



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

it's all about innovation



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# Feltundersøgelse af beton – erfaringer fra praksis

Henrik Erndahl Sørensen  
Teknologisk Institut, Betoncentret

## Feltundersøgelse af beton

### - generelt

På Teknologisk Institut laver vi mange feltundersøgelser af beton, der typisk er begrundet med én eller flere af følgende forhold:

- Behov for vurdering af tilstand
- Opklaring af skadesårsag og skadesomfang
- Dokumentation af udførelse



## Feltundersøgelse af beton

### - generelt

Feltundersøgelser gennemføres typisk som en kombination af destruktive og ikke-destruktive målinger og observationer samt udtagning af prøver til laboratorieanalyser. Typiske felt-aktiviteter er:

- Lokalisering af armering og bestemmelse af dæklag
- Observation af visuelle tegn på defekter og nedbrydning af beton
- Kortlægning af skjulte fejl og defekter
- Kontrol af geometriske og udførelsesmæssige forhold
- Undersøgelse af armeringens korrosionstilstand
- Prøveudtagning til laboratorieanalyser

# Feltundersøgelse af beton

## - NDT-metoder



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Eksempler på ofte  
anvendte NDT-metoder  
og deres  
anvendelsesområder

	Styrke	E-modul	Tykkelse	Revne dybde	Revnevidde	Revnefordeling	Hornogenitet	Hulrum	Delaminering	Armeringsplacering	Armeringsdimension	Armeringskomposition
Rekylhammer	x											
Revneviddemåler					x							
Fotografi					x	x						(x)
Impuls-Respons						x	x	x	x			
GeoRadar								(x)	(x)	x		
Termografi				(x)		(x)		(x)	(x)			
Radiografi (røntgen)			(x)				x	x		x	x	x
Impakt-Ekko		x	x	x			x	x	x			
SASW		(x)	x	x			x	x	x			
Ultraljudstomografi	(x)	x	x				x	x	x			
Magnetisk covermeter										x	(x)	
EKP-måling												x
Galvanostatisk puls												x

## Impuls-Respons-måling (s'MASH)

### - anvendelsesområder



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



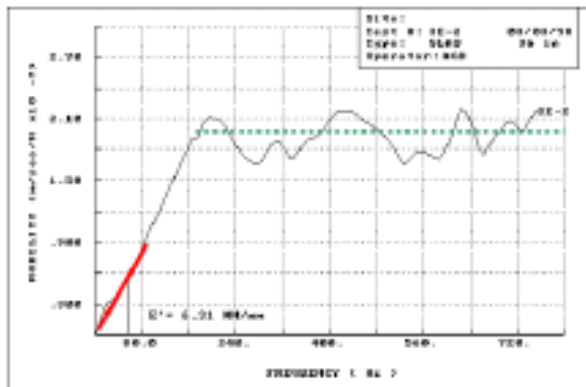
- Kan i princippet anvendes på alle konstruktioner, hvor der findes større ensartede områder
- Impuls-Respons måling kommer til sin fulde udnyttelse, når der måles på geometrisk ensartede konstruktionsdele, således at forskelle tydeligt fremstår
- Detektérbare defekter: Komprimering, stenreder, delaminering, understøtning, interne revner

# Impuls-Respons-måling (s'MASH)

## - måleprincip



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



- En konstruktion påføres et hammerslag, hvorved en trykbølge genereres.
- En geofon placeret i nærheden af hammerslaget opfanger vibrationerne i betonkonstruktionen genereret af slaget.
- Vibrationerne i konstruktionen aflæses af "Mobilitetskurven" samt flere afledte parametre som dynamisk stivhed [N/m], gennemsnitlig mobilitet [m/s/N], mobilitetshældning og voids index.

## Impuls-Respons-måling: Undersøgelse af altanplader



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

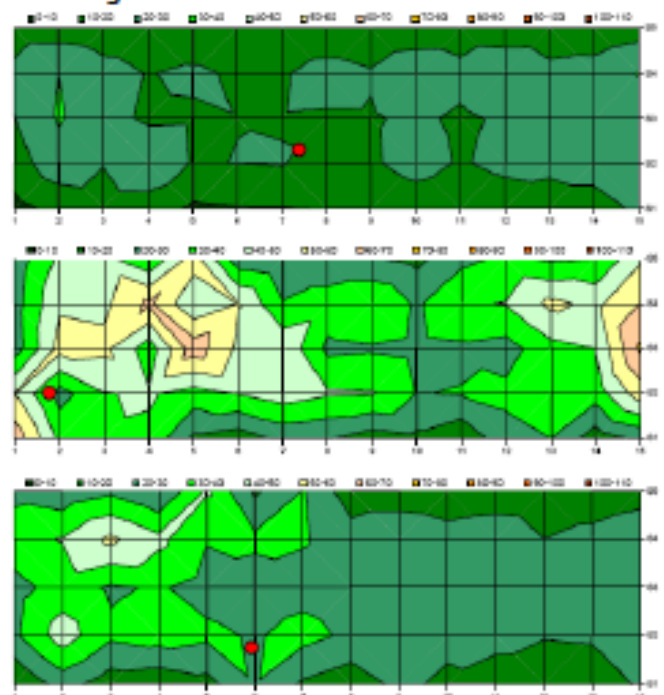
### Askevænget.

