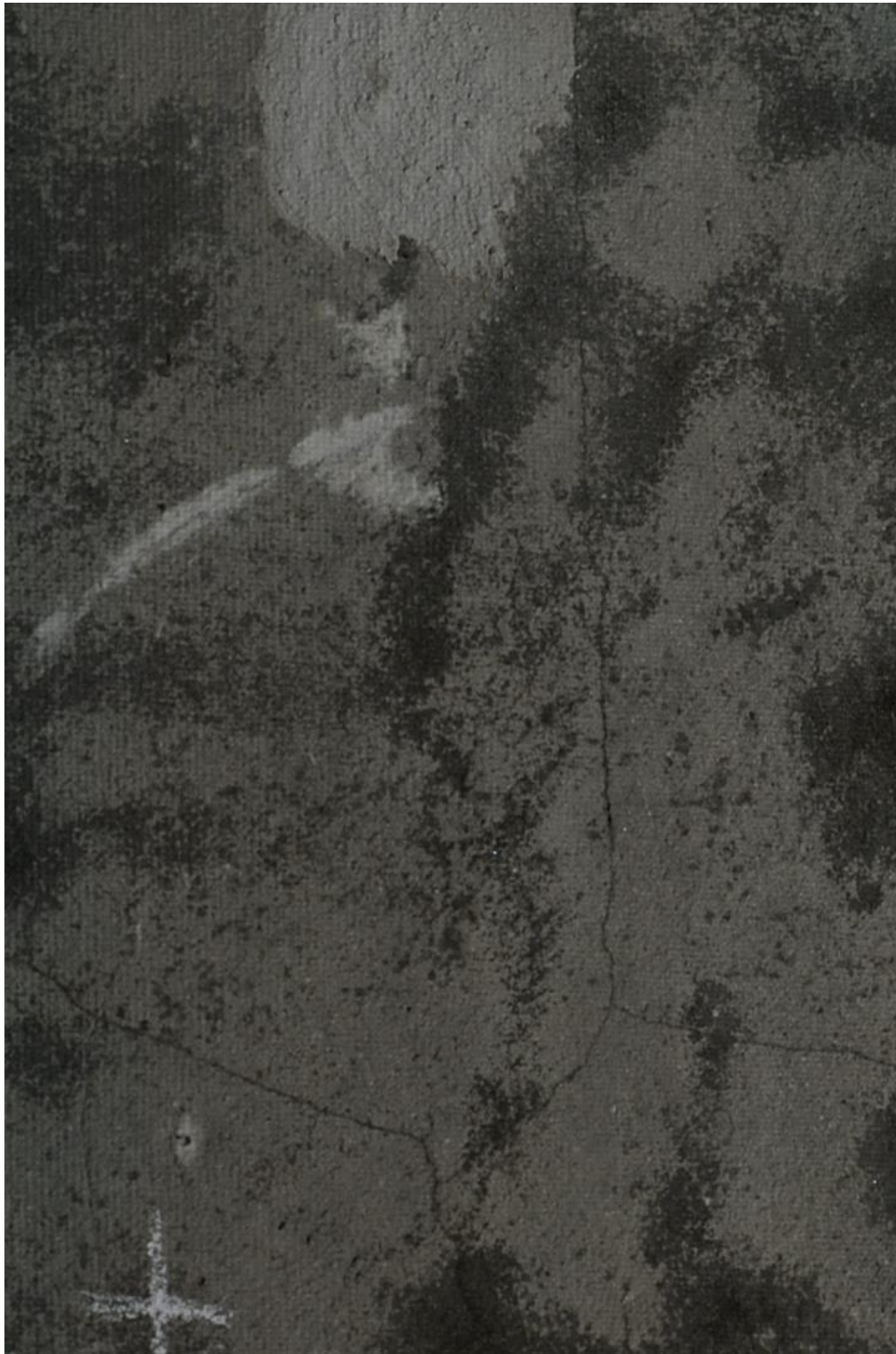
Figur B13. Interpolerad impedansbild hammare( $F$ ) och geofon( $v$ ) ( $F_{max}/v_{max}$ )



