

Fugt og temperaturmåling via sensorteknologi i byggeriet

Seminar 10. november 2010

Peter H. Møller
Rambøll

Indstøbning af sensor

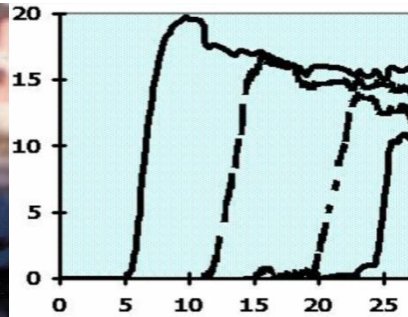
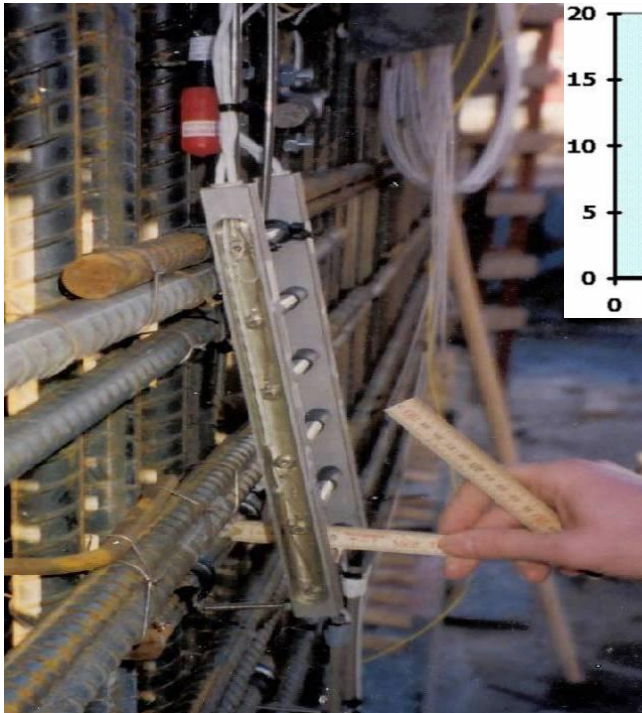