61 altanplader med varierende omfang af intern revnedannelse.

Altanplader var nyligt malede og skader var derfor ikke synlige.

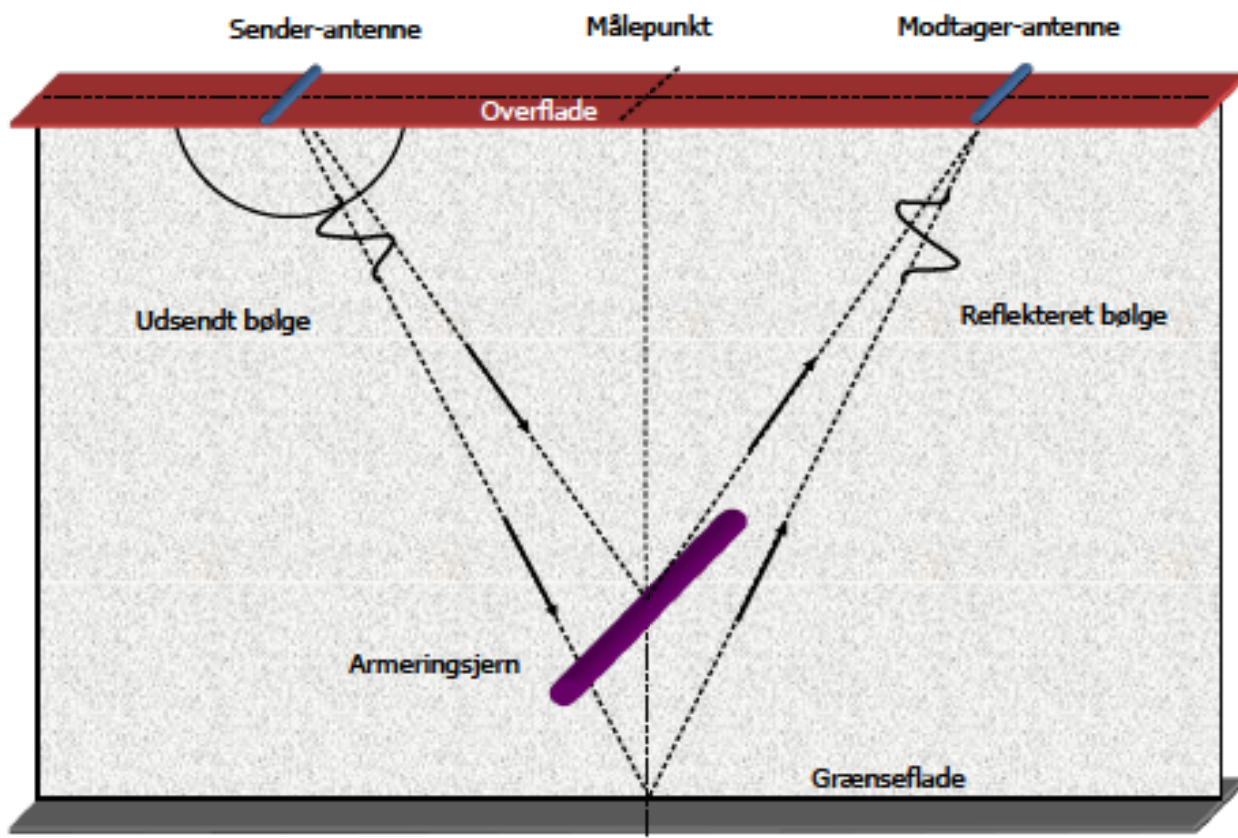


### Mobilitetsplot af 3 altanplader med forskellig skadesgrad

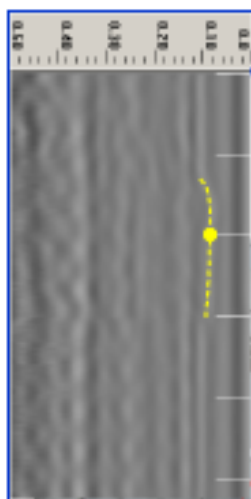




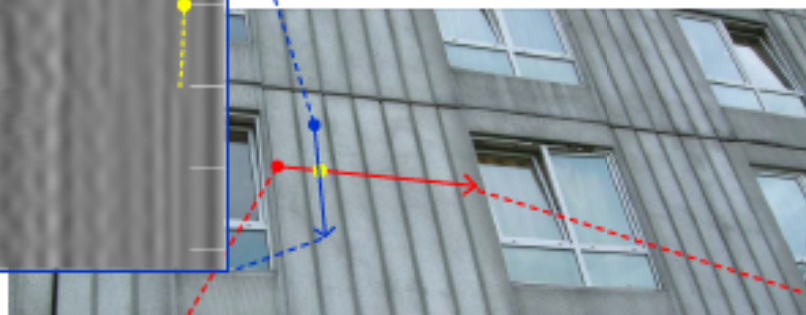
# GeoRadar - måleprincip



## GeoRadar: Lokalisering af rustfrie bærejern i facader



Georadarsøgning efter bærejern i rustfrit stål i sandwich-elementer hos bebyggelsen Agervang.

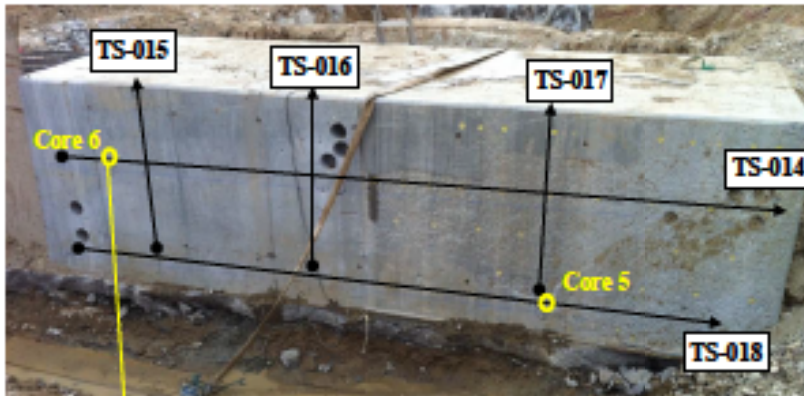


Ophugning til bærejern.