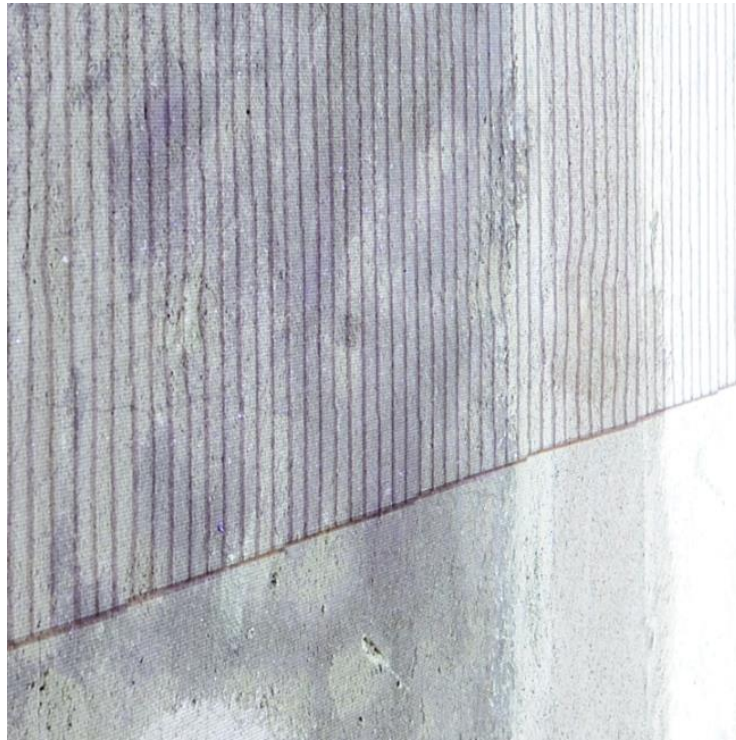
Figur B14. *Frekvensinnehåll i slag med automatkörnare registrerade med stationär mikrofon*



Figur B15. *Frekvensinnehåll i slag med snickarhammare registrerade med stationär mikrofon*



*Figur B16. De skarpa bilderna kameran tar kan användas för att detaljstudera den undersökta ytan. Ovan visas en spricka i bildens nedre vänstra hörn. Det bedöms att denna typ av fotografering, med utnyttjande av de ljuseffekter en projektor kan ge kan vara till stor nytta. Bl a kan ytans topografi studeras genom att man med snett infall projicerar linjer på ytan.*



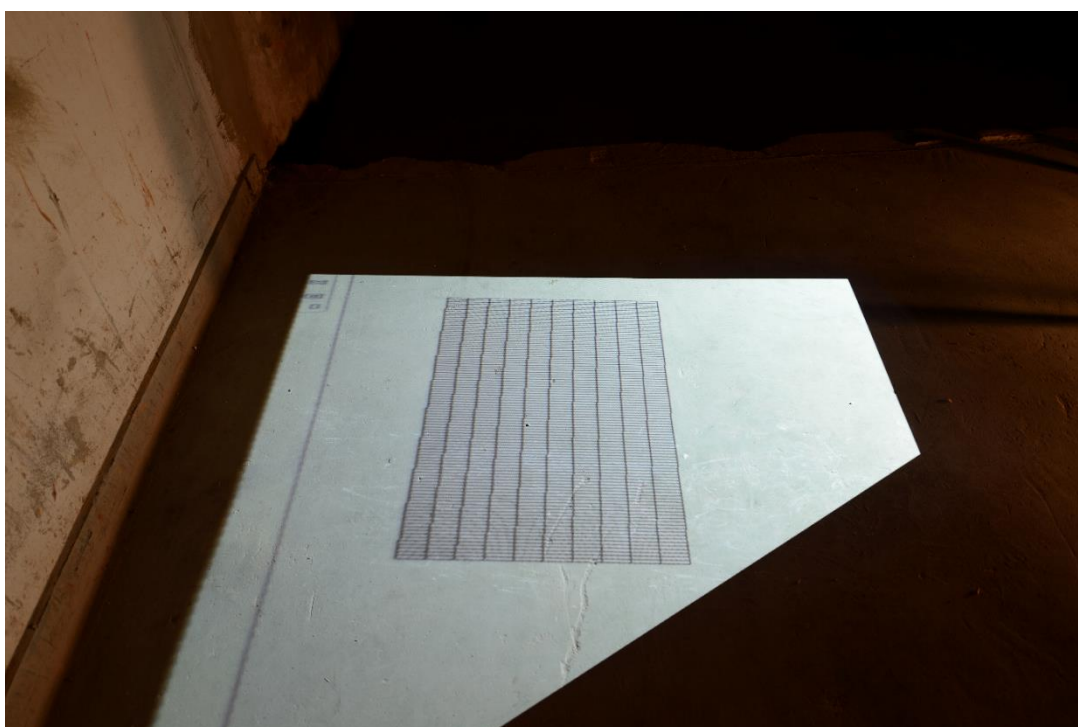
Figur B17. *Topografi – 50 vertikala linjer/m*