STORE KONSTRUKTIONER HOVEDOMRÅDER FOR MÅLING

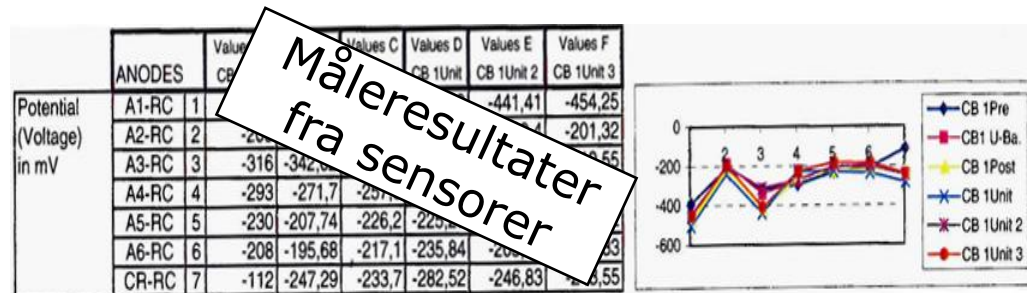


Kloridindtrængning i ubeskyttet beton Tæthed for beskyttende membran

KLORIDINDTRÆNGNING I UBESKYTTET BETONOVERFLADER



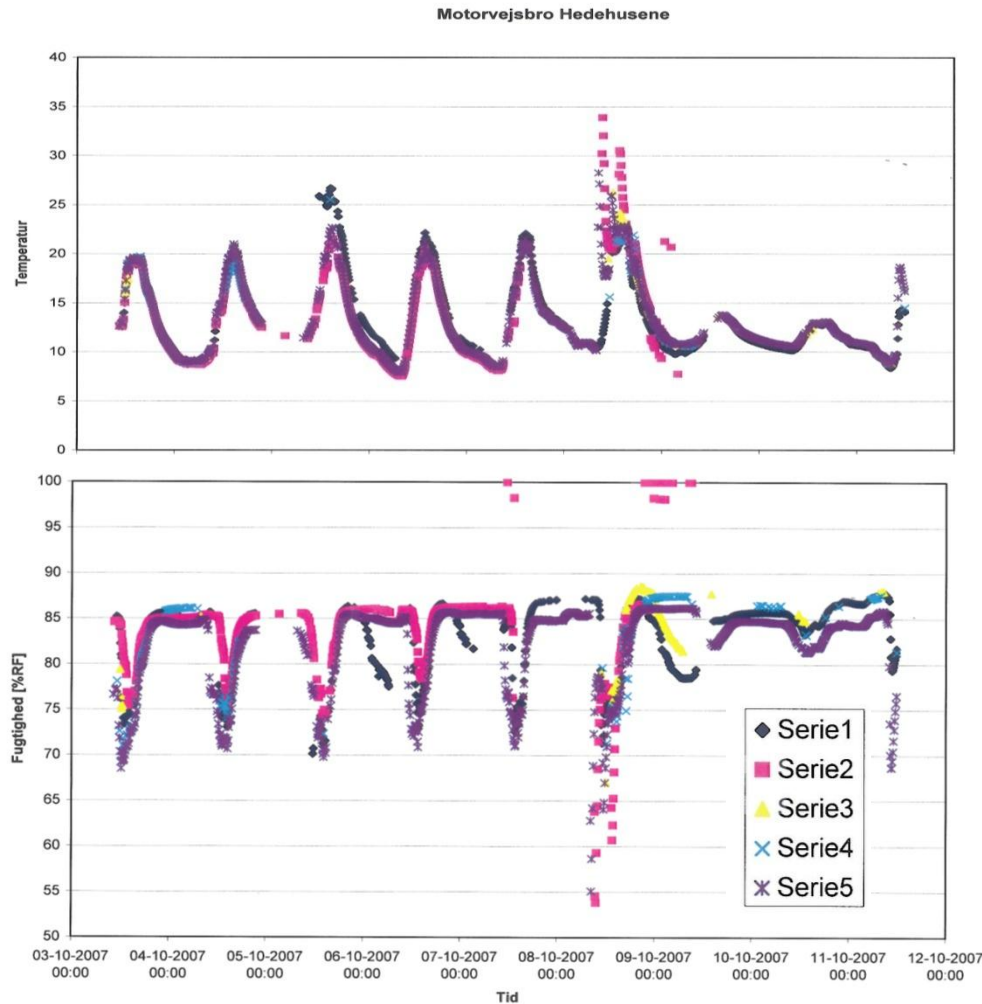
Praksismålinger har vist at kloridindtrængning er vanskelig at måle



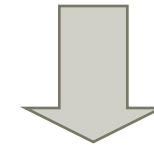
RAMBOLL

Monitering: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

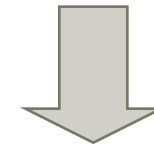
KLORIDINDTRÆNGNING I UBESKYTTETE BETONOVERFLADER



De indledende målinger fra trådløse sensorer viser stor temperaturpåvirkning



Præcis fugtmåling bliver meget vanskelig



Kloridindtrængningsmålinger nedprioriteres

KLORIDINDTRÆNGNING YDERLIGERE ÅRSAG TIL NEDPRIORITERING



Overfladebaserede
undersøgelsesmetoder er effektive



Nye konstruktioner designes, så
overfladeundersøgelser er mulige

FOR SEN UDSKIFTNING AF FUGTISOLERING



Fugtisolering er den største renoveringspost
Fortsat relevant



RAMBØLL

Monitering: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

FOR TIDLIG UDSKIFTNING AF FUGTISOLERING



Tilstandsvurdering: membran
ældet men næppe utæt



Efter fjernelse af membran: Ingen
tydelige utætheder i membran

Membranudskiftningen kunne være udskudt, hvis utætheder kunne registreres

UDGIFTER VED TRADITIONELLE UNDERSØGELSER



Direkte undersøgelser er kostbare



og medfører trafikantgener

UDGIFTER VED ANVENDELSE AF SENSORER



Kabler

Sensor

Forsinkelse af
støbearbejde

Tidlig investering (NPV-metode 5%):
30 år før anvendelse: x 3
50 år før anvendelse: x 9