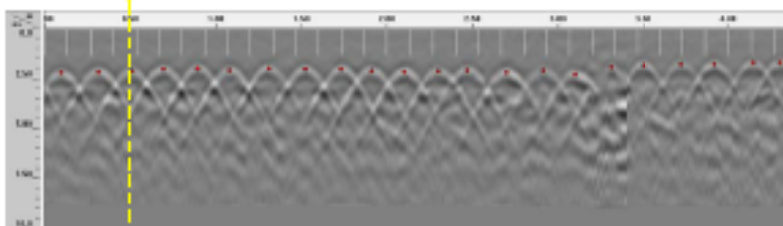


# GeoRadar:

## Lokalisering af armering hos Metro City Ringen



- Måling af dæklag til dybtliggende armering på topslab (Metro City Ringen)



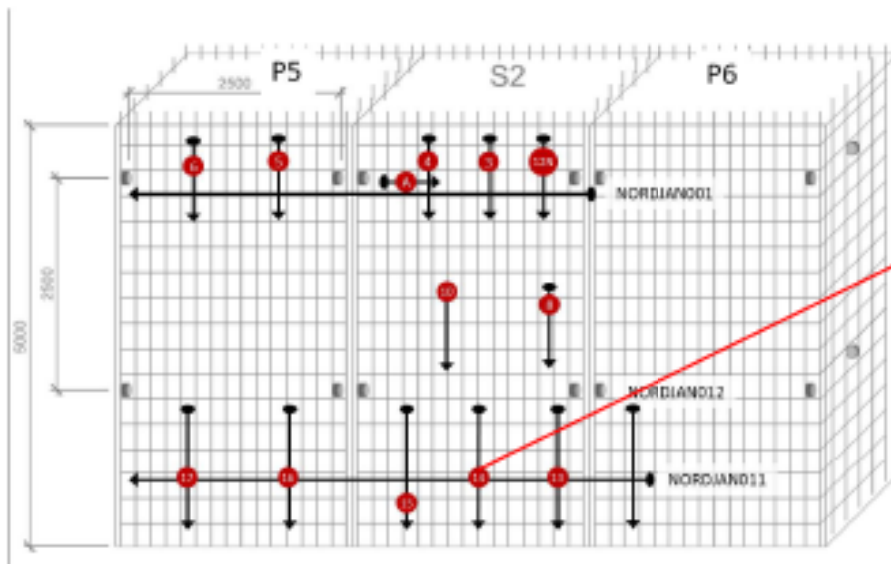
Identified	x(m)	0,097	0,313	0,506	0,693	0,893	1,079	1,309	1,522	1,732	1,909	2,102	2,299	2,469	2,698
rebars	z(m)	0,112	0,110	0,108	0,104	0,102	0,106	0,102	0,104	0,104	0,108	0,110	0,108	0,106	0,112
	x(m)	2,912	3,102	3,311	3,501	3,724	3,918	4,144	4,301	4,501	4,681	4,890	5,047	5,270	5,463
	z(m)	0,106	0,117	0,097	0,093	0,091	0,091	0,087	0,087	0,084	0,082	0,082	0,080	0,071	0,067