Figur B18. *Topografi - 100 vertikala linjer/m*

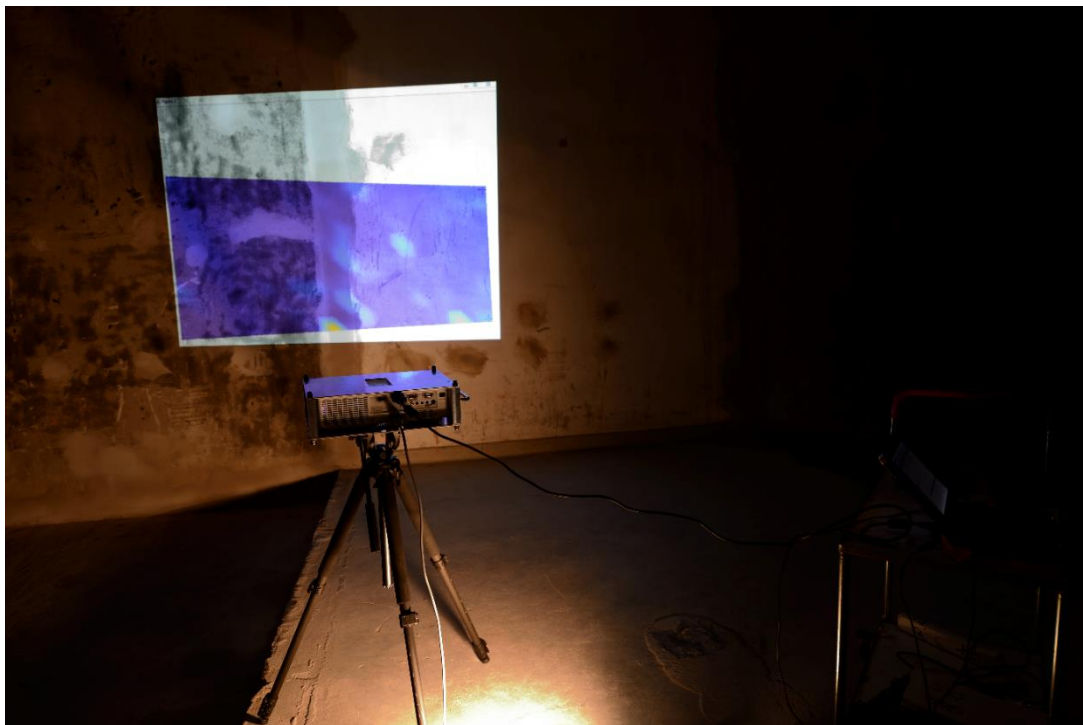
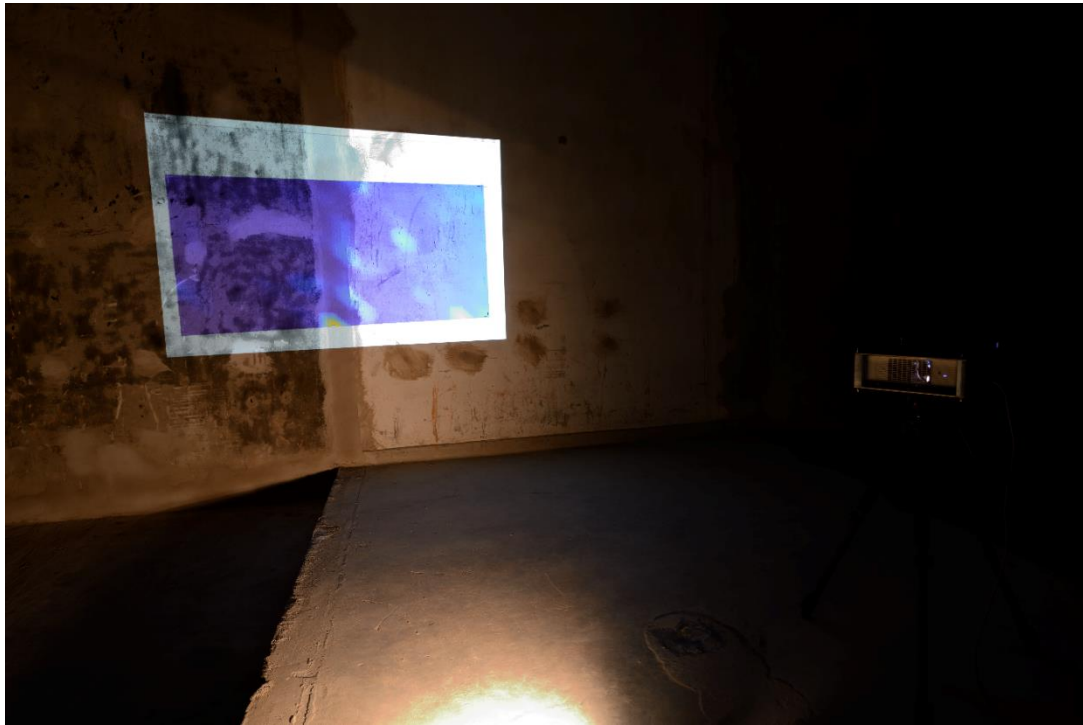