Ofte mere end
10 m kabler

Expert til måling
på sensorer



RAMBØLL

Monitering: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

FELTMÅLINGER PÅ STORE KONSTRUKTIONER



Sensorer til feltafprøvning

RAMBOLL

Monitering: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

AFPRØVNING PÅ NYSTØBTE BRODÆK



Sensorer placeres i udsparinger, afdækket med træplade og lukket med mørtel

Hovedanvendelsestidspunkt: 30-50 år



RAMBOLL

Monitering: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

AFPRØVNING PÅ DELREPARERET BRODÆK



Ved samling med oprindelig membran

Hovedanvendelsestids punkt: 10-20 år

Sensorer placeres i trækasse, som indstøbes direkte i beton



Op mod kantbjælke



RAMBOLL

Monitering: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

Brodek, måling under eksisterende membran



Sensorer indkapslet i træboks indstøbes i hul boret gennem belægningen

Hovedanvendelsestidspunkt: 5-20 år

INDSTØBNING AF SENSORER, UDFØRELSE



RAMBØLL

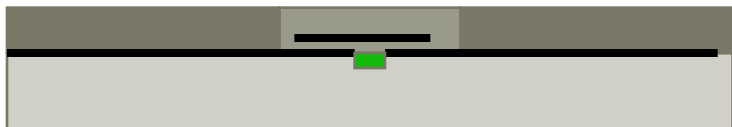
Erfaringer:

- Entreprenører kan indstøbe sensorer,
- Sensormontering kan billiggøres
- Med lav sensorpris kan mange sensorer etableres
- Behov for lokalisering af sensorer



Monitering: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

BRODÆK, MÅLING UNDER EKST. MEMBRAN



Ved særeftersyn kan sensorerne indlægges uden større problemer.

I fremtiden kan det måles om der trænger vand ind under membranen

Nedlægningen kræver dog store huller, og eventuel fugtindtrængning kan skyldes dårlig tætning af hullet



Ny monteringsmetode bør udvikles

RAMBØLL



Monitering: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

AUTOMATISERET DATAINDSAMLING



5 sensorer på række kan registrere med retningsbestemt antenne, op til 20 m væk



Automatiseret on-line måling

Stationær målestation kan også benyttes som mobil målestation



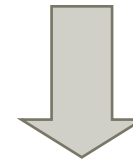
Relativt kostbart og vedligeholdelseskrevende udstyr

AUTOMATISKE MÅLINGER

- Lagring af målinger sker helt automatisk
- Få meter rækkevidde med alm. stavantenne
- Rækkevidde med retningsbestemt antenne, min. 20 m



- Ved håndholdte målinger skal sensorplacering kendes
- Ved overvågning kan hver antenne kun overvåge få sensorer