# GeoRadar:

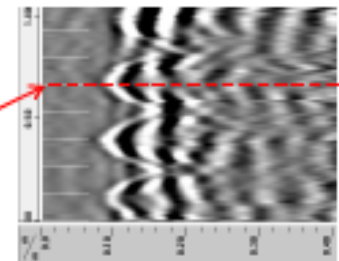
## Nøjagtigheden af dæklagsmålinger på ru flader

### Metro City Ringen – D-walls

S5 (slump = 240 ± 30 mm) Concrete panels – Northern wall



Vandret scan inkl. position for kerne 14:



- Line tested for cover thickness by georadar. Datafile equals core no.
- Drilled core

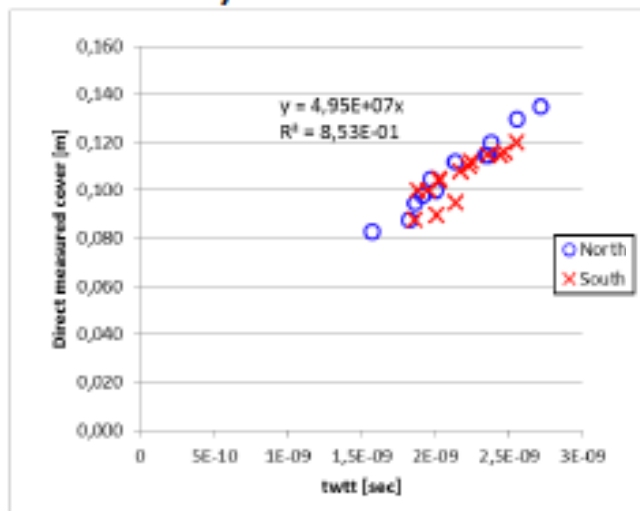
## GeoRadar:

### Nøjagtigheden af dæklagsmålinger på ru flader



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Dæklag målt på borekerner plottet mod two-way-travel-time.



Største afvigelse: 12%

Gennemsnitlig afvigelse: 4%

Core no.	Georadar data file	Object ve	Face	Direct cover measurement [mm]	Georadar Cover measurement, Error [mm]	Deviation of covers [%]
N7 1	NORDAN002	Top	S2	83	78	5,5
N7 2	NORDAN003	Top	S2	105	96	6,3
N7 4	NORDAN004	Top	S2	120	119	0,9
N7 5	NORDAN005	Top	P5	98	95	2,6
N7 6	NORDAN006	Top	P5	112	106	5,0
N7 8	NORDAN008	Middle	S2	100	100	0,1
N7 10	NORDAN010	Middle	S2	115	117	-1,7
N7 13	NORDAN013	Bottom	S2	88	91	-3,3
N7 14	NORDAN014	Bottom	S2	95	93	2,2
N7 15	NORDAN015	Bottom	S2	115	118	-2,5
N7 16	NORDAN016	Bottom	P5	130	127	2,0
N7 17	NORDAN017	Bottom	P5	135	135	-0,3
S2 2	SYDAN002	Top	P2	Not measured		
S2 3	SYDAN003	Top	S1	100	94	6,1
S2 4	SYDAN004	Top	S1	100	97	2,6
S2 5	SYDAN005	Top	S1	104	101	2,5
S2 11	SYDAN011	Middle	P2	120	127	-6,2
S2 12	SYDAN012	Middle	S1	95	107	-12,6
S2 13	SYDAN013	Middle	S1	108	108	-0,4
S2 14	SYDAN014	Middle	S1	116	123	-6,4
S2 15	SYDAN015	Middle	P3	112	112	0,1
S2 16	SYDAN016	Middle	P3	105	101	3,4
S2 19	SYDAN019	Bottom	S1	88	93	-5,6
S2 20	SYDAN020	Bottom	S1	90	100	-11,6
S2 21	SYDAN021	Bottom	S1	115	122	-6,0
S2 22	SYDAN022	Bottom	P3	110	111	-1,3
S2 23	SYDAN023	Bottom	P3	115	118	-2,5
Average				109	108	+/-4,1*
Standard deviation				13	14	

## EKP-måling

- anvendelsesområder



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

EKP-måleudstyr (GalvaPuls)



- Lokalisering af armeringskorrosion
- Virker bedst på konstruktionsdele med god iltadgang
- Kan kombineres med GalvaPuls-målinger, der giver indikation af korrosionshastighed
- Fungerer sjældent godt på overflader med maling eller membran

