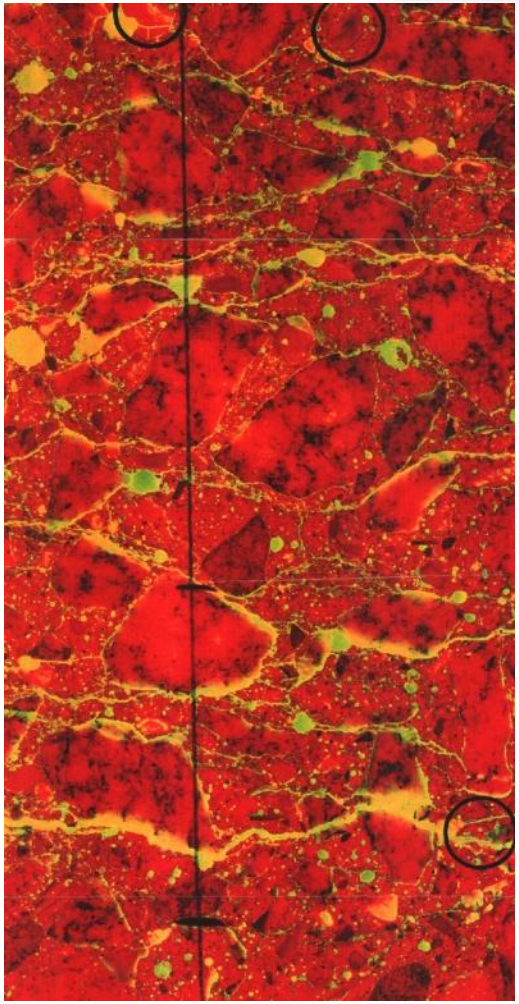
Til grænsen med de alkalikiselramte broer

Erik Stoklund Larsen

COWI

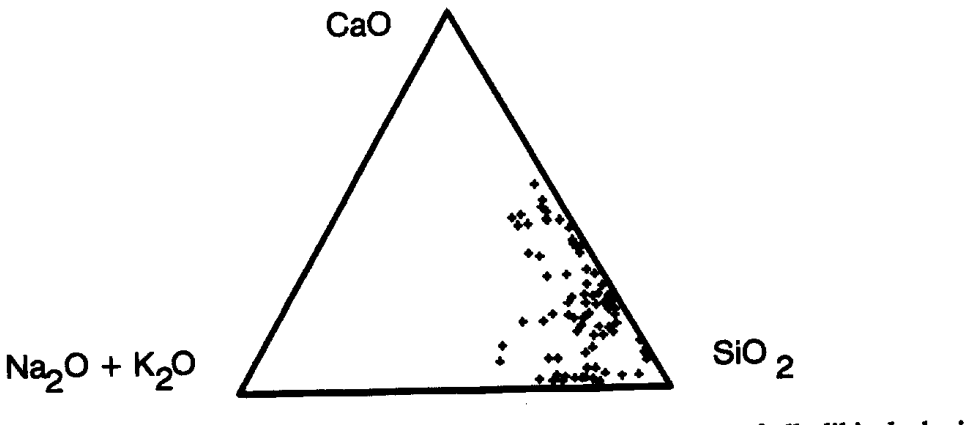
- Introduktion
- Urevnede tværsnit
- Revnede tværsnit
  - Dårligt armerede
  - Passende armerede