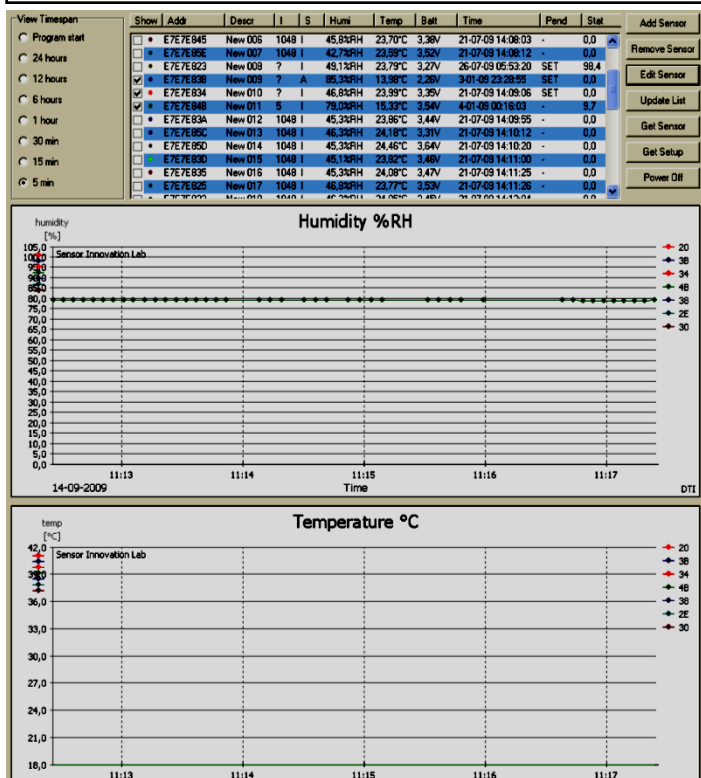


- Kostbart at overvåge mange sensorer på 1 bro



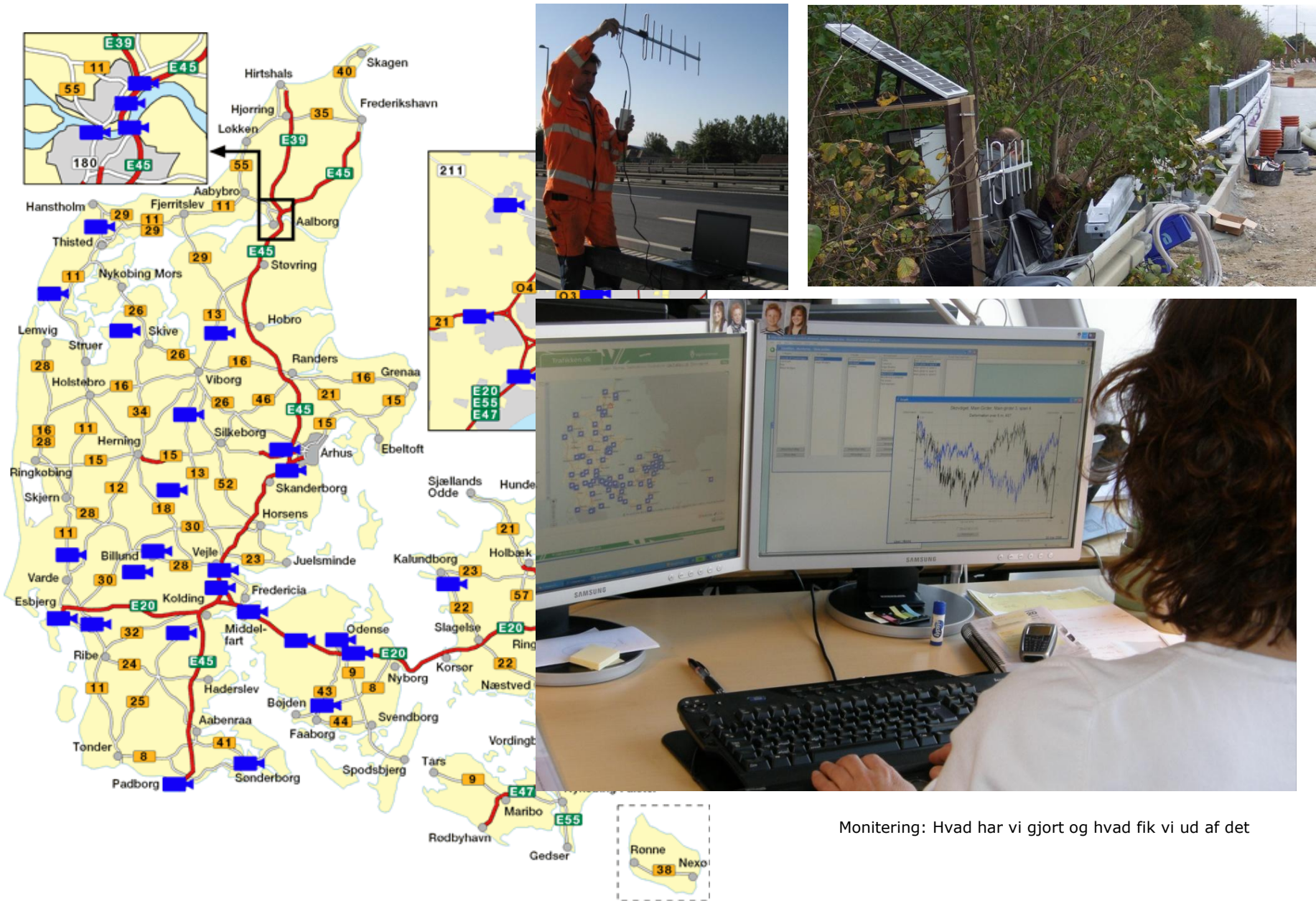
HÅNDHOLDTE MÅLINGER

Målinger ses på skærm
Målinger overføres direkte i
database



Monitering: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

BESLUTNINGSSTØTTESYSTEMER



Monitering: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

OVERSIGT OVER SENSORTILSTAND

Tabel 1. Oversigt over status for de installerede sensorer.

Bro	Sensor nr.	Installeret	Konstruktion	Seneste måling	Status 25/10 2010	Leveringsdato for sensorer
Bro 013-021.00, Skovdiget, Østbro	E820	juli 2009	Kantbjælke, under fugtisoleringen	20/7 2009	Defekt	April/maj 2009
	E82B			6/9 2009	Defekt	
	E83B			NA ¹	Defekt	
	E830			6/9 2009	Defekt	
	E84B			6/9 2009	Defekt	
	E834			NA ¹	Defekt	
Bro 011 20091.00, Borrevejle Pæledæk, Nordbro	E821	august 2009	Broplade, under fugtisoleringen	NA ¹	Defekt	April/maj 2009
	E85E			NA ¹	Defekt	
	E839			23/6 2010 ²	Defekt	