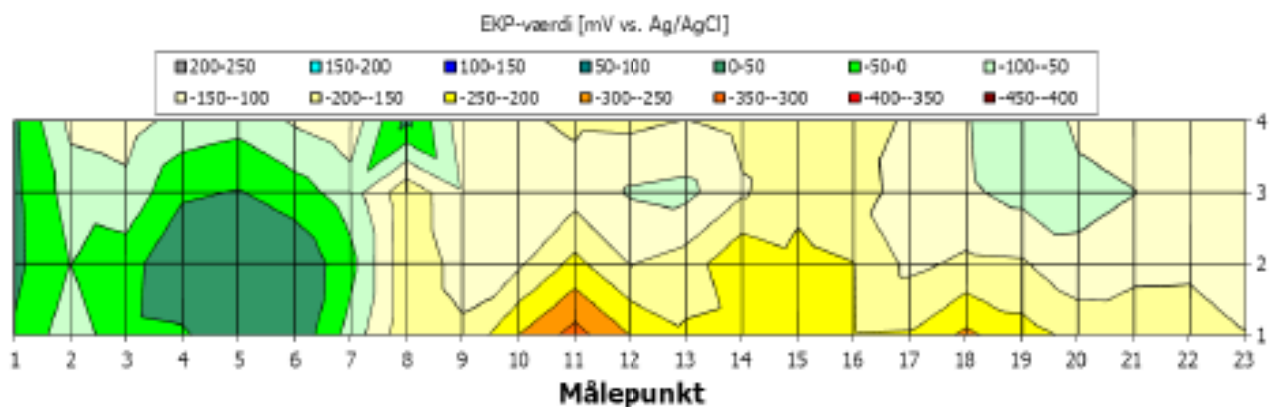


# EKP-måling

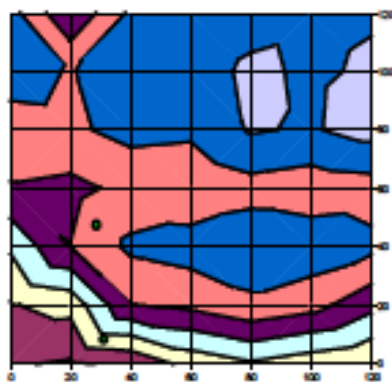
## - måleprincip

- Måling af armeringens ElektroKemiske Potentiale (EKP)
- Den elektriske spændingsforskel og den elektriske modstand måles mellem armering og referenceelektrode
- EKP-måleværdien indikerer den øjeblikkelige korrosionsvillighed af armeringen nærmest referenceelektroden, men ikke den øjeblikkelige korrosionsaktivitet
- Jo lavere EKP-værdier og des større potentialegradient mellem to målepunkter - desto større er sandsynligheden for aktiv korrosion

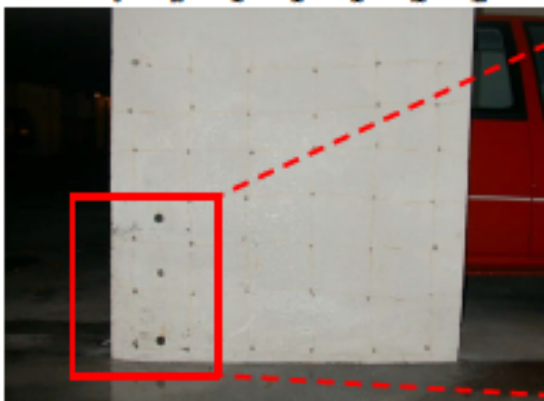
### EKP-målinger



### EKP-måling: Væg i P-kælder



- Undersøgelse af væg i P-kælder
- Ophugning bekræfter observationer fra EKP-målinger