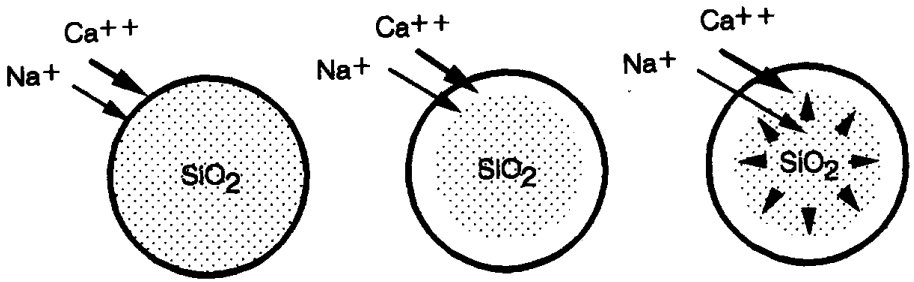
Alkalikisel reaktioner

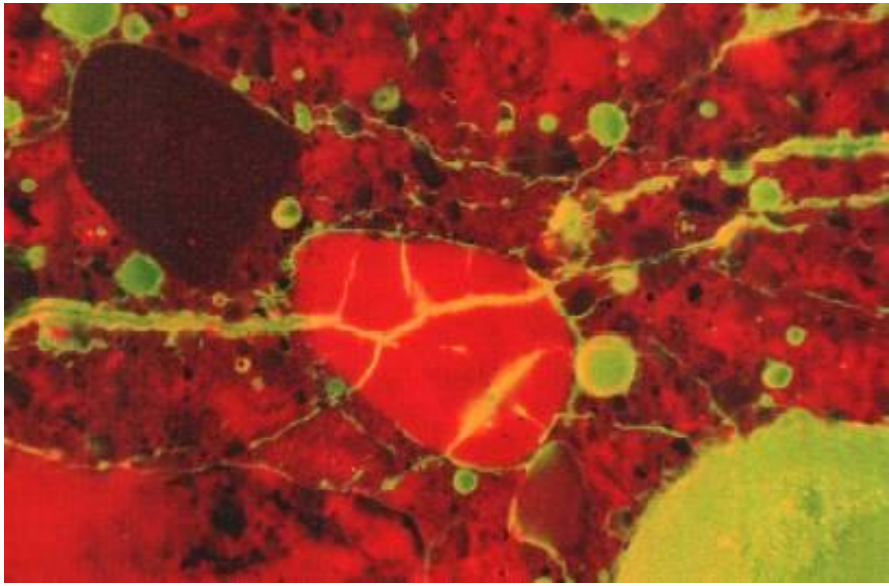


COWI

Mekanisme





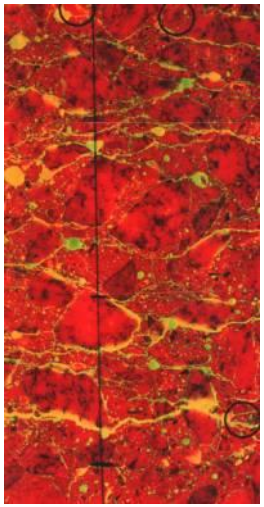


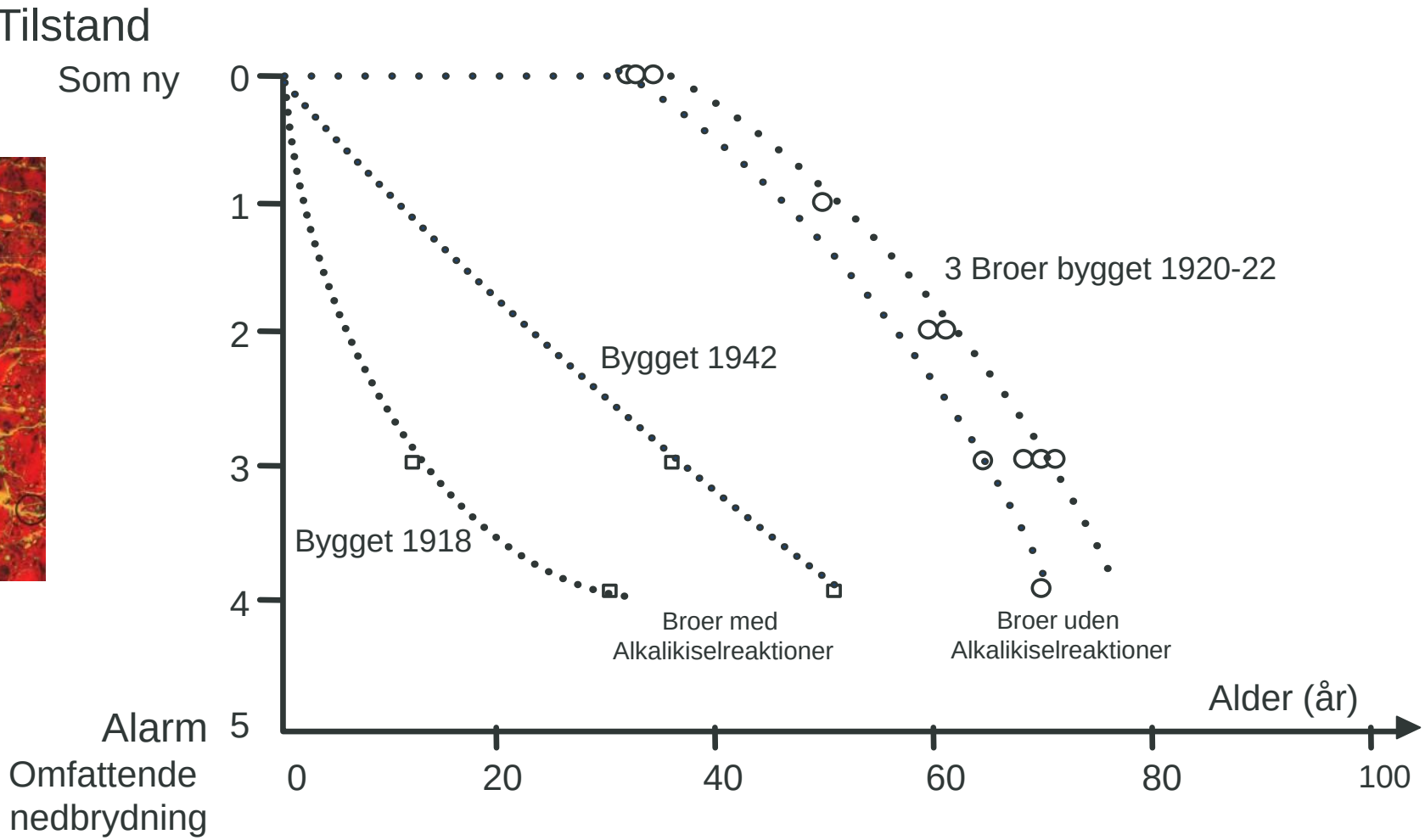
COWI

Matrix	Partikel	
$2Na^+$ $2OH^-$ $2Cl^-$ xH_2O Ca^{++}	Kisel $2Na^+$ $2OH^-$ $y\ H_2O$	Startsituation
↓	↓	Reaktion
$2\ Cl^-$ Ca^{++} $(x-y)H_2O$	Kisel $2Na^+$ $2OH^-$ yH_2O	Indledende ekspansion i fast fase og selvudtørring
↓	$y < m$ ↓	Fugtindtrængning og -optagelse
$2Cl^-$ Ca^{++} $2H_2O$	Kisel $2Na^+$ $2OH^-$ mH_2O	Fornyet ekspansion
↓	$m < n$ ↓	Forsat vandoptagelse
$2Cl^-$ Ca^{++} H_2O	Kisel $2Na^+$ $2OH^-$ nH_2O	Slutsituation med eventuel udflydende gel

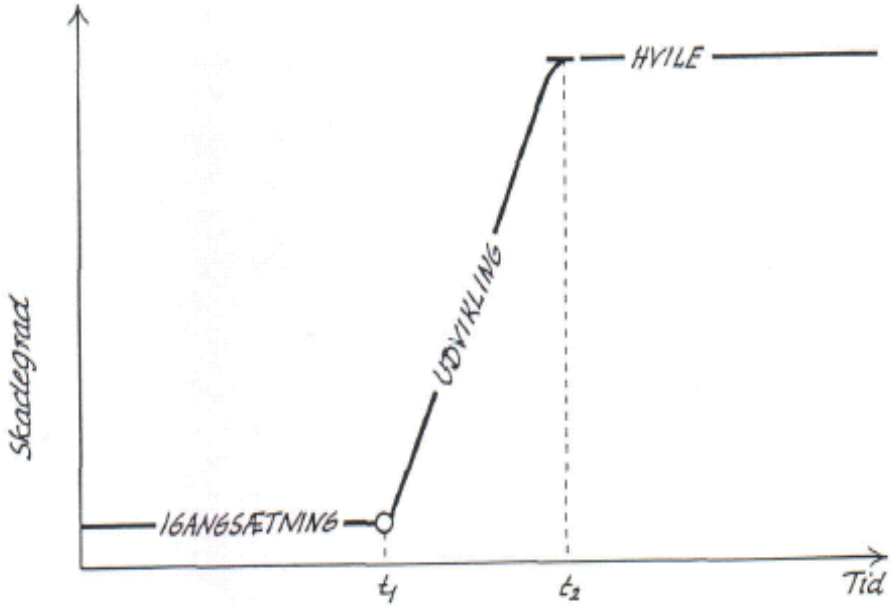
COWI

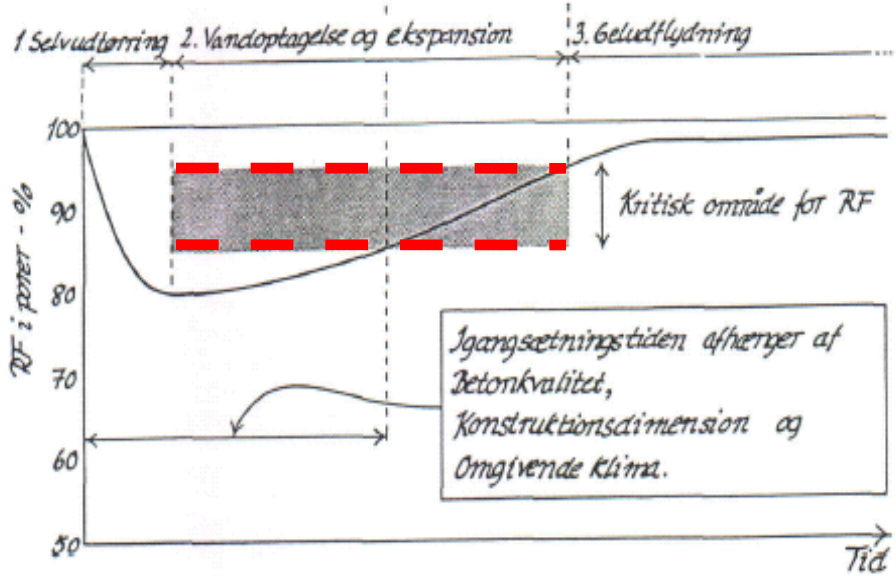
Broers levetid
(Jernbeton buebroer)