Figur B19. *Snedprojektion mot golvyta*

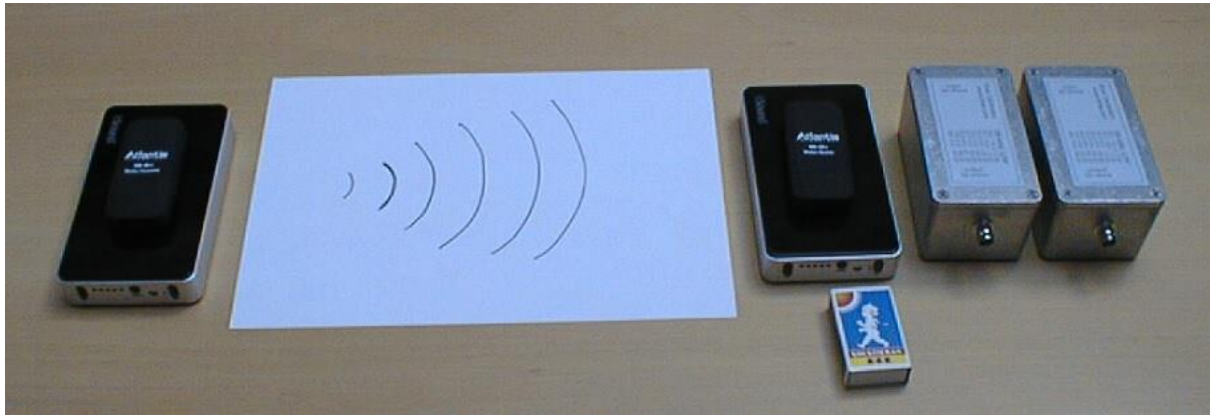


Figur B20. *Fotografi av den perspektivförskjutna bilden blir en parallelltrapets. Kan rektifieras med speciell optik till kameran, se Figur A1, eller digitalt i datorn förutsatt att hörnkoordinaterna är kända.*