	E844			2/8 2009	Defekt	
Bro 011 20109.00, UF af bane på Holbæk motorvejen, Nordbro	E836	september 2009	Broplade, under fugtisoleringen	2/9 2009	Defekt	April/maj 2009
	E83E			NA ¹	Defekt	
Bro 0013-0-028.00/10, Fiskebæk-broen, Øst og Vestbro	E822	juni 2010	4 stk. i broplade, under fugtisoleringen. 4 stk. i top af travers, under dilatationsfuger	31/8 2010	Defekt	Maj/juni 2010
	E823			25/10 2010	Delvist OK ³	
	E824			25/10 2010	Delvist OK ⁴	
	E826			25/10 2010	Delvist OK ⁴	
	E829			31/8 2010	Defekt	
	E831			25/10 2010	Delvist OK ⁴	
	E832			27/7 2010	Defekt	
	E833			25/10 2010	Delvist OK ⁴	
Bro 13-0-021.10, Bispeengbuen, Sydbro	E83C	juli 2010	Broplade, under fugtisoleringen	25/10 2010	OK	Maj/juni 2010
	E84A			15/7 2010	Defekt	
	E85D			25/10 2010	OK	
Bro 13-04 Brúgvín um Streymin, Færøerne	E828 ⁴	August 2010	Broplade, under fugtisoleringen	22/9 2010	Defekt	April/maj 2009
	E83F ⁶			22/9 2010	Defekt	
	E84D ⁶			22/9 2010	Defekt	
	E837 ⁶			22/9 2010	OK	