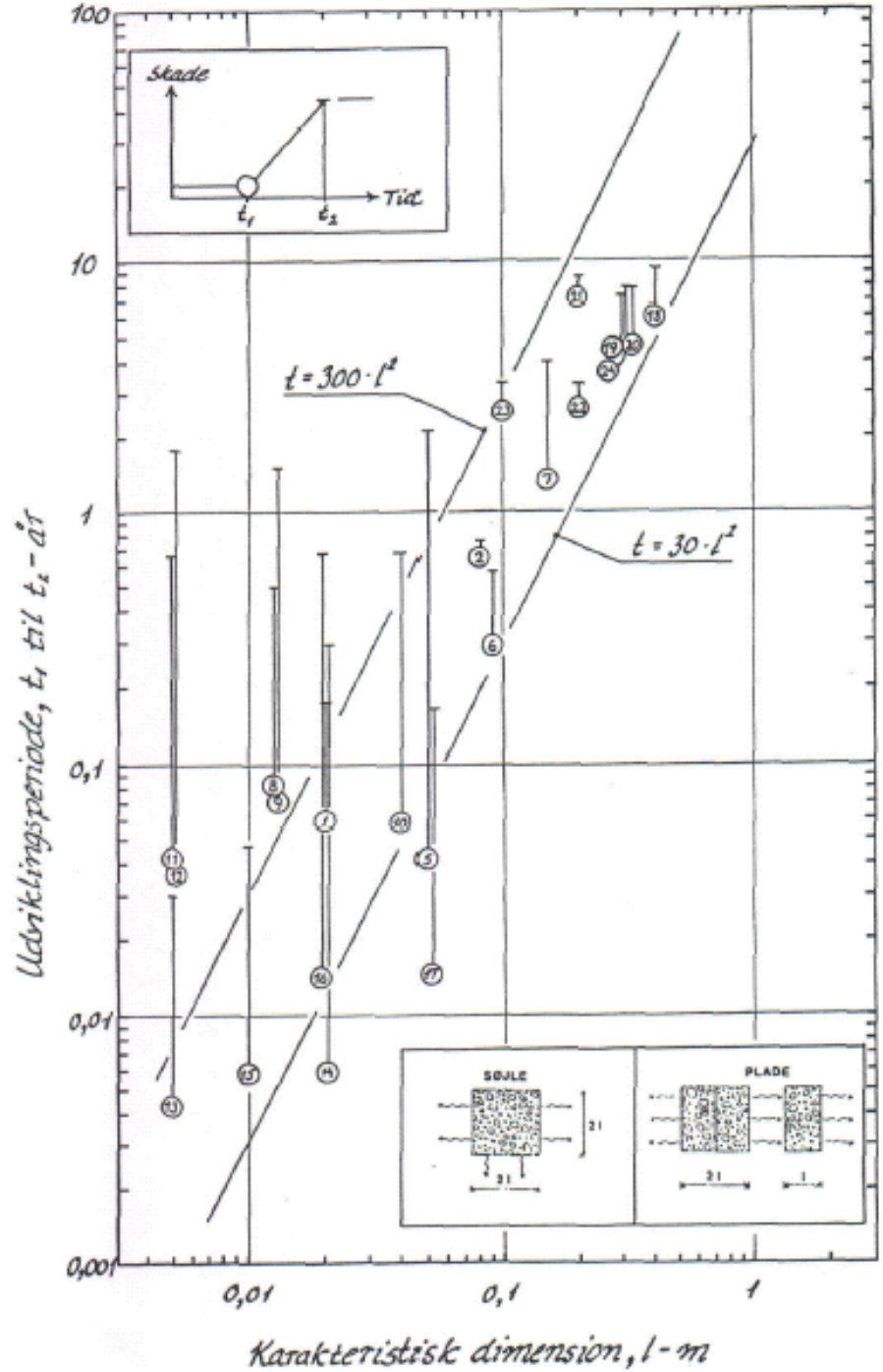


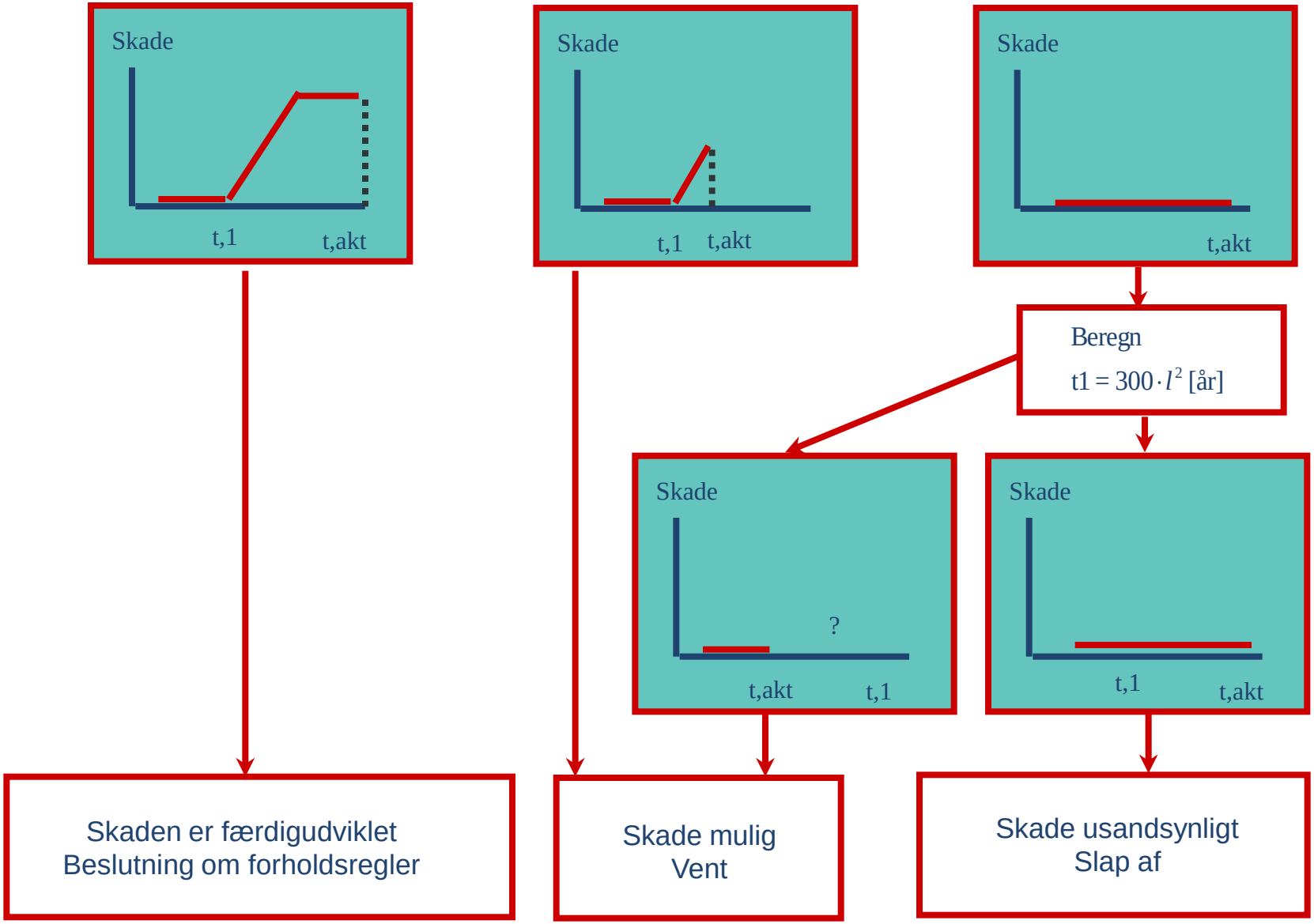


COWI


HVILE
UDVIKLING
IGANGSÆTNING
Skadegrad
t_1
t_2
Tid

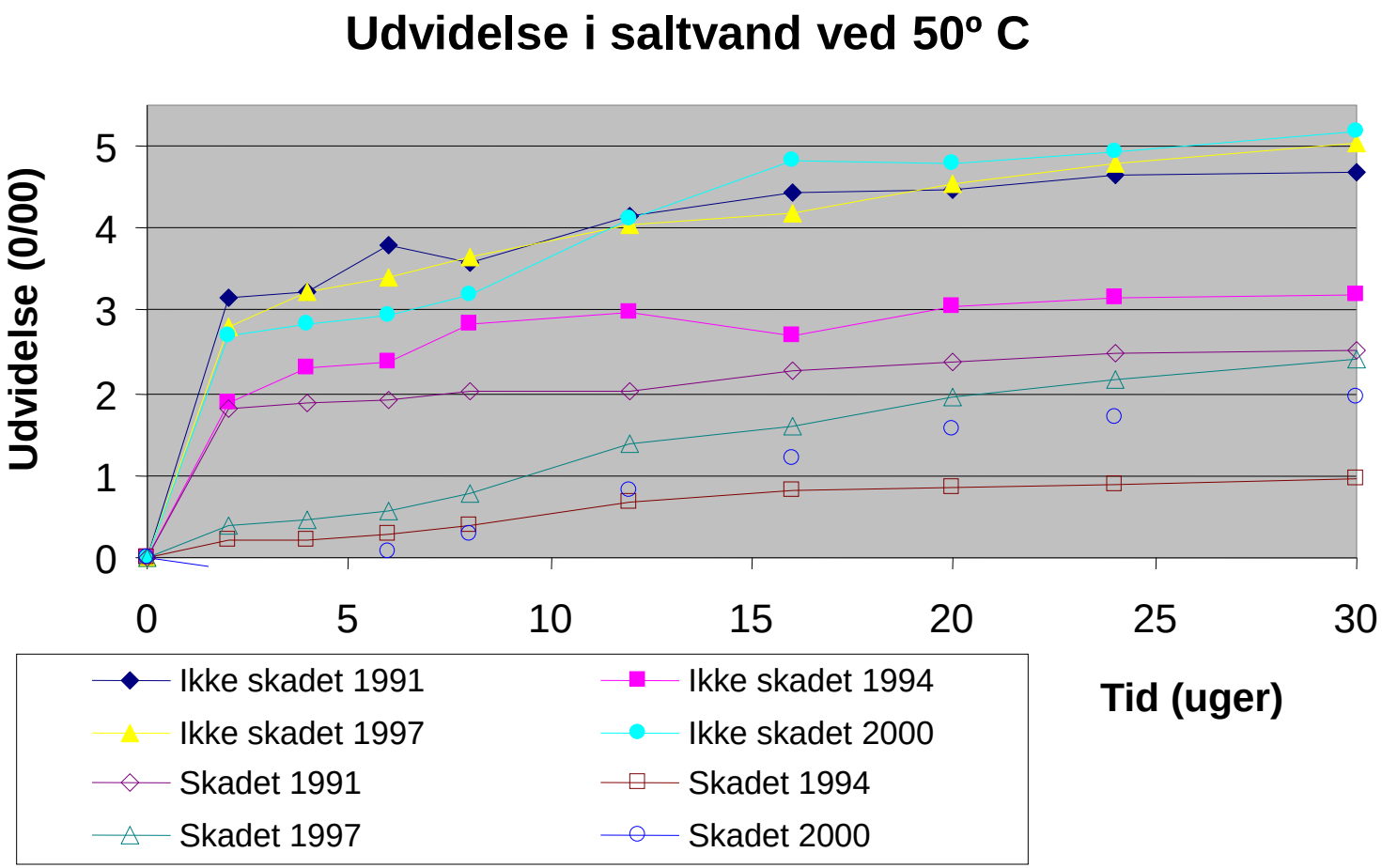

1 Selvudtørring
2. Vandoptagelse og ekspansion
3. Geludflydning
100
90
80
70
60
50
RF i porer - %
Kritisk område for RF
Igangsætningstiden afhenger af
Betonkvalitet,
Konstruktionsdimension og
Omgivende Klima.
Tid


Skade
Tid
t_1
t_2
100
10
1
0,1
0,01
0,001
$t = 300 \cdot l^2$
$t = 30 \cdot l^2$
SØJLE
PLADE
Udviklingsperiode, t_1 til t_2 - år
0,01
0,1
1
Karakteristisk dimension, l - m

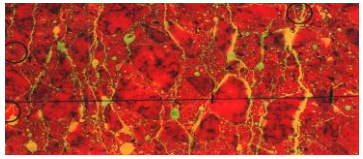

Skade
t,1
t,akt
Skade
t,1
t,akt
Skade
t,akt
Beregn
t1 = 300 · l² [år]
Skade
?
t,akt
t,1
Skade
t,1
t,akt
Skaden er færdigudviklet
Beslutning om forholdsregler
Skade mulig
Vent
Skade usandsynligt
Slap af