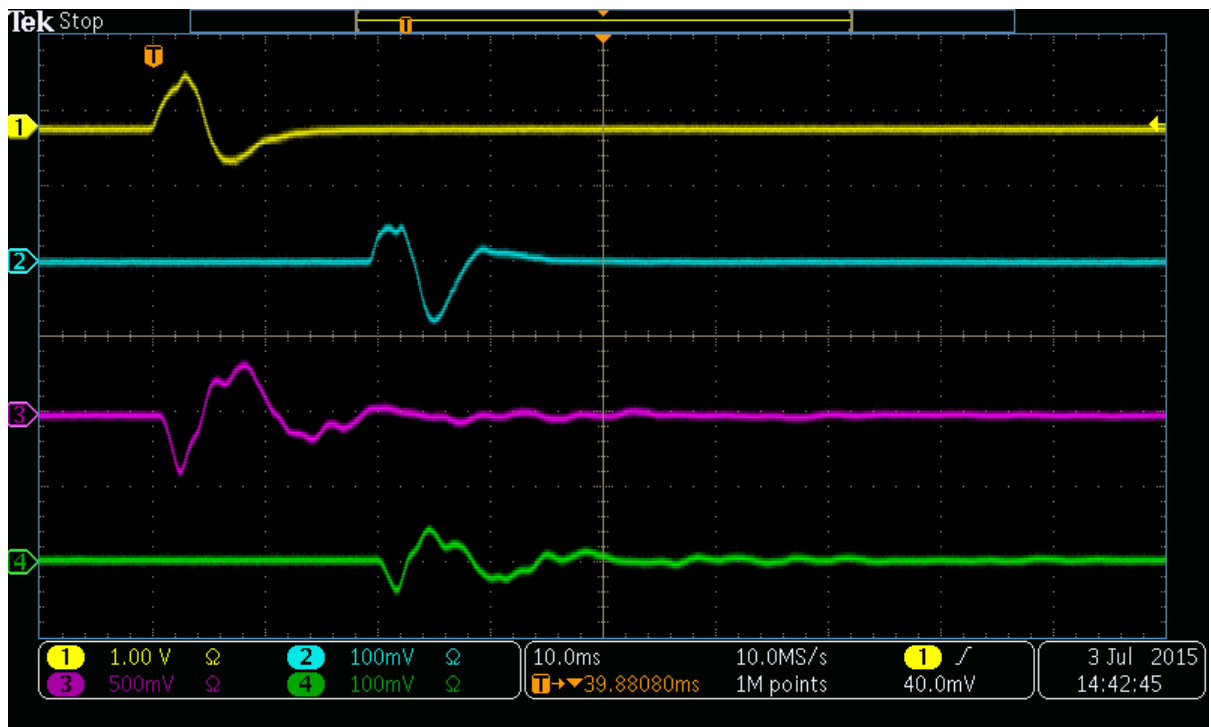




Figur B21. De två blå bilderna ovan visar att samma resultat kan projiceras från olika projektorpositioner, alltså också vid olika tillfällen. Den blå ytan visar samma område på väggen i båda bilderna. Kameran står i samma punkt vid tagningen av båda bilderna. Det krävs att fyra punkter på undersökningsytan är kända.



Figur B22. Ovan visas komponenterna i det analoga trådlösa överföringssystemet. Komponenterna t.v. är batteripack (USB) och trådlös sändare. Komponenterna t.h. är batteripack (USB) och trådlös mottagare. De grå lådorna längst till höger är lågpasfilter 24 kHz.

