

Monitering, hvad har vi gjort, og hvad fik vi ud af det

Kontrol af sensortilstand



2009-03-31

Monitering, hvad har vi gjort, og hvad fik vi ud af det

Konstruktionsmonitoring overordnet anvendelse

Hovedvægten for denne præsentation



Hovedvægten er mindre broer uden:

- Komandocentral
- Fast driftspersonale
- Helt særlige punkter for overvågning

Monitering, hovedtyper

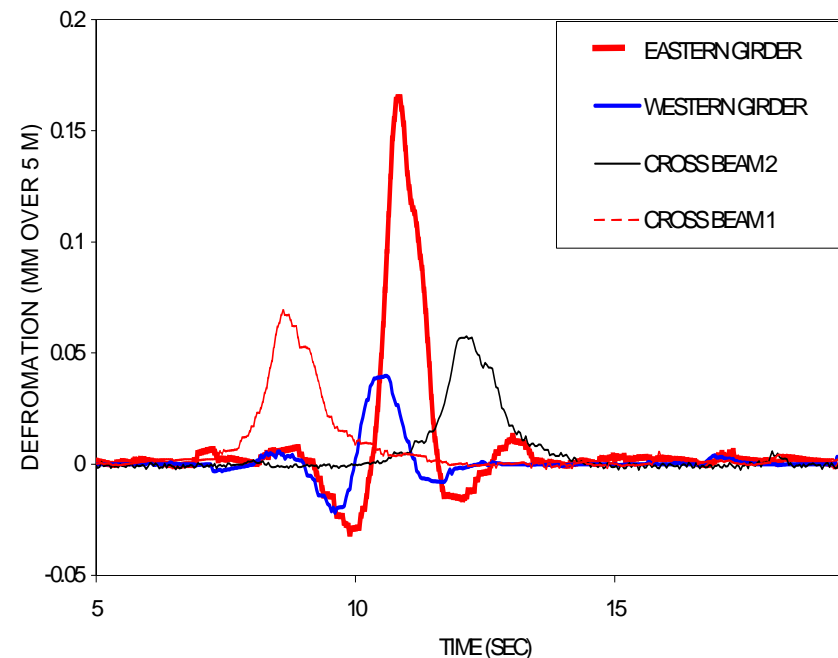


Sikkerhedsmæssig overvågning

Signal efter svækkelse er begyndt, men inden alvorlig skade muliggør:

- Varsling inden sikkerhedsrisiko opstår
- Anvendelse af "nedbrudte" broer

Sikkerhedsovervågning Nedbøjningsmålinger



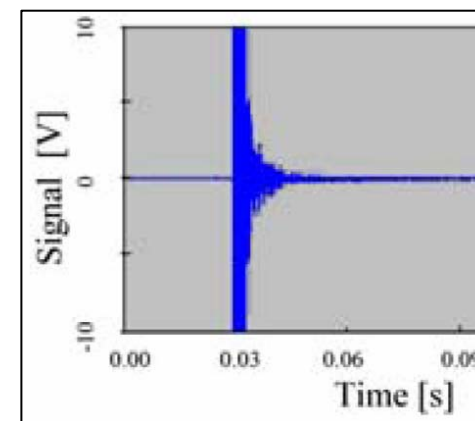
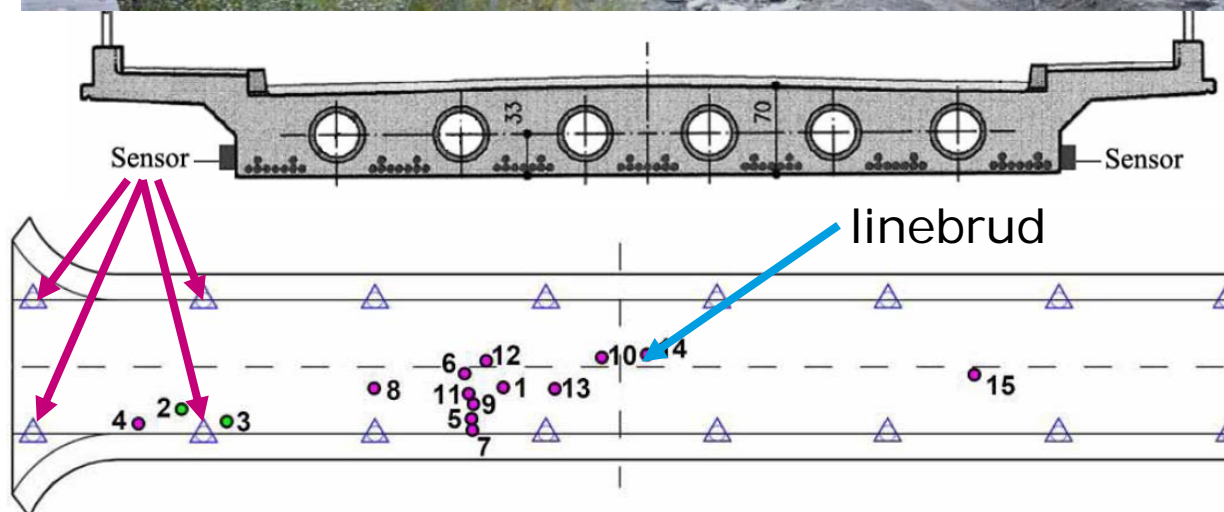
Anvendelse:

Antal, fordeling og vægt for køretøjer
til probabilistisk beregning

Mange elementer indgår i broens stivhed, og broens tilstand kan
vanskeligt vurderes på baggrund af måling på enkeltelementer