COWI

Restudvidelse af AKR-påvirket beton



Revnedannelse og nedbrydning

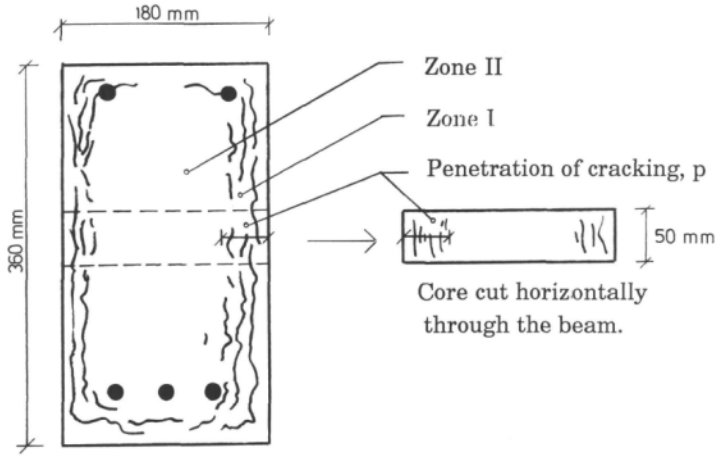


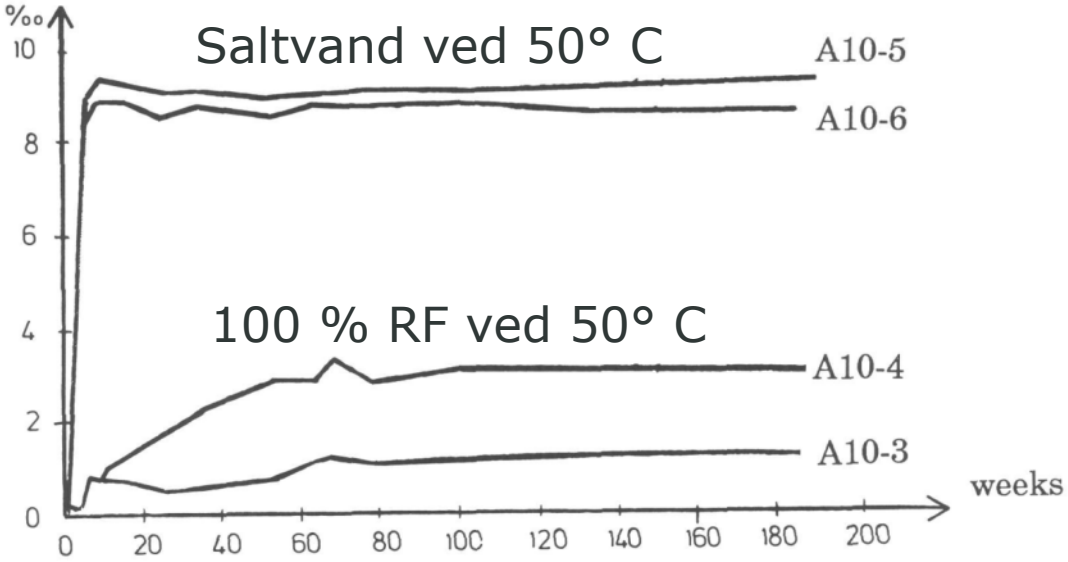
COWI

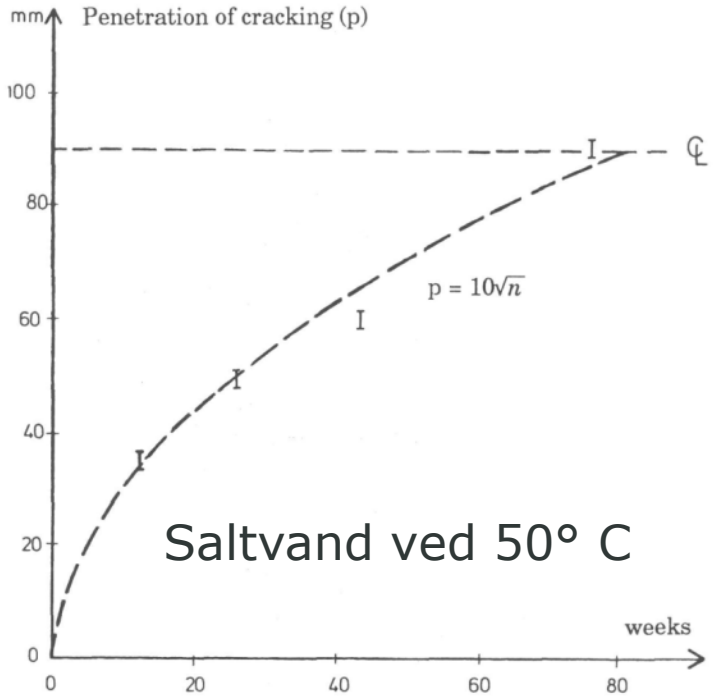
Revnedannelse

Revnedannelse og udvidelse

- Udvidelse sker fra overfladen og indefter
- Derved dannes indre spændinger i betonen
- Spændinger udløses ved revnedannelse – primært som overfladeparallelle revner





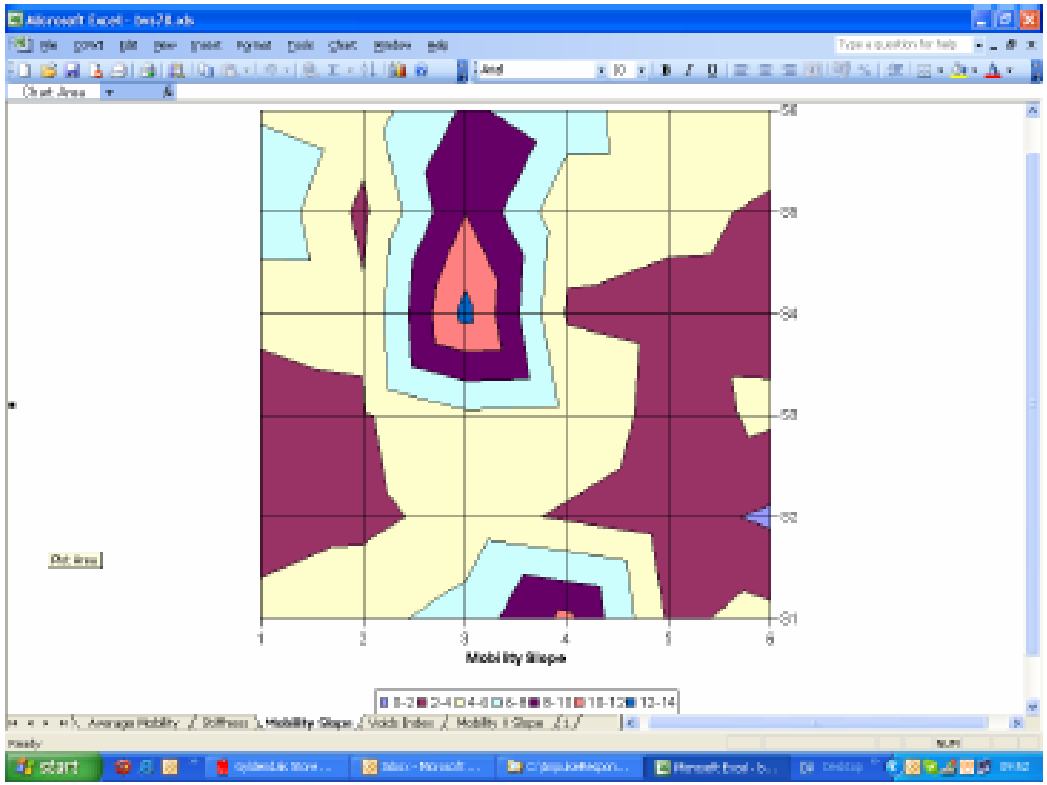


Tvillingebroerne ved Borrevejle Vig

Skjulte skader
- Impulse Respons (Smash)

Akustisk metode til detektering af:

- Delamineringer i betonkonstruktioner
- Hulrum i/under/bagved betondæk og vægge
- Stenreder



15 kerner udboret med henblik på kalibrering - god overensstemmelse med smash-målingerne