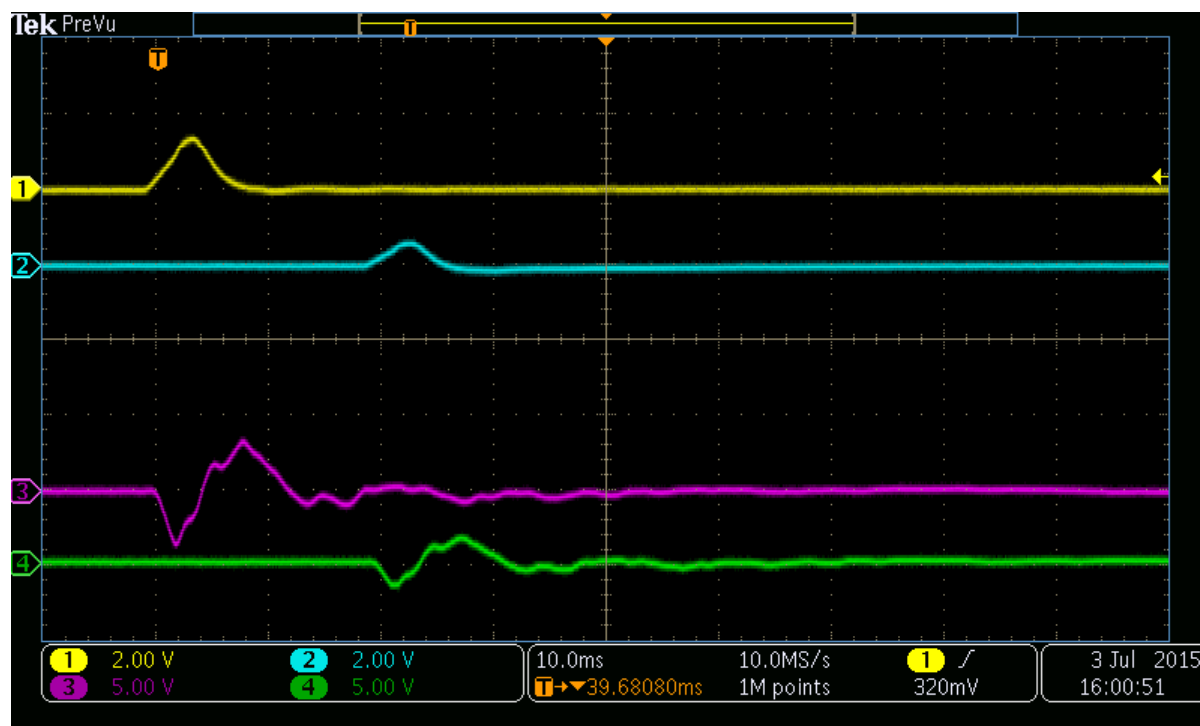


Figur B23. Resultat av trådlös överföring. Kanal 1 är hammarsignalen (kraft  $F$ ) före trådlös sändning och kanal 2 är samma signal efter passage av den trådlösa länken och 24 kHz filtret. Kanal 3 är geofonsignalen (hastighet  $v$ ) före trådlös sändning och kanal 4 är samma signal efter den trådlösa länken och 24 kHz filtret. Oscilloskopets inimpedans 50 Ohm.

Som framgår av Figur B22 är det en 20 ms fördröjning av signalen. Detta påverkar inte mätresultatet eftersom det är samma fördröjning i båda kanalerna. Det gör däremot det faktum att kraftsignalen blir bipolär men är unipolär samt att signalnivåerna inte blir lika före och efter radiolänken. Kraftsignalen har ett toppvärde av 720 mV före och är 48

mV efter. Geofonsignalen är 350 mV före och 266 mV efter. Dessa värden är erhållna med oscilloskopets cursorfunktion och ingångsimpedansen 50 Ohm. Det senare rekommenderas av filtertillverkaren.

Försöket upprepas med oscilloskopets ingångsimpedans satt till 1 Mohm, vilket bättre motsvarar ingångsimpedansen på den AD-omvandlare vi använt.