¹ Ingen data efter installationen

² Seneste målte spænding er 3,33 V, RH = 95,75 %

³ Sensorerne er låst ved 100 % RH

⁴ Sensorerne er sendt til Færøerne i 2009

MÅLERESULTATER

16 sensorer leveret 2009:

- 15 stk. er ophørt med at virke
- 1 stk. måler temperatur og fugt (sandsynligvis batteriproblem)

11 sensorer leveret 2010:

- 2 stk. måler både temperatur og fugt
- 5 stk. måler temperatur
- 4 stk. defekte

Vurdering af målingers pålidelighed:

Temperaturmåling: Sandsynligvis korrekt

Fugtmåling: Tvivlsom

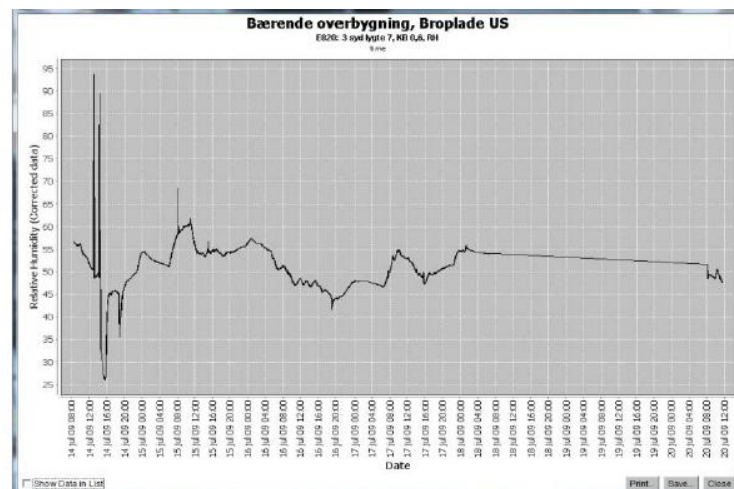
Fugtmåling:

Kalibreres indledningsvist ved opvarmning

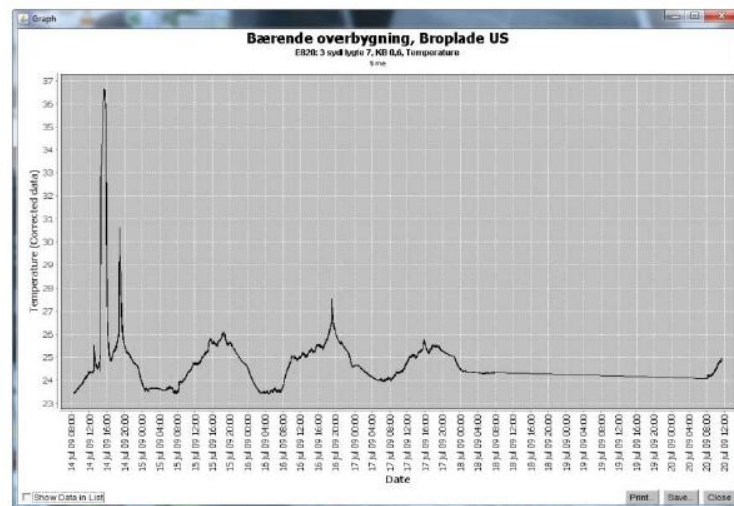
Uegnet til måling af fugtighed >90%

Hvis fugtigheden når 100% låses den på 100%

RAMBOLL



Figur 32. Målinger af relativ fugtighed over en periode på 3 dage.