Sikkerhedsovervågning, udenlandske målinger

Måling på spændkabler



Linebrud kan detekteres med akustisk emission, men overvågningen er endnu meget kostbar

Monitering, hovedtyper



Storebælt
Udlægning af beskyttende
acrylmembran

Overvågning af nedbrydningsforhold

Signal før skade er sket muliggør:

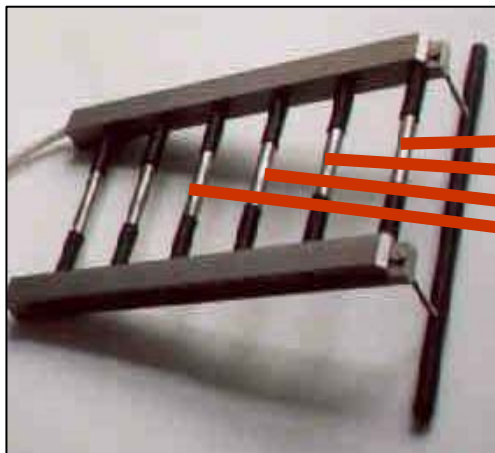
- Forebyggende foranstaltninger
- Optimering af udbedringstidspunkt

Korrosionsmonitering, nye konstruktioner

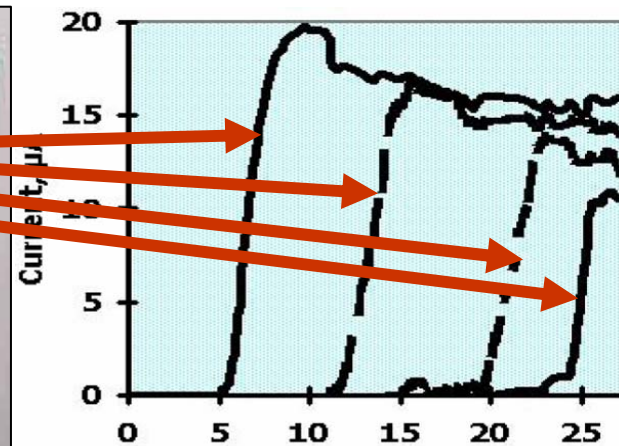
Simple sensorer, generelt princip

Princip

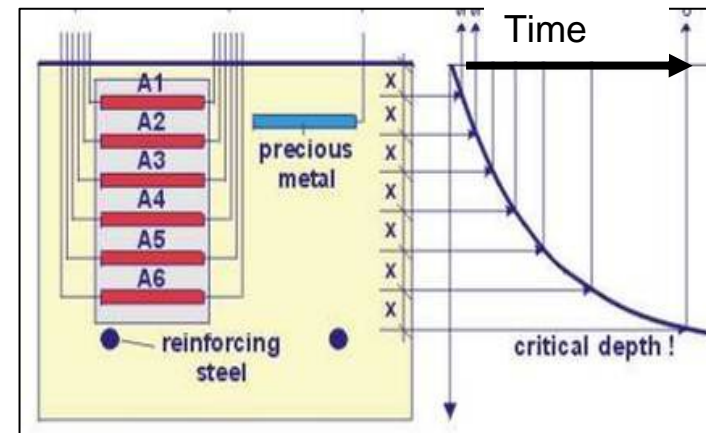
- Tidspunkt for korrosionsinitiering måles i forskellige dybder
- Ved ekstrapollation vurderes tidspunktet for initiering af armeringskorrosion



RAMBOLL



Days after exposure in sea water



Brodag dialogmøde 2009-03-31

Monitering, hvad har vi gjort, og hvad fik vi ud af det

Korrosionssensorer Registrering på ikke-defekte områder



På ikke-defekte områder har sensorerne endnu ikke registreret kloridindtrængning

Sensormålinger svarer godt til den målte kloridindtrængning

Korrosionssensorer

Registrering af defekter, støbeskel

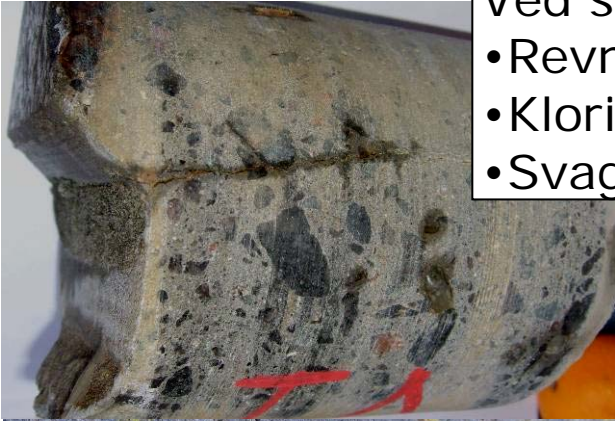


Korrosionssensorer

Registrering af defekter, støbeskel

Ved sensor med korrosionstegn var:

- Revne ind til armering
- Kloridindtrængning i revne
- Svag korrosion på armering



Simple korrosionssensorer

Anvendelsesmuligheder

Konklusion:

- Korrosionsinitiering kan vurderes på "tørre" områder

EKP-målinger

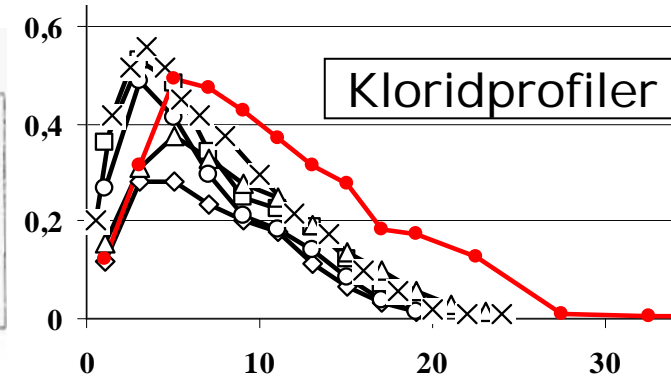
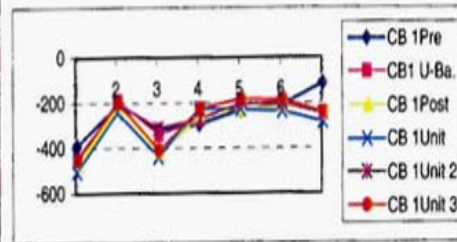
Men

- Kun en punktmåling
- Forudsigelse af tidspunkt for armeringskorrosion kræver mange målinger
- Oplysningerne kan skaffes ved NDT-undersøgelser
- Tolkning af resultater er stadig ekspertydelse



Potential (Voltage) in mV	ANODES	Values A	Values B	Values C	Values D	Values E	Values F
	A1-RC 1			475,2	-501,03	-441,41	-454,25
	A2-RC 2				-239,45	-202,4	-201,32
	A3-RC 3					-313	-410,55
	A4-RC 4	-293					-224,76
	A5-RC 5	-230	-207,74				-183,72
	A6-RC 6	-208	-195,68	-217,1			-185,33
	CR-RC 7	-112	-247,29	-233,7	-282,52		-243,55

Måleresultater fra sensorer



Kloridprofiler



Monitoring, hvad har vi gjort, og hvad fik vi ud af det

Anvendelse af simple sensorer

Muligheder for at udvide anvendelsesområde

Anvendelse:

- Vurdering af forhold i særligt udsatte områder (f.eks. støbeskel)
- Vurdering af forhold på vanskeligt tilgængelige områder (i jord, fuger, evt. under fugtisoleringer)

Bredere anvendelse mulig hvis:

- Målinger udføres af driftspersonale
- Tolkning sker automatisk
- Resultater indgår direkte i forvaltningssystem

Store fremskridt er sket i de senere år

RAMBOLL



Ekspert kontrolmåler sensor

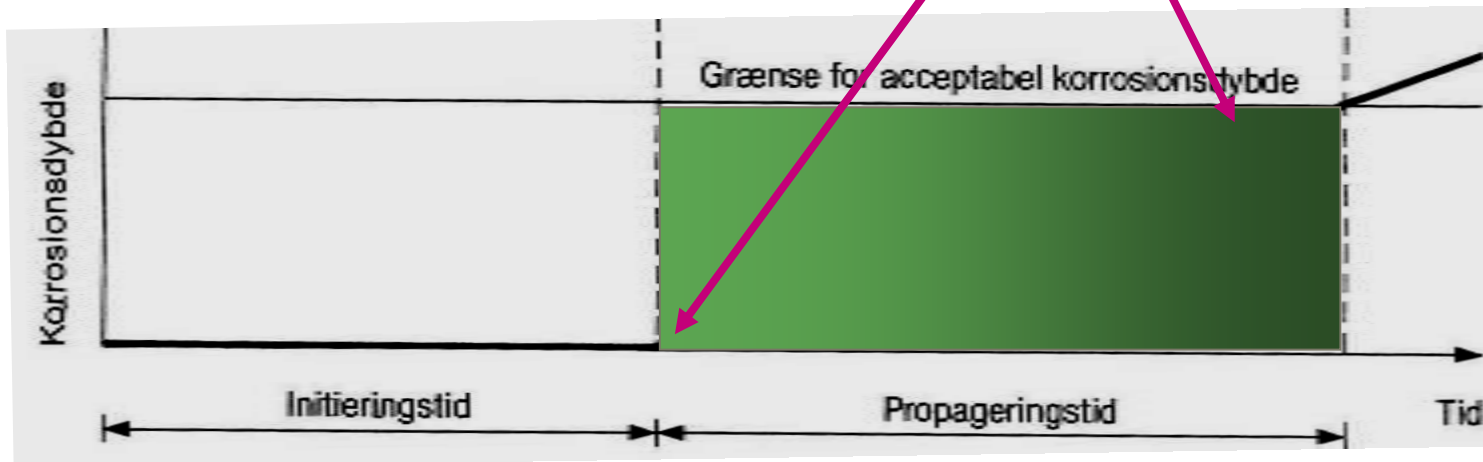
Korrosionsmonitoring, nye konstruktioner