Figur B24. Resultat av trådlös överföring. Kanal 1 är hammarsignalen före trådlös sändning och kanal 2 är samma signal efter passage av den trådlösa länken och 24 kHz filtret. Kanal 3 är geofonsignalen före trådlös sändning och kanal 4 är samma signal efter den trådlösa länken och 24 kHz filtret. Oscilloskopets inimpedans nu 1 MOhm.

Vi ser nu att fördröjningen är samma som med 50 Ohm ingångsimpedans på oscilloskopet. Kraftsignalen blir däremot unipolär som den skall vara. Den bipolära effekten uppstod inte i länken utan var en konsekvens av filternas missanpassning till oscilloskopet. Kraftsignalen före radiolänk och filter är 1.400 V, efter 720 mV. Geofonsignalen före radiolänk och filter är 3.400 V, efter 1.900 V.

## Referenser

1. Zhu, J. and Popovics, John S., "Air-Coupled Impact-Echo Method for NDT of Concrete" *Review of Quantitative Nondestructive Evaluation*, Vol 35, ed. by D., O. Thompson and D.e. Chimentic, c. 2006 American Institute of Physics 0.7354-0312-0/06
2. Cawley, P. (1987). "The sensitivity of the mechanical impedance method of nondestructive testing." *NDT International* **20**(4): 209-215.
3. Gatzwiller K, and Herlufsen, H., Bruel & Kjaer Application Note: Mobility measurements

## Tidigare rapporter av författaren i ämnet

### ■ 12:09 [Instrumenterad bomknackning](#)

*Författare: Peter Ulriksen*

De testmetoder som utvecklats i laboratoriemiljö inom ELFORSK-projektet BET 012 "Impulsresponsmätningars beroende av sprickdjup" och som kan vara lämpliga för mätning i verkliga skadefall, har testats vid ett besök i Ringhals kärnkraftverk 2011-04-20. Försöket utfördes i anslutning till kylvattentunnlarna i reaktor 2, i det ut...

### ■ 11:11 [Impulsresponsmätningars beroende av sprickdjup. Delaminering](#)

*Författare: Peter Ulriksen*

Projektet syftar till att undersöka impulsresponsmetodens förmåga att detektera delaminering vid olika djup i betong. Denna metod har särskilt intresse eftersom den i vissa realiseringar starkt påminner om den etablerade metoden bomknackning. Den personal som kommer att utföra framtida mätningar bör känna förtroende för och bekantskap med...

### ■ 10:85 [Litteraturstudier och test av oförstörande provningsmetoder \(OFP\) med möjliga tillämpningar på kärnkraftens betongkonstruktioner](#)

*Författare: Peter Ulriksen*

Föreliggande rapport redovisar arbete med att undersöka vilka metoder som kan vara lämpliga för att lokalisera delaminering i framförallt kylvattenkanaler i kärnkraftverk. Den är också en närmare studie av instrumentet A1220 Monolith från tillverkaren ACSYS i Ryssland. Mätprincipen är att ekon från diskontinuiteter inne i betong...

### ■ 08:24 [Utvärdering av oförstörande provningsmetoder med möjliga tillämpningar inom kärnkrafttekniska betongkonstruktioner](#)

*Författare: Peter Ulriksen*

Det har under de senaste 10 åren genomförts en rad projekt där oförstörande provning (OFP) av betong har ingått. Det kan förmodas att resultaten i de olika projekten är snarlika. Innan fortsatta projekt inom området initieras utförs här en genomgång av de projektrapporter som branschen har tillgång till. Läsaren må...

■ 97:23 [Automatisk avsökning av betongkonstruktioner med utrustning baserad på mekaniska vågor](#)

*Författare: Peter Ulriksen, Ulrika Wiberg*

Tillståndskontroll av betong är en viktig del i bestämningen av konstruktioners kondition. Utveckling av automatiserade oförstörande metoder är angelägen för effektivare kontrollmöjligheter vid detaljgranskning där omfattande provtagning med utborring inte är lämplig. I denna rapport redovisas utveckling av automatiska mätmetoder baserade på akustiska och ultraljudsmätningar. Syftet med arbete...