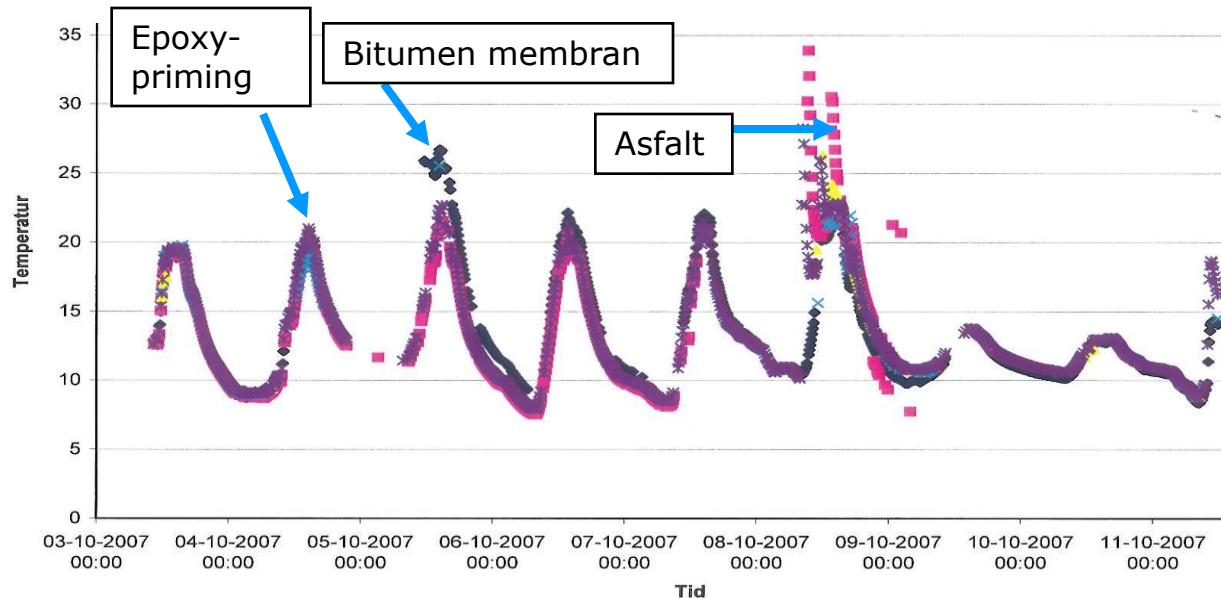
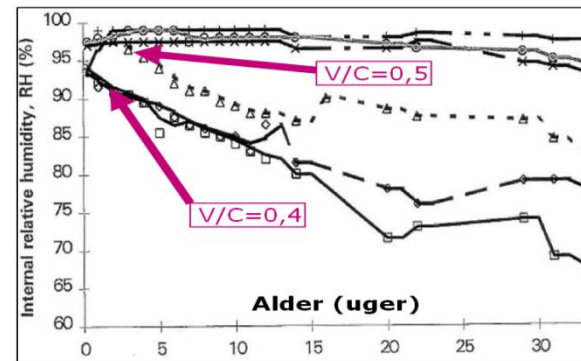
Figur 33. Målinger af temperatur over en periode på 3 dage.

Kontinuert monitoring under udførelse

Kontrol/dokumentering af udførelse

- Betonkvalitet ved udhærdning
- Modenhed før epoxygrunding
- Temp. og fugtighed ved epoxygrunding
- Opvarmning ved svejsning af membran

Indenfor de første 3 uger



monitoring: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

Håndholdte målinger indenfor alm. batterilevetid

Anvendelser indenfor alm. batterilevetid:

- 1-års gennemgang
- 5-års ansvarsperiode



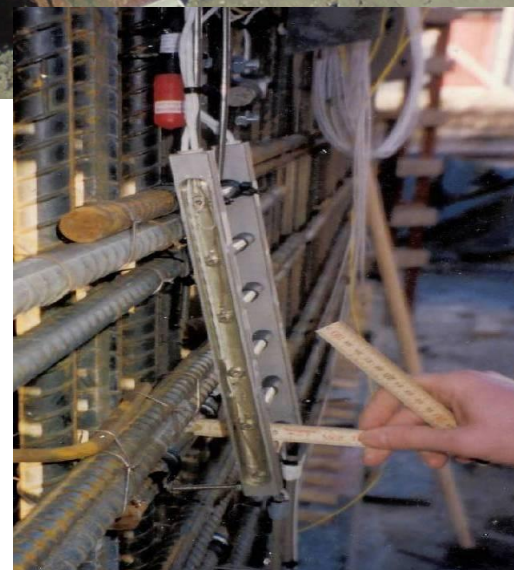
RAMBØLL



Sensor anbringes tæt på de mest udsatte områder



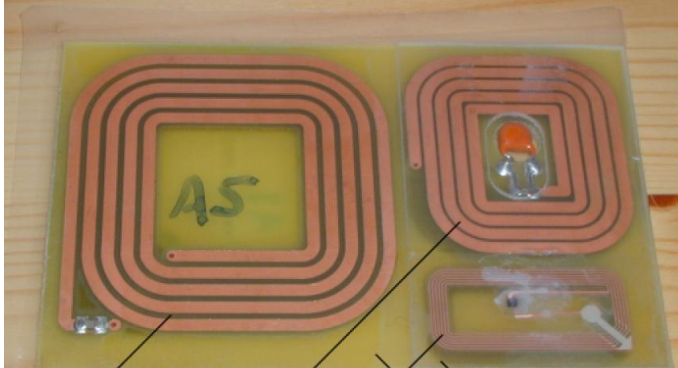
Korrosionssensor til meget lille dæklag udvikles



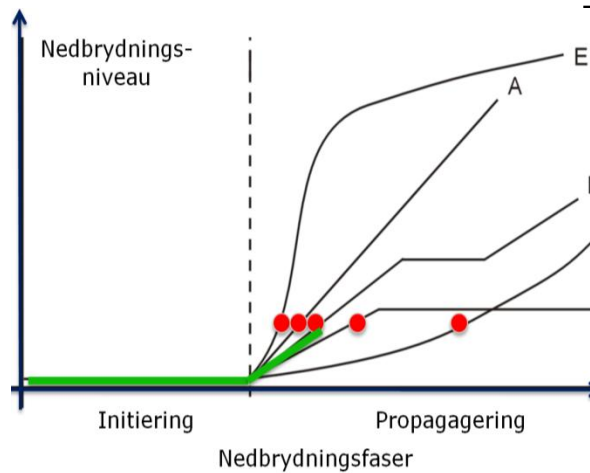
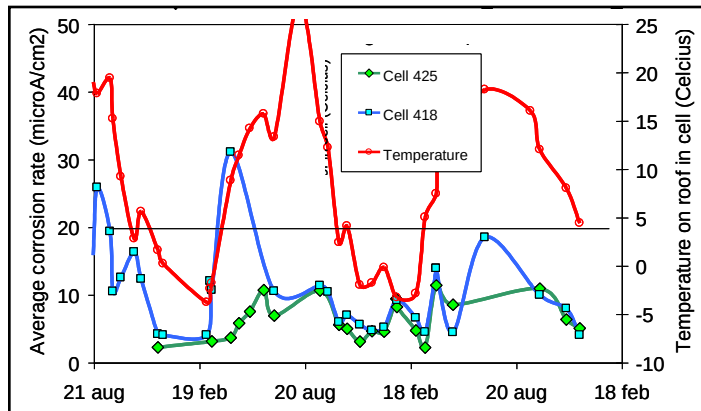
Monitering: Hvad har vi gjort og hvad fik vi ud af det

VISIONER

Billigere data (passive sensorer):



Forbedrede data (målrettede målemetoder):



Nye anvendelser (udførelse)



KONKLUSIONER

- Hurtig og billig montering af sensorer under udførelse
- Fuldt funktionsdygtig signalvej fra målestation til slutbruger
- Utilstrækkelig sensorlevetid
- For primitive målemetoder
- Behov for forbedring af rækkevidde og mulighed for eftermontering
- Fremtidige udviklingsmuligheder:
 - Overvågning af udførelse
 - Billige primitive passive sensorer
 - Eftermonterede sensorer med målrettede målemetoder

Katastrofeovervågning, bølgebryderen?