Sensorer til måling af korrosionshastighed



Korrosionshastighedsmåling muliggør

- Måling af korrosionsudviklingen efter initiering

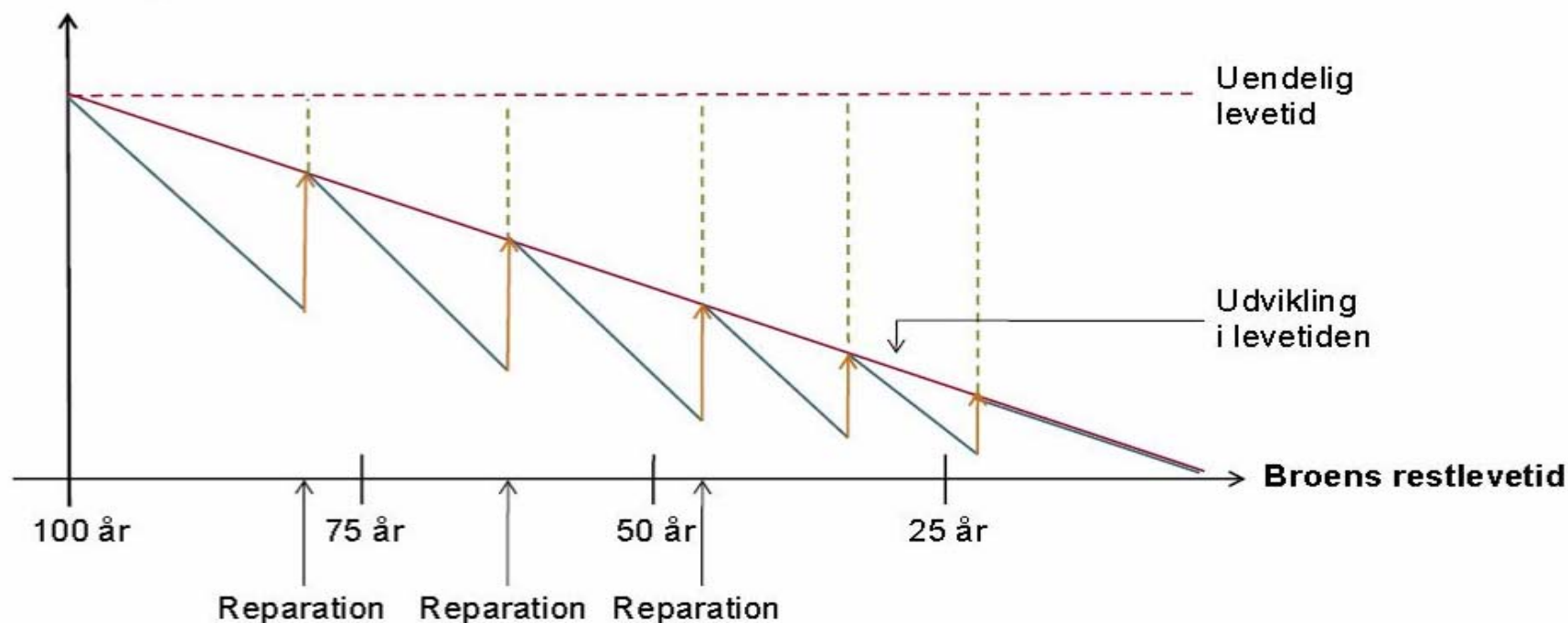


Alternativ forvaltningsstrategi

Kontrolleret forfald

Figur 4. Teoretiske meromkostninger ved valget af uendelig levetid

Investering



- Broens tilstand
- Optimal reinvestering
- - - Meromkostning i forhold til optimalt niveau

RAMBOLL

Rigsrevisionens bud:
Kontrolleret forfald

Brodag dialogmøde 2009-03-31
Monitoring, hvad har vi gjort, og hvad fik vi ud af det

Monitering, eksisterende konstruktioner

Eksempel: Skovdiget Vestbro (1965)



EU-forskningsprojekt inkl.
afprøvning af nye sensortyper

RAMBOLL

Udskiftning af skadet bro udskydes:

- Ca. 15 mio. kr./år sparede kapitalomkostninger
- Bedre tilpasning af ny bro til fremtidige trafikforhold.



- Detaljeret overvågning af tilstandsudvikling



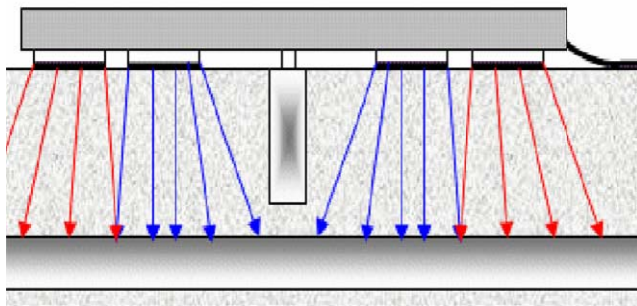
Brodag dialogmøde 2009-03-31
Monitering, hvad har vi gjort, og hvad fik vi ud af det

Monitering af korrosionshastighed, Skovdiget

Evaluering af reoveringsmetoder



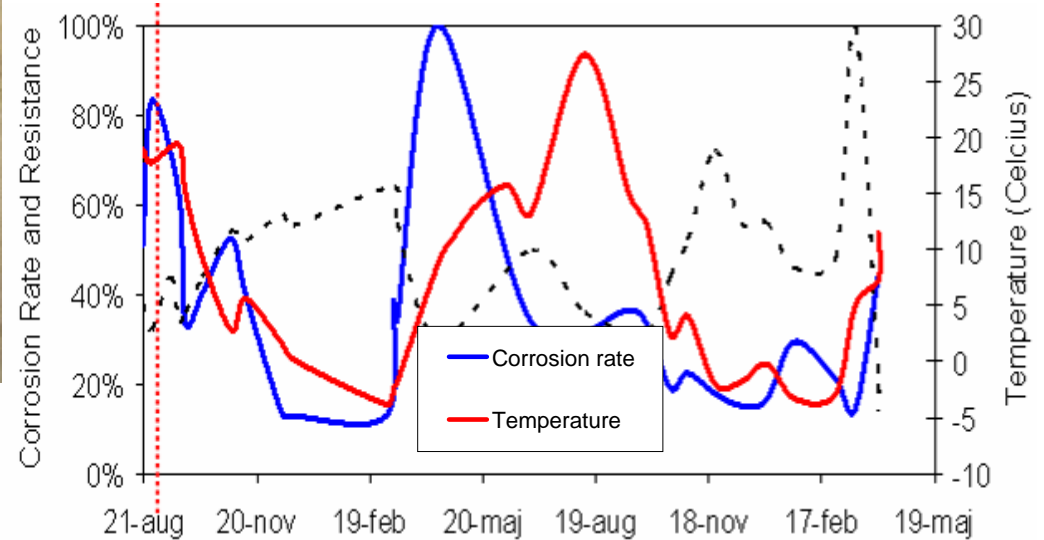
Eftermonteret sensor



Måleprincip, som overflademålinger

RAMBOLL

Svækkelse vurderes ved summering af korrosionshastighed



Vurdering af udbedringsmetoder:

- Korrosion er styret af modstanden
- Modstanden er styret af fugtigheden
- Fjernelse af vandpåvirkning vil reducere korrosionen

Brodag dialogmøde 2009-03-31

Monitering, hvad har vi gjort, og hvad fik vi ud af det

Kommende anvendelser af sensorer

Måling af korrosionens betydning

Anvendelse

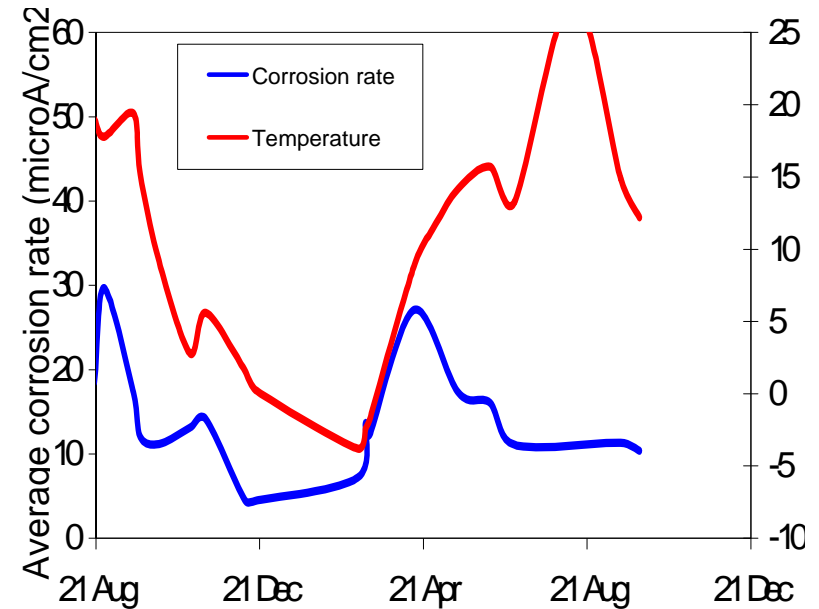
- Udskydelse af udbedring
- Udnyttelse af broens sidste fase

Og

Informationerne kan vanskeligt skaffes på anden måde

Men

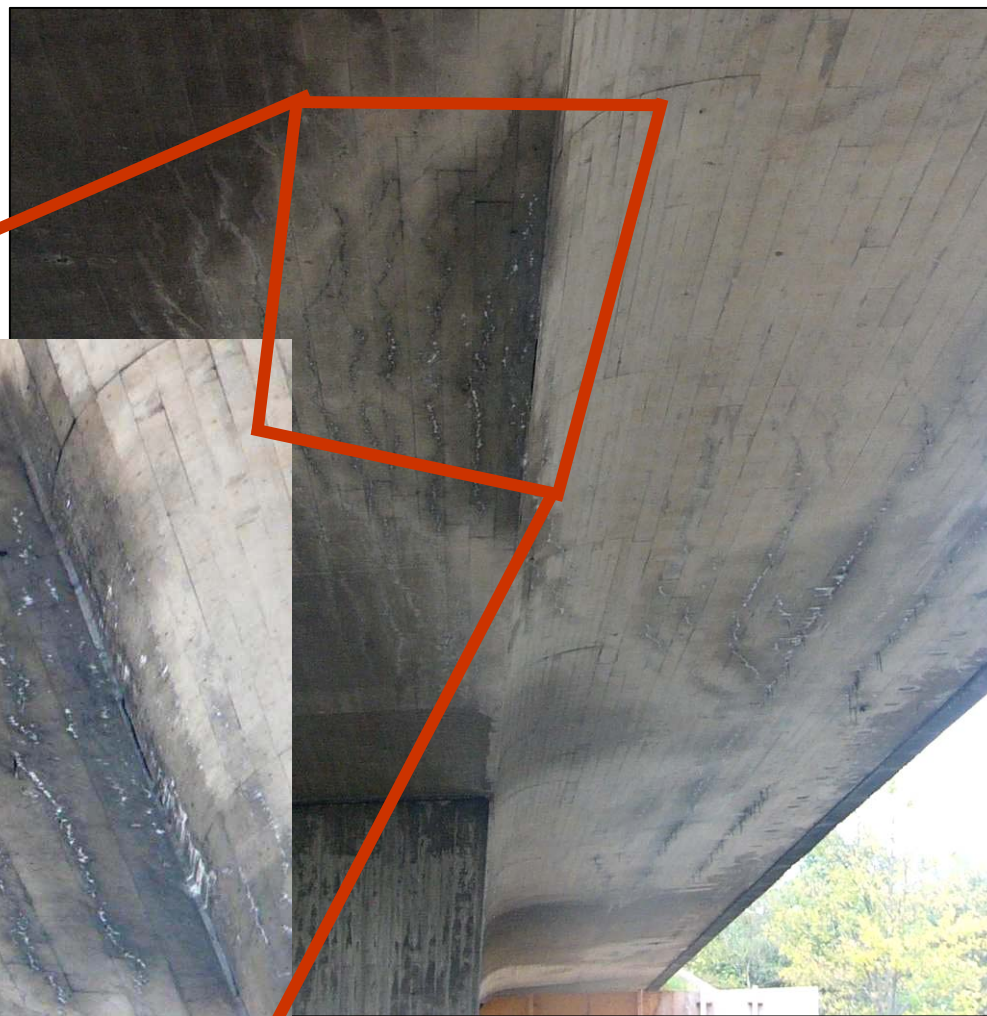
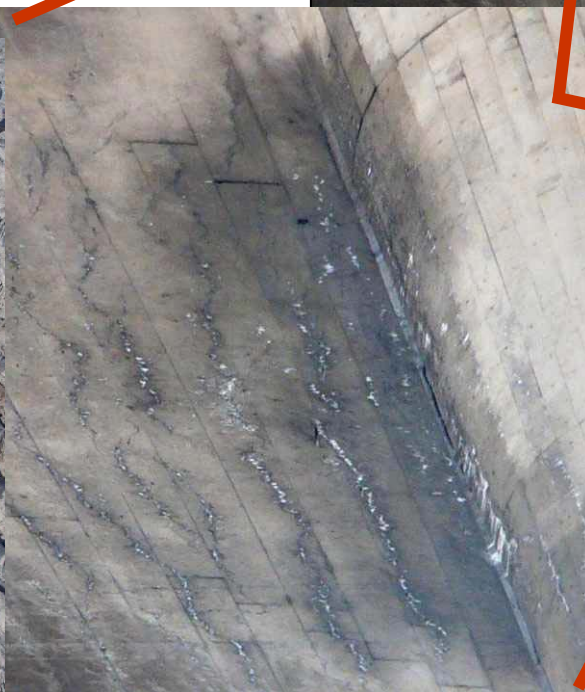
- Større krav til måleudstyr (krav om logning)
- Måleudstyr og sensorer er endnu ikke helt færdigudviklet
- Måling af svækkelse er usikker og kræver lang summering