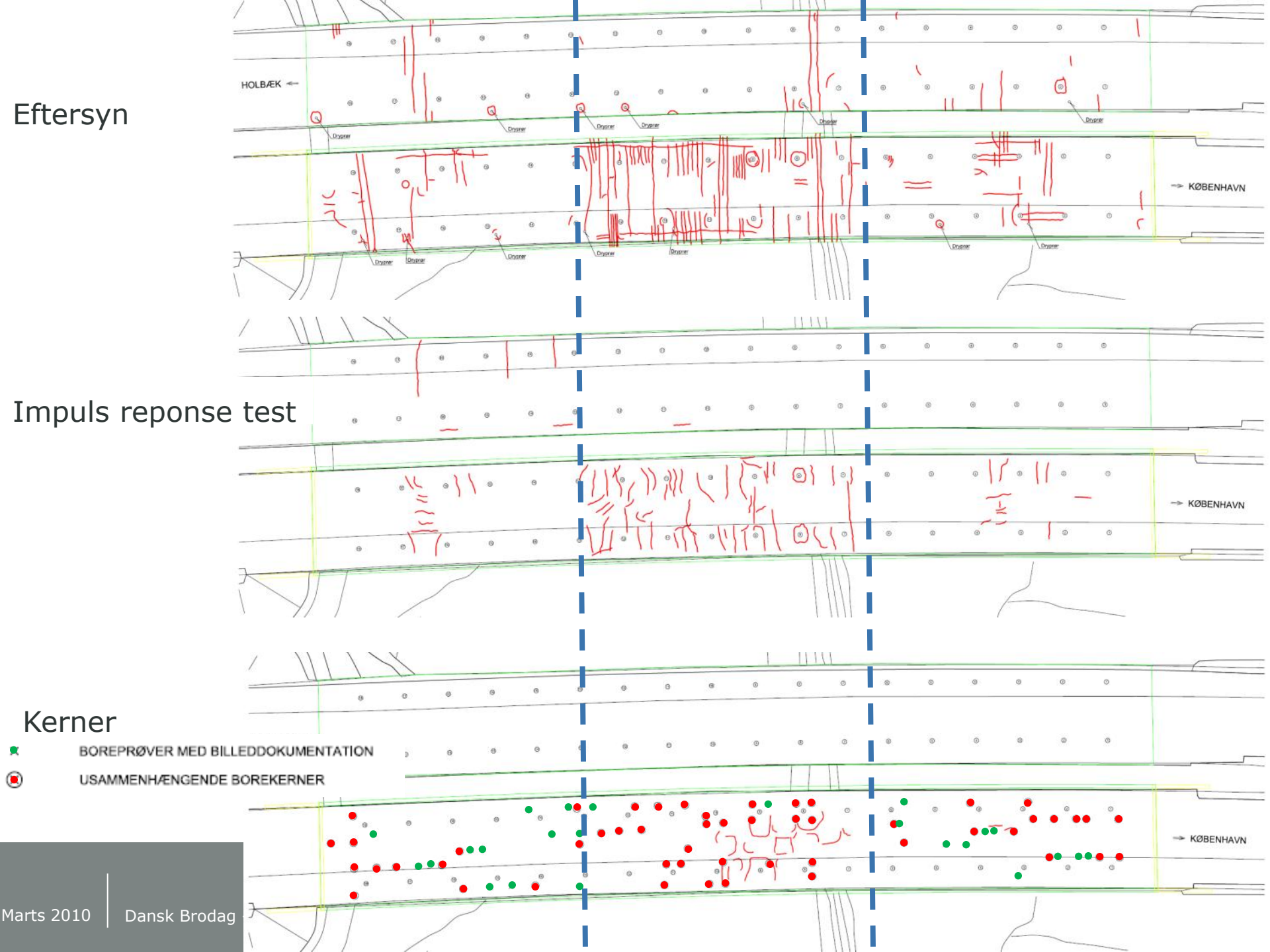
COWI

Broen ved Borrevejle Vig
- Fuld skala kalibrering

Eftersyn

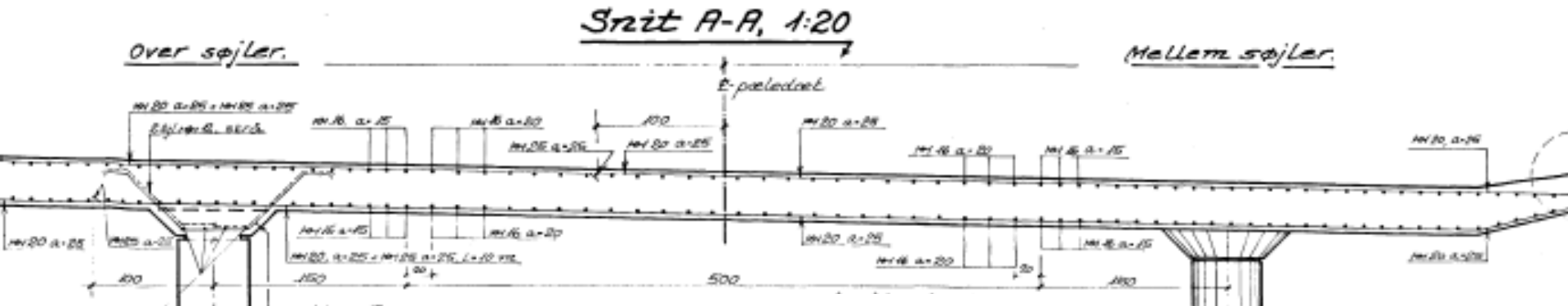
Impuls reponse test

Kerner



Hvordan går broerne så i stykker?

Broen ved Borrevejle Vig
Pæledæk med over- og undersidearmering uden bøjler

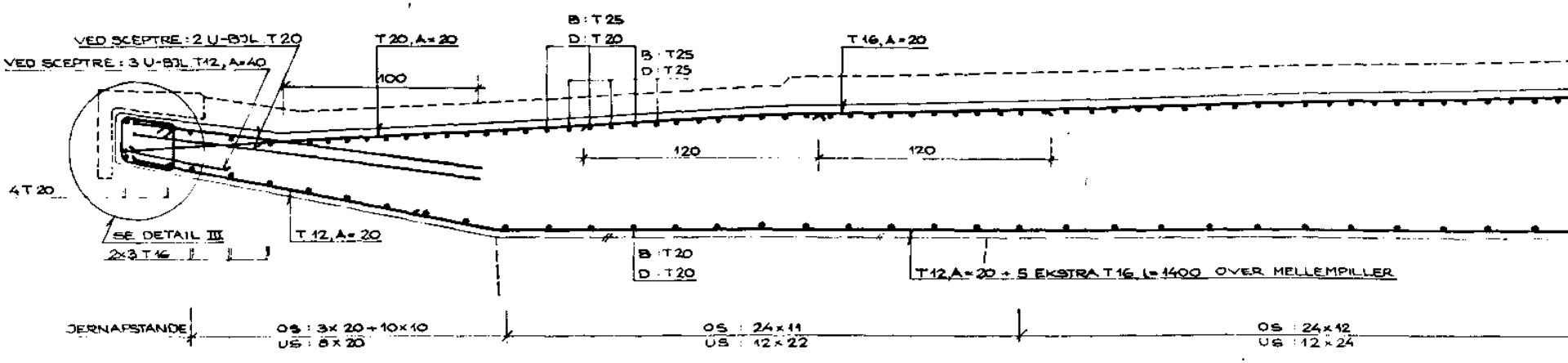


DANSK SPECIALTRANSPORT

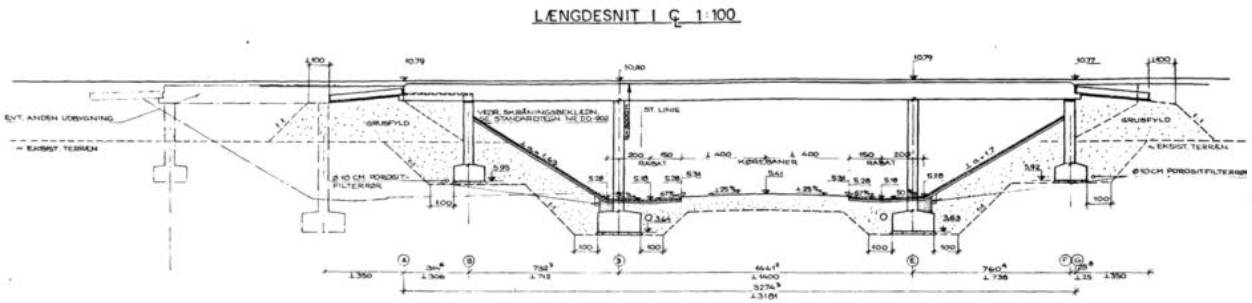
DANSK SPECIALTRANSPORT

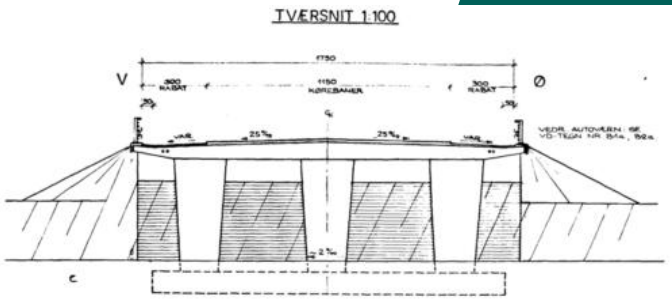
Ny bro!

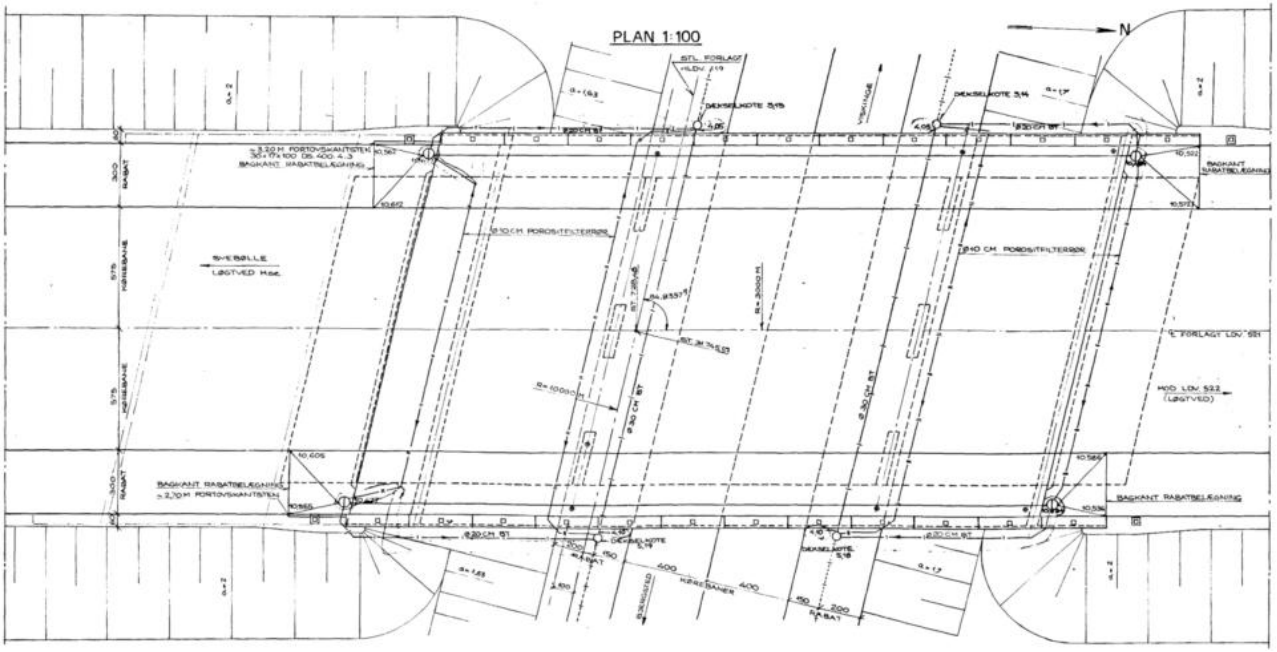
Broerne ved Skovvejen mod Kalundborg (119-0-017 og -018)