## Ultralydstomograf

- anvendelsesområder

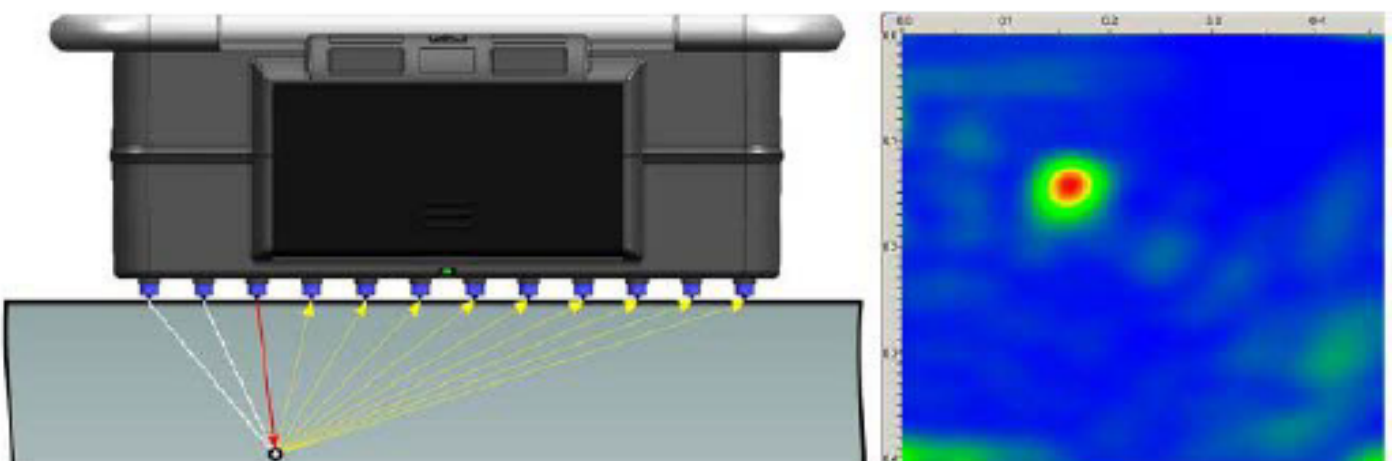


- Tykkelsesmåling af betondæk, påstøbninger, gulve etc.
- Kontrol af udfyldningsgrad i korrugerede rør til spændarmering og robusthedsarmering
- Lokalisering f.eks. varmerør i gulv, armering, ledningsrør, stenreder, osv.
- Kontrol af manglende vedhæftning mellem betonlag.

## Ultralydstomograf

- måleprincip

- 48 (4x12) transducere skiftevis udsender og modtager ultralydspulser (frekvens kan reguleres mellem 25-85 kHz)
- Ultralydspulserne reflekteres ved grænseflader mellem materialer med forskellig akustisk impedans.
- Måledata signalbehandles og sammensættes til 2D eller 3D afbildninger



## Ultralydstomograf:

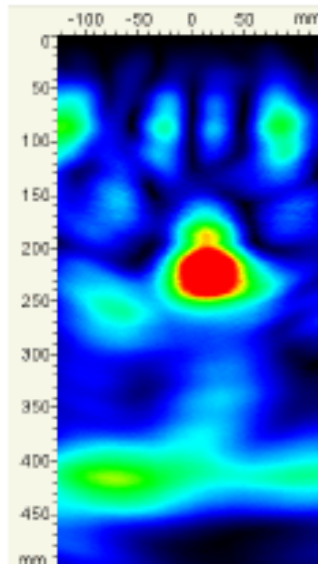
### Kontrol af udstøbning af korrugerede rør