Monitering af fugtisolering

Skader fra utætheder

Utæt fugtisolering kan medføre store skader



Monitering, hvad har vi gjort, og hvad fik vi ud af det

Monitering af fugtisolering

Problemer ved for tidlig udskiftning



Efter fjernelse af membran: Ingen tydelige utætheder i membran



Tilstandsvurdering baseres på kostbare ophugninger

Membranudskiftningen kunne være udskudt, hvis utætheder kunne registreres

Monitering af fugtisolering

Måletekniske forhold



Normal: vedhæftning + tør

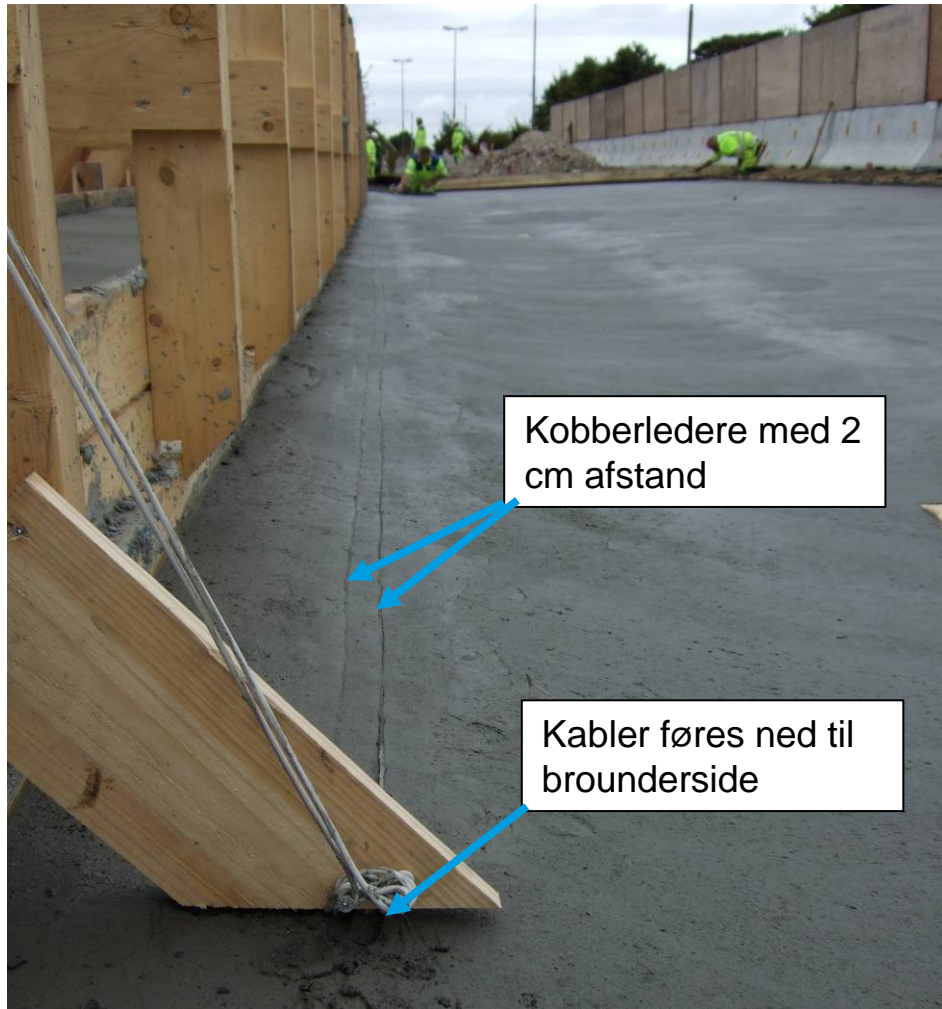


Skadet: Løs + frit vand

Skade medfører stor forskel → måling bør være simpel

Monitering af fugtisolering

Afprøvning i praksis af Nymand-Møller metode



Udlægning af 20 m kobberledere i praksis:

- Afslører fugtindtrængning fra fuge langs kantbjælke
- Lokalisering af utæthed
- Billig og robust
- Måling udføres af alle
- Tolkning direkte til forvaltningssystem

Udviklingsbehov:
Metode til eftermontering

Monitering af fugtisolering

Sensortyper, passive sensorer

Princip:

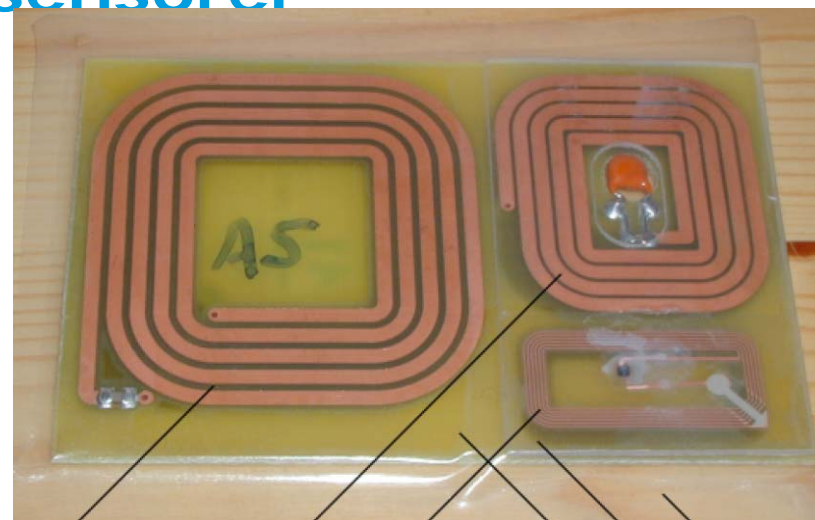
- Reflekterer signal fra ydre kilde
- Signalrefleks afhænger af tilstanden

Fordele

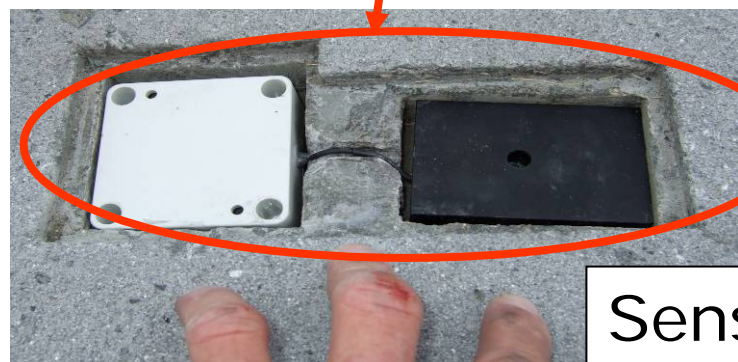
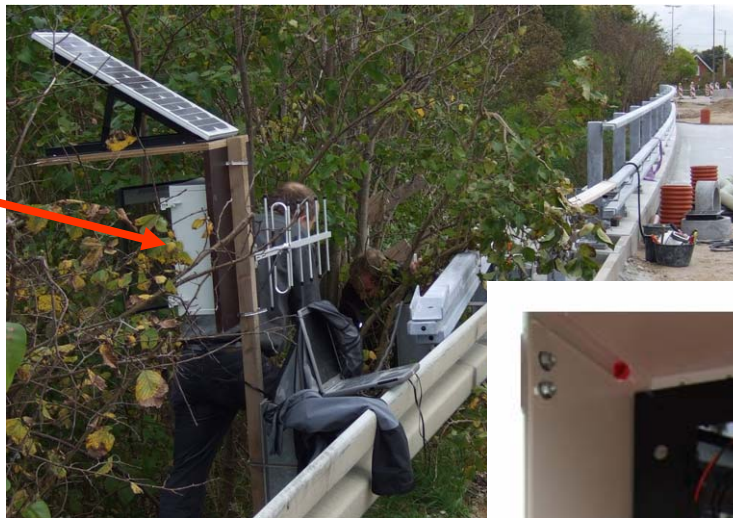
- Billige og sandsynligvis holdbare (mange målepunkter kan etableres)

Ulemper

- Virkemåde er ikke afprøvet fuldstændigt
- Kræver måling på stedet
- 50 års levetid er ikke eftervist