Bro 119-0-018

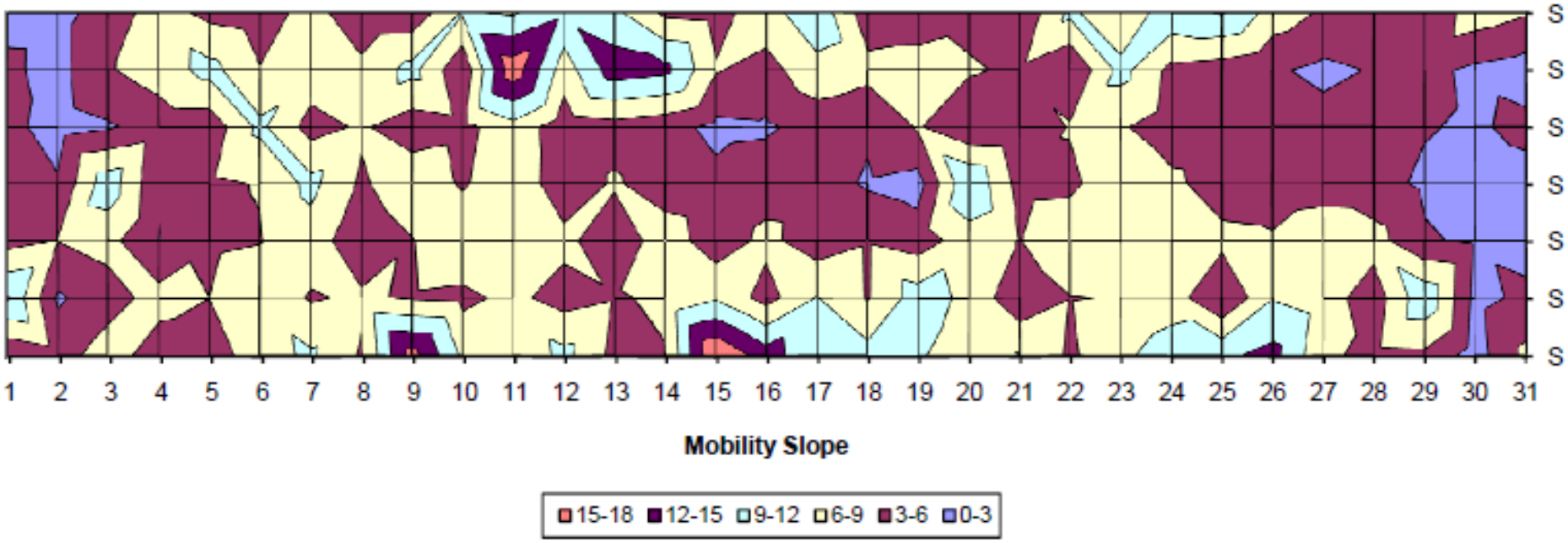






COWI

Bro 119-0-018 - Skovvejen



Alt under 3 er i orden – dvs. stort set intet!

FILM!

COWI

Afprøvning af bjælker i laboratoriet DTU i begyndelsen af 90'erne

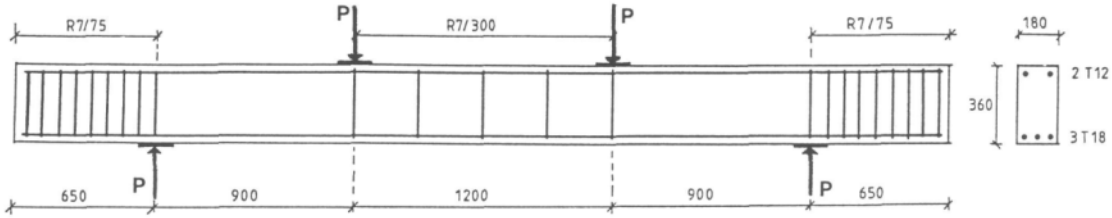
Laboratorieforsøg

Lagring ved 50 °C og i saltvand

Resultater:

- Reduktion af trykstyrken med 1/3-del
- Forskydningsstyrken er ikke reduceret
- De revnede bjælker udviste øget sejhed ved brud
- Forankringsstyrken af armeringen var reduceret med godt 20 %

- At de fysiske egenskaber ikke er reduceret, søges forklaret ved at der kan være sket en forspænding af hovedarmeringen
- At revnemønsteret resultere i øget sejhed og derved mere effektiv spændingsfordeling i forskydningszonerne (bue virkning)



COWI

104-003 Salpetermosevej

1977: Opført

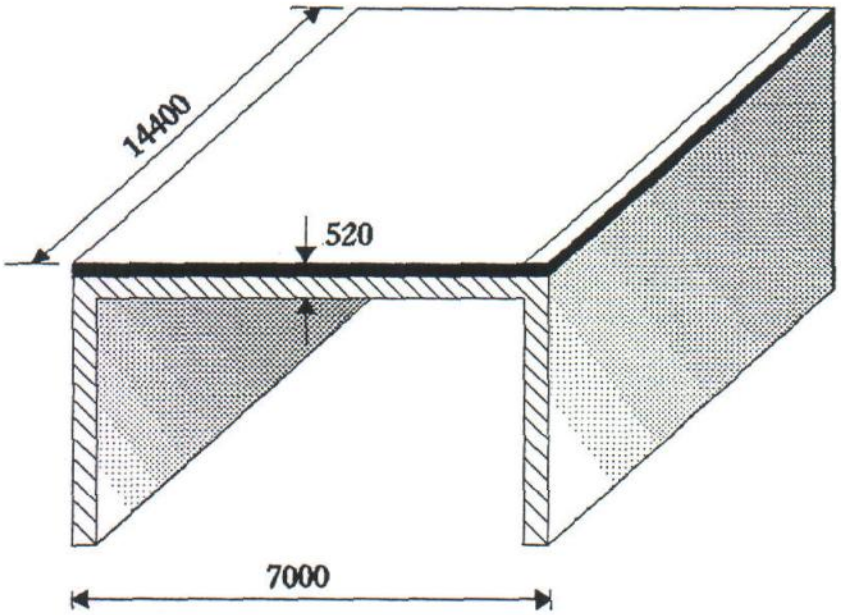
1982: Mange fine grovmaskede revner på facaderne

1985: Revnerne havde bredt sig ind i dækket og der konstateres hvide udfældninger. Årsagen blev fastlagt til AKR.

1986-1992: Broen blev holdt under observation. Skaderne breder sig til vederlag og fløje.

1992: De besluttedes at udskifte bropladen og reparere vederlag.

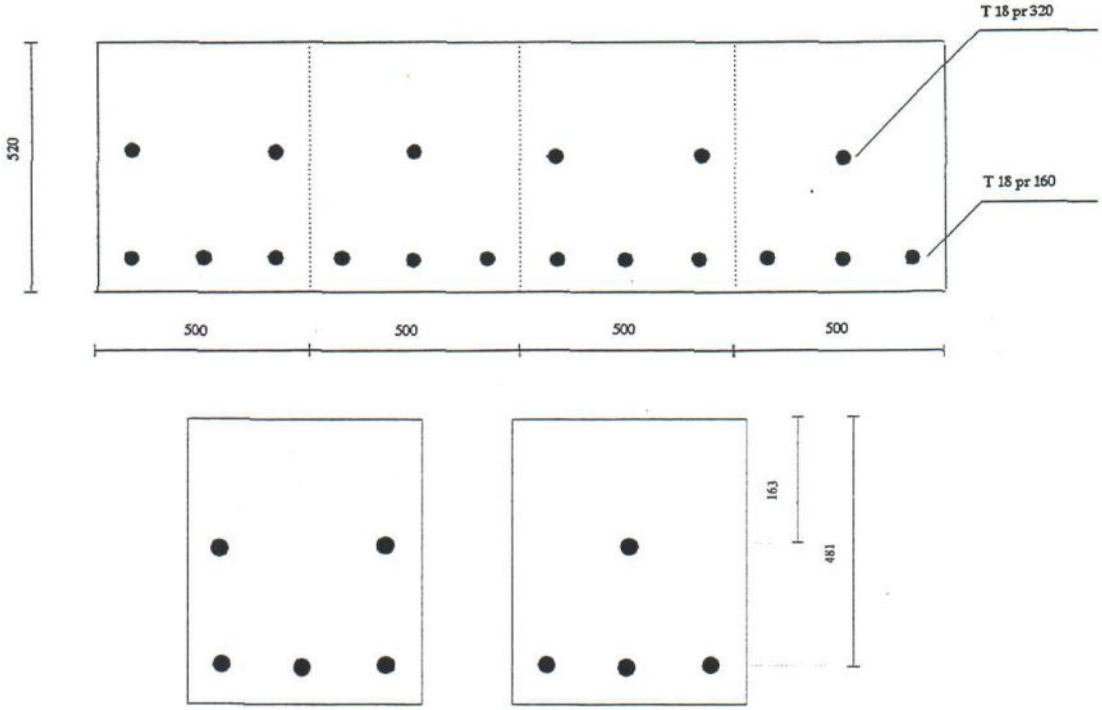
1993: Bropladen blev skåret til bjælker der afprøvedes på DTU