- Højhus i Århus under opførelse

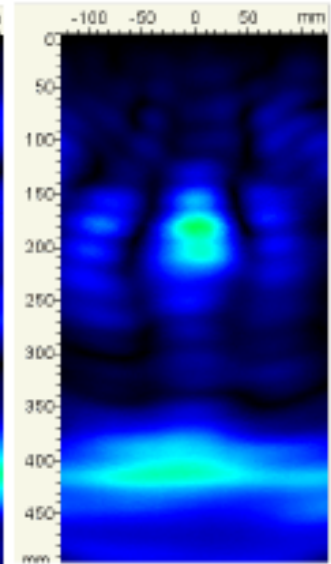
#### Måling på vægelement



Tomt rør

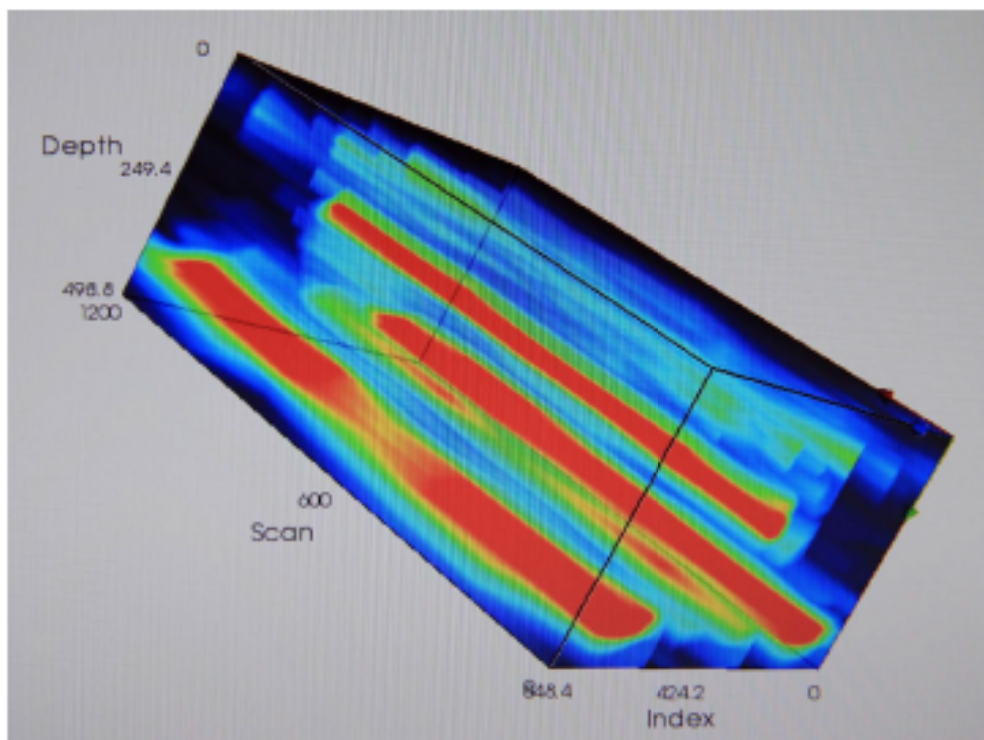


Udfyldt rør



## Ultralydstomograf:

### Kontrol af udstøbning af korrugerede rør



3D afbildning af måledata fra tomt rør i midten af 400mm tyk væg.

## Ophugning

- er ofte nødvendigt

- Visuel kontrol, f.eks. af armeringens tilstand, er ofte påkrævet



## Prøveudtagning

- er normalt uundgåeligt

- De ikke-destruktive metoder skal typisk kalibreres ved at sammenholde observationerne med en vurdering af udtagne prøver
- En række afgørende parametre for eksisterende betonkonstruktioners holdbarhed kan ikke bestemmes med NDT-metoder, f.eks. karbonatiseringsdybde og chloridindhold
- Prøver er nødvendige for at gennemføre en række vigtige laboratorieanalyser, f.eks. petrografi



## Petrografisk analyse

- hvad bruges den til?

- Kvalitetskontrol
- Skadesanalyse
- Tilstandsvurdering
- Identifikation and ukendte mineralske faser
- Optimering og udvikling
- Forskning



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

## Petrografisk analyse

- hvad bruges den til og hvad indeholder den?

Anvendelsesområder:

- Kvalitetskontrol
- Skadesanalyse
- Tilstandsvurdering
- Optimering, forskning og udvikling

Indhold af fuld petrografisk undersøgelse:

- Makro-undersøgelse af planslib
- Mikro-undersøgelse af tyndslib
- Scanning elektronmikroskopi (SEM) af polerede slib med EDX analyse for bestemmelse af grundstofsammensætning



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

## Petrografisk analyse

### - makro-analyse i stereomikroskop

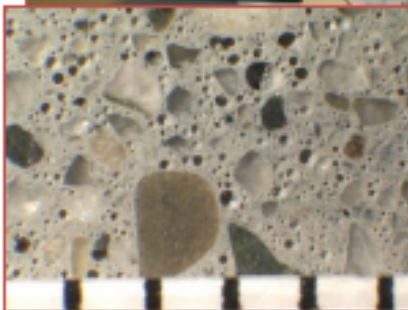


TEKNOLOGISK  
INSTITUT



#### Information om bl.a.:

- Tilslag
- Cement pasta
- Grove/fine revner
- Overfladens tilstand
- Luftporesystem
- Homogenitet, separation, konsolidering
- Karbonatisering
- Armering & korrosion



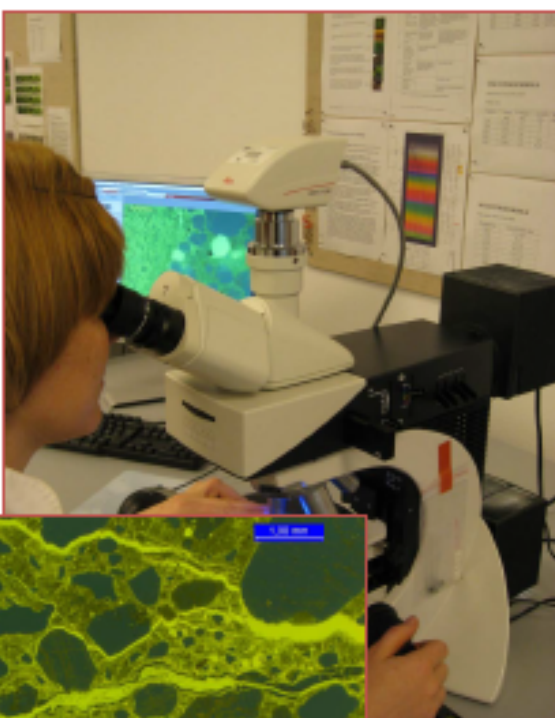
Analyse af planslib op til 40x forstørrelse