Monitering af fugtisolering, SensoByg Afprøvning af trådløse sensorer



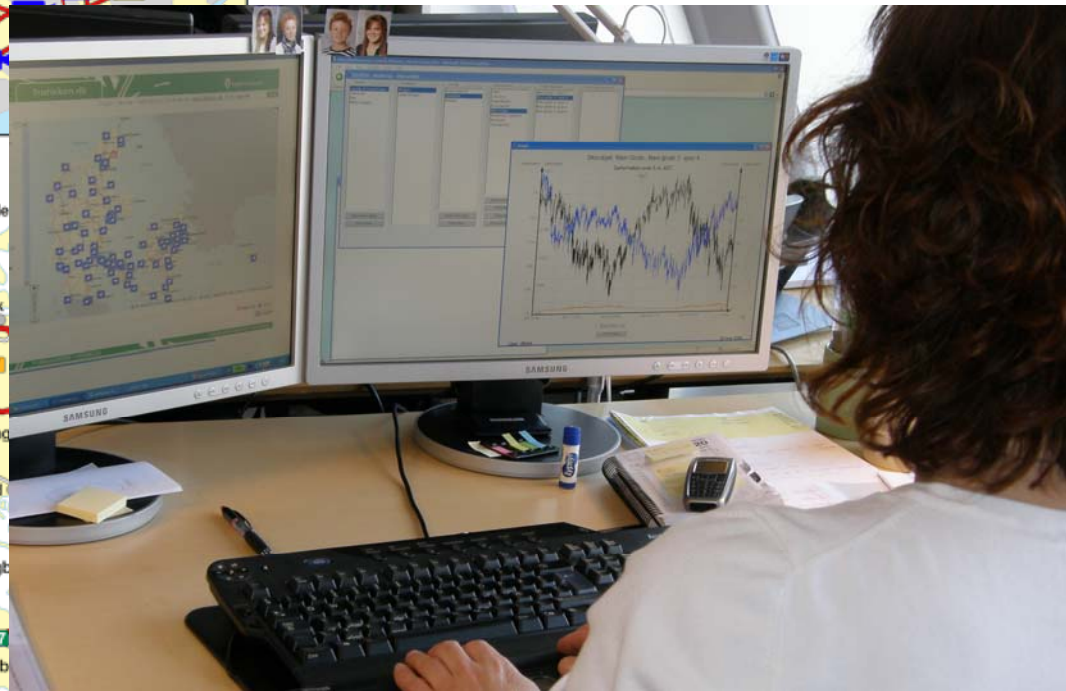
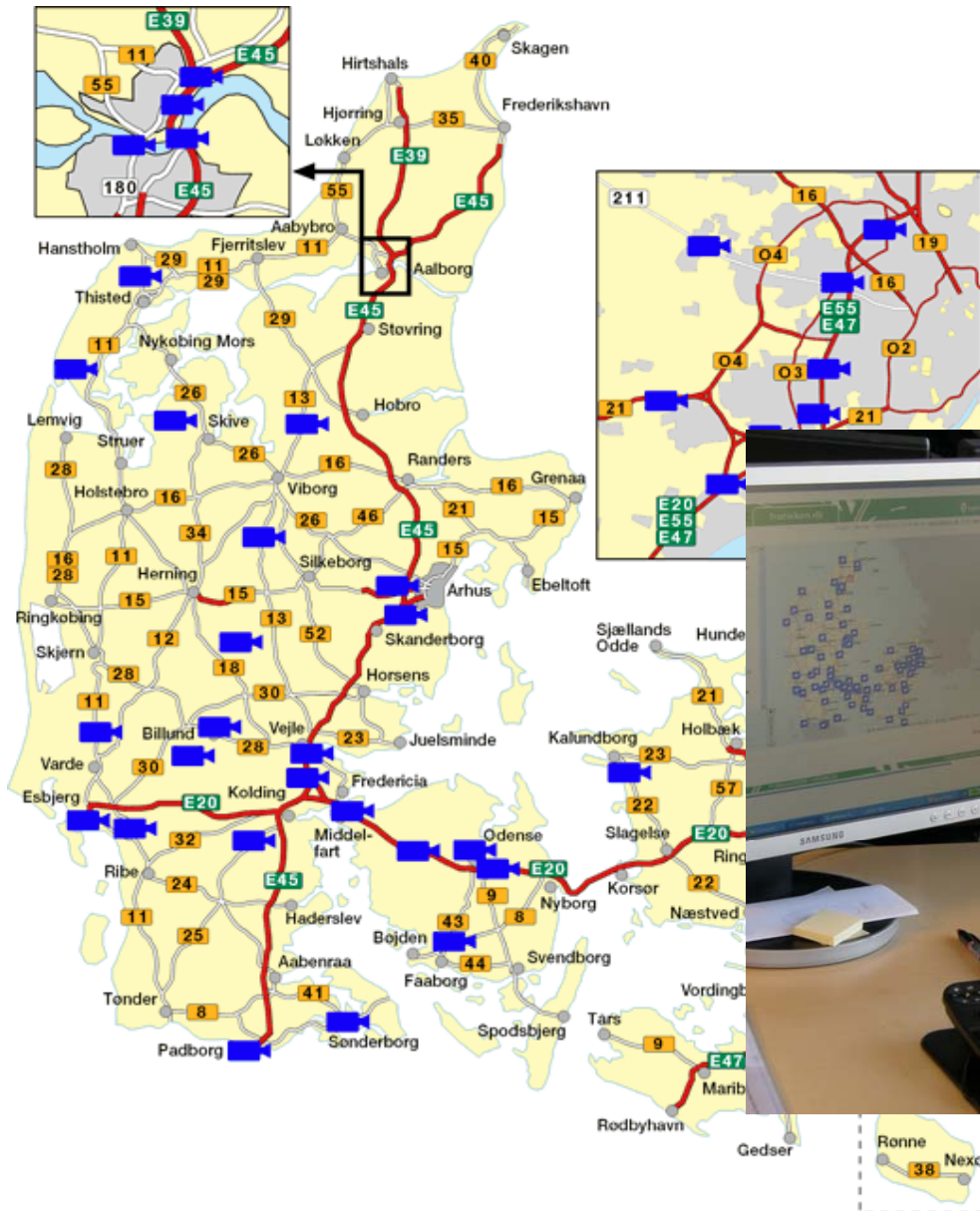
Sensor



Transmitterboks

Monitering, hvad der er gjort, og hvad der endnu er at gøre