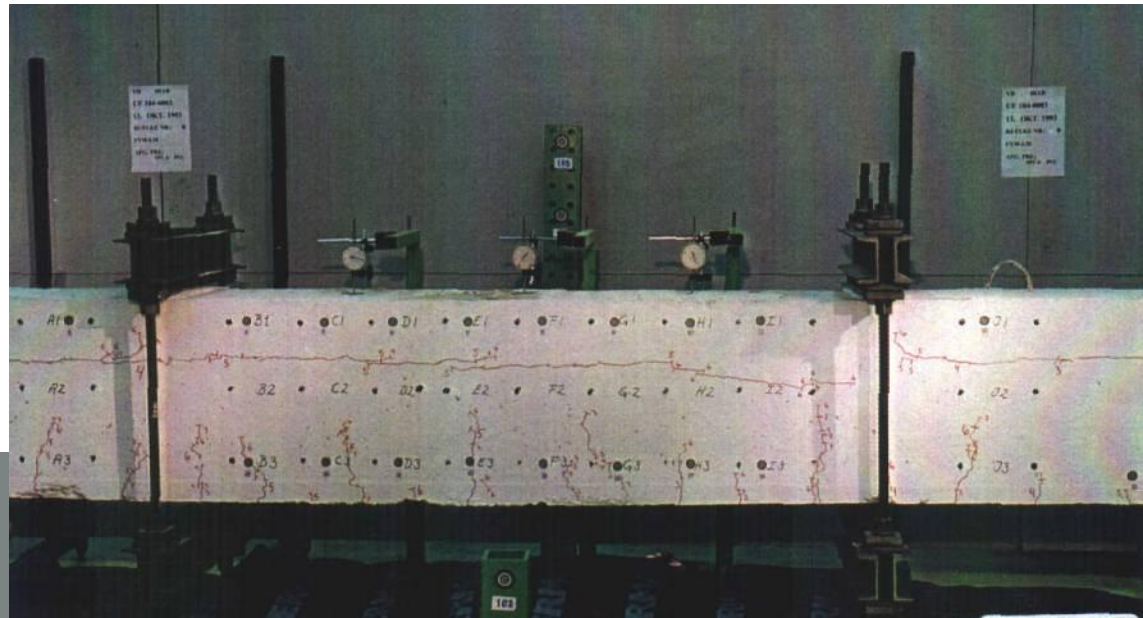
Pladekonstruktion

Salpetermosevej - resultater

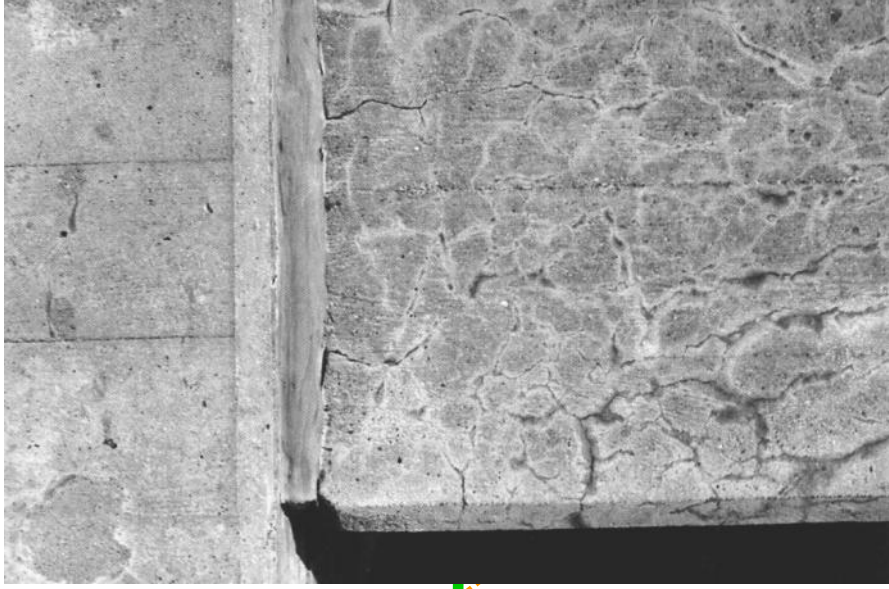
- Trykstyrken uændret fra 1977 til 1993 (ca. 20 MPa)
- Brodækket er voldsomt revnet pga. AKR.
- Udviklingen i skader har været langsom i perioden 1985-1993.
- Revner forløber som decideret lagdeling af dækket.
- Afprøvning af statisk og dynamisk bæreevne – simpelt understøttede bjælker
- Resultatet af forsøgene viste at broens bæreevne stort set var intakt.