## Petrografisk analyse

### - mikro-analyse i polarisationsmikroskop

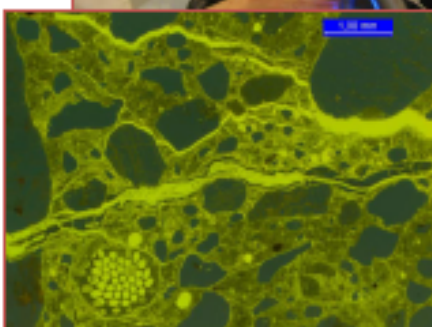


TEKNOLOGISK  
INSTITUT



#### Information om bl.a.:

- Betonsammensætning; sten, sand, cement, mineralske tilsætningsstoffer
- V/c-forhold og hydratiseringsgrad
- Pastahomogenitet
- Revner (ned til revnevidde på 10µm)
- Relativ aldersdatering af revner
- Pastadefekter, bleeding, etc.
- Karbonatisering og udludning
- Nedbrydningsmekanismer såsom alkaliskselreaktion, sulfatangreb, frostangreb, brandskader
- Mix design, udstøbningsfejl
- Luftporesystem



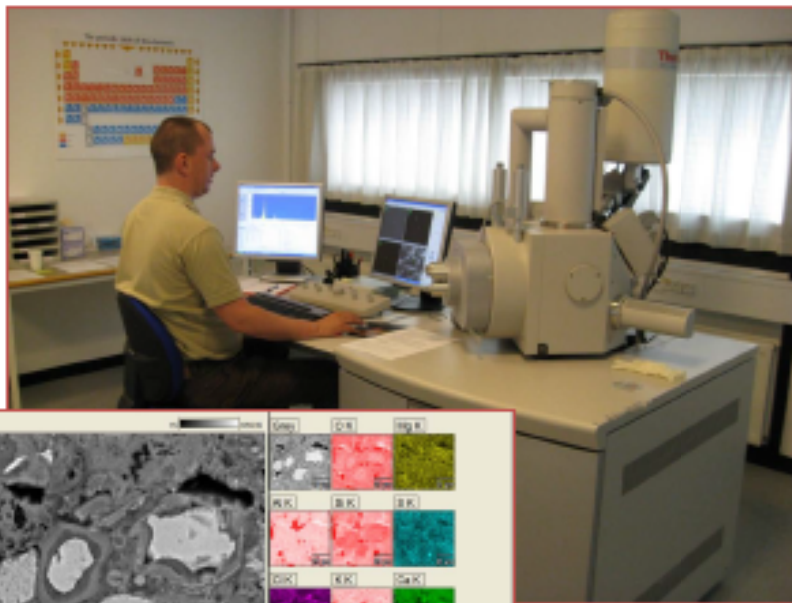
Analyse af tyndslib op til 400x forstørrelse

# Petrografisk analyse

## - mikro-analyse i scanning elektronmikroskop

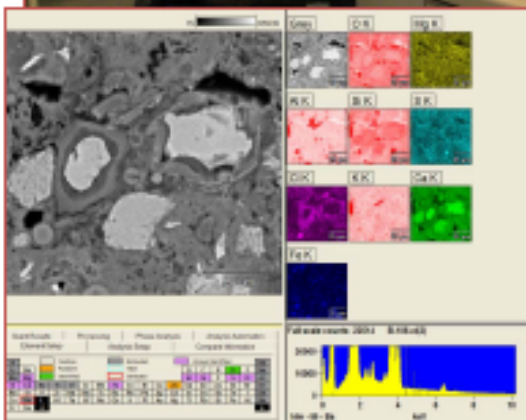


TEKNOLOGISK  
INSTITUT



### Information om bl.a.:

- Cementpastaens bestanddele og kemiske sammensætning
- kemiske angreb
- Ukendte mineralske faser
- Rest-reaktivitet i forbindelse med alkaliskselreaktion
- Forsinket ettringitdannelse DEF - "Delayed Ettringite Formation"
- Grundstofsammensætning ved EDX analyse



Undersøgelse af materialer i mange  
1000x forstørrelse

## Feltundersøgelse af beton

### - konklusioner

- En feltundersøgelse bør planlægges med en passende kombination af ikke-destruktive undersøgelser og prøveudtagning til kalibrering af observationer
- Undersøgelsesomfanget er typisk fastsat ved et kompromis mellem økonomi og udbytte, hvor erfaring spiller en stor rolle i valg af undersøgelsesmetoder



# Feltundersøgelse af beton

## - konklusioner

Fordele ved at anvende NDT-metoder er bl.a.:

- Ingen eller minimal beskadigelse af konstruktionen
- Muliggør hurtigt scan af store områder
- Kan ofte bruges hvor alm. metoder ikke er tilstrækkelige

Ulemper ved at anvende NDT-metoder er bl.a.:

- Dyrt at anskaffe
- Kræver specialister med stor erfaring
- Kalibrering med destruktive metoder er ofte nødvendig
- Resultater kan være svære at tolke. Det vil ofte være en fordel at kombinere flere NDT-metoder.

Tak for opmærksomheden!