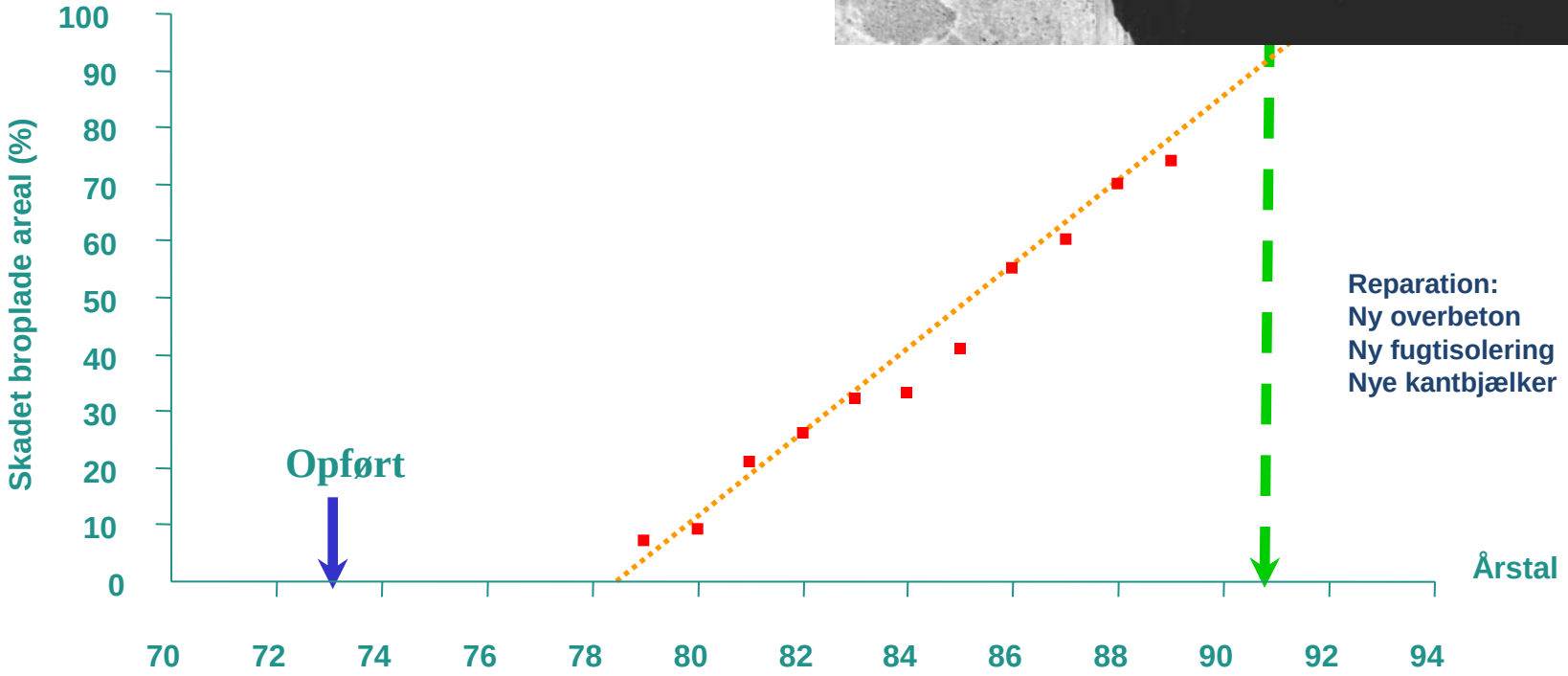


4 stk. bjælker til afprøvning



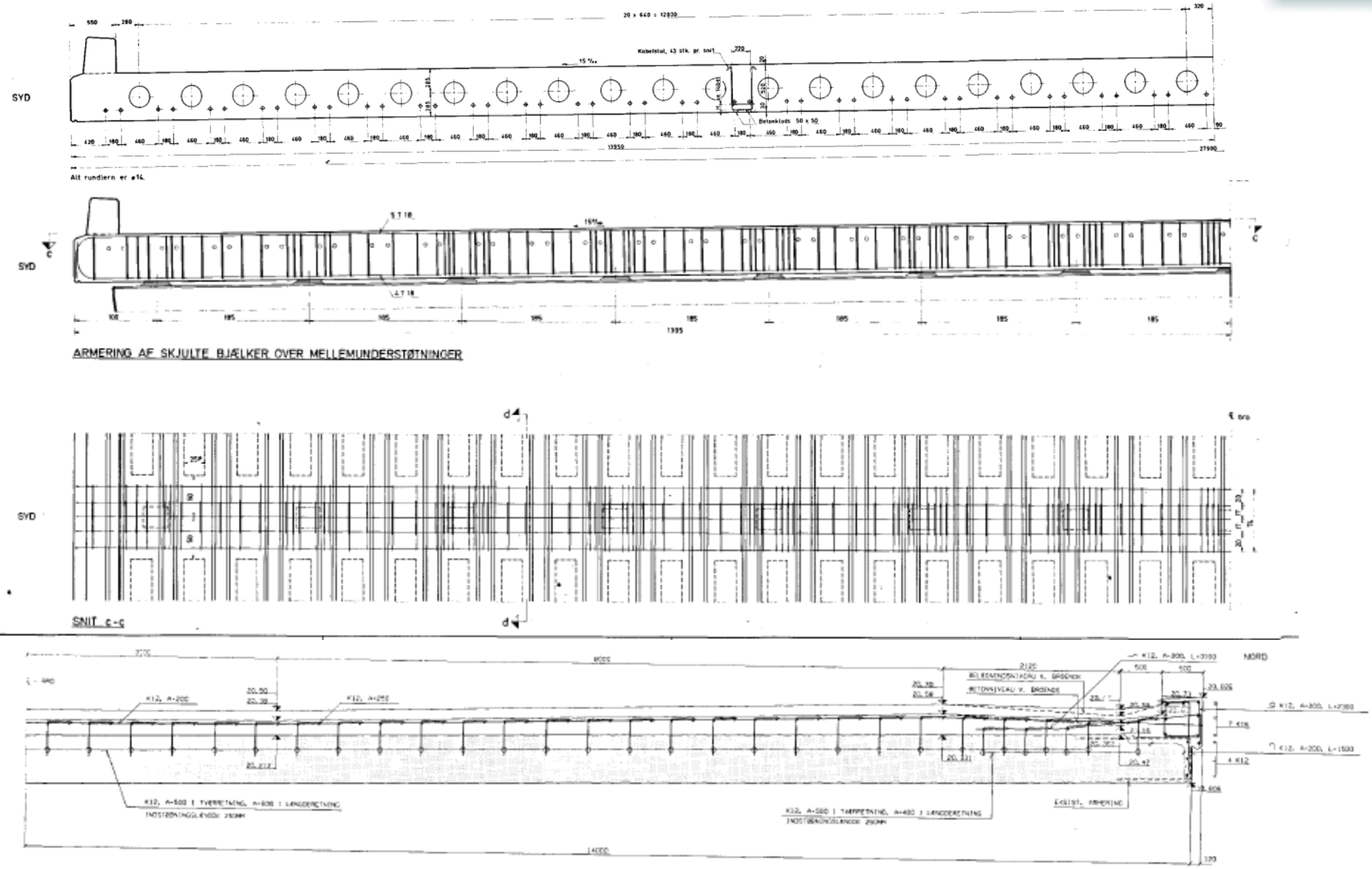
Bro nr. 136-008 ved Ølstykke
Udvikling i alkalikiselreaktioner



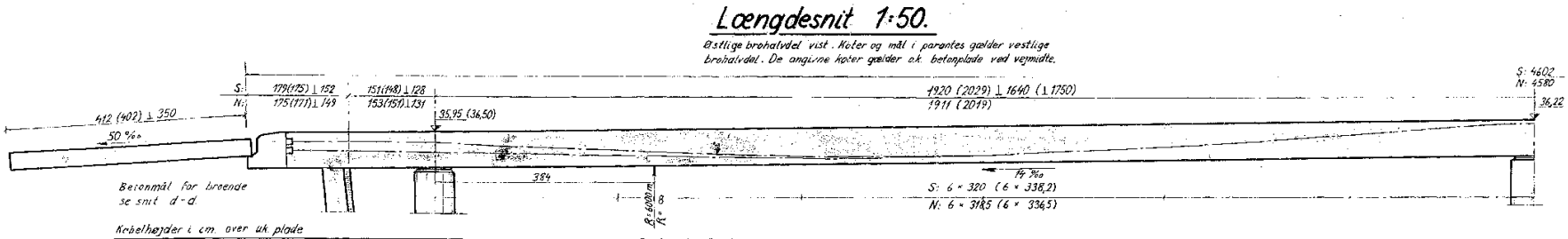


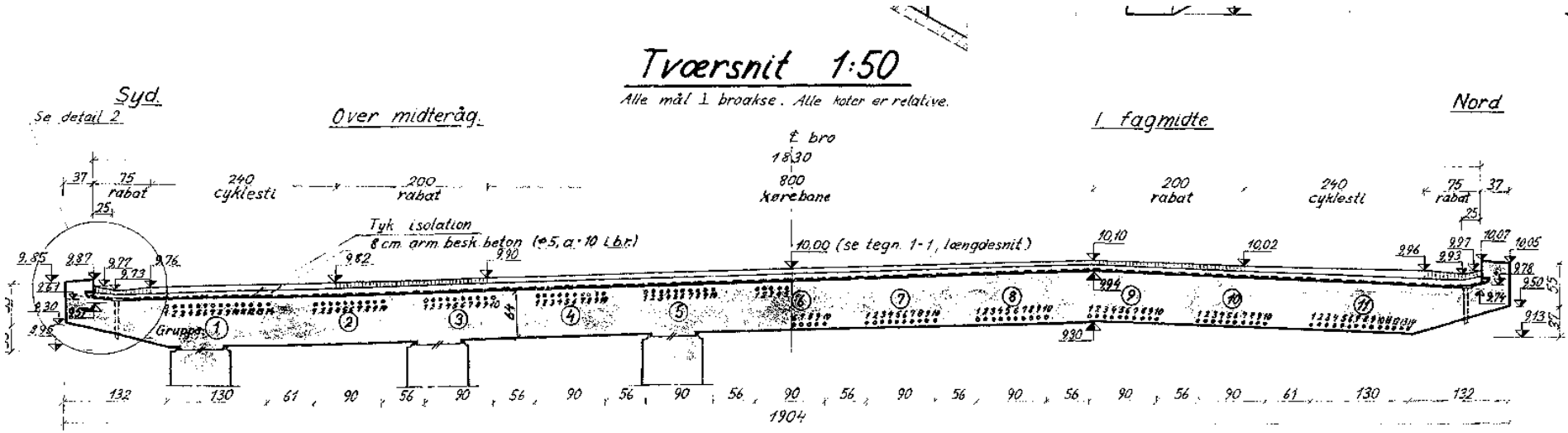
COWI

Bro 136-008 ved Ølstykke



Bro 140-0-003 UF af Isterødvejen





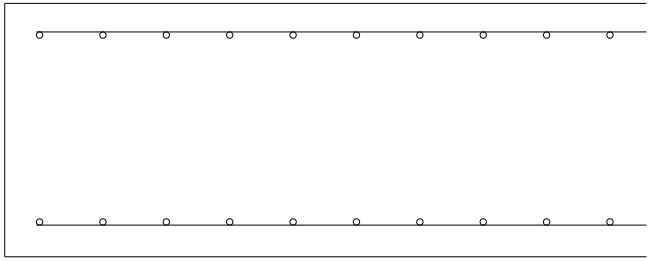
COWI

Bro 140-0-003 UF af Isterødvejen

- Forstærkning via profileringsbeton på bropladen

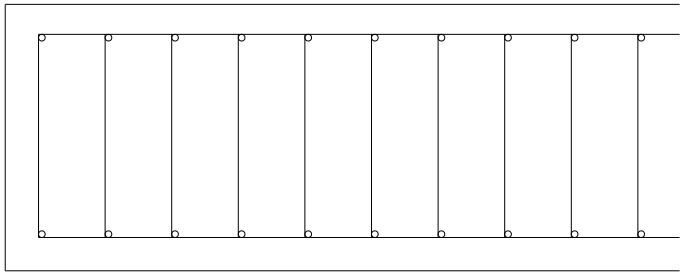
Afslutning

- AKR-broer med ingen bøjler eller ringe sammenhæng i armering skal have speciel opmærksomhed og udskiftning bør overvejes.



Disse broer bør holdes under skærpet opsyn!

- AKR-broer med armeringsnettet bundet godt sammen kan med fordel repareres.



Det skal vurderes fra sag til sag om broen skal udskiftes eller repareres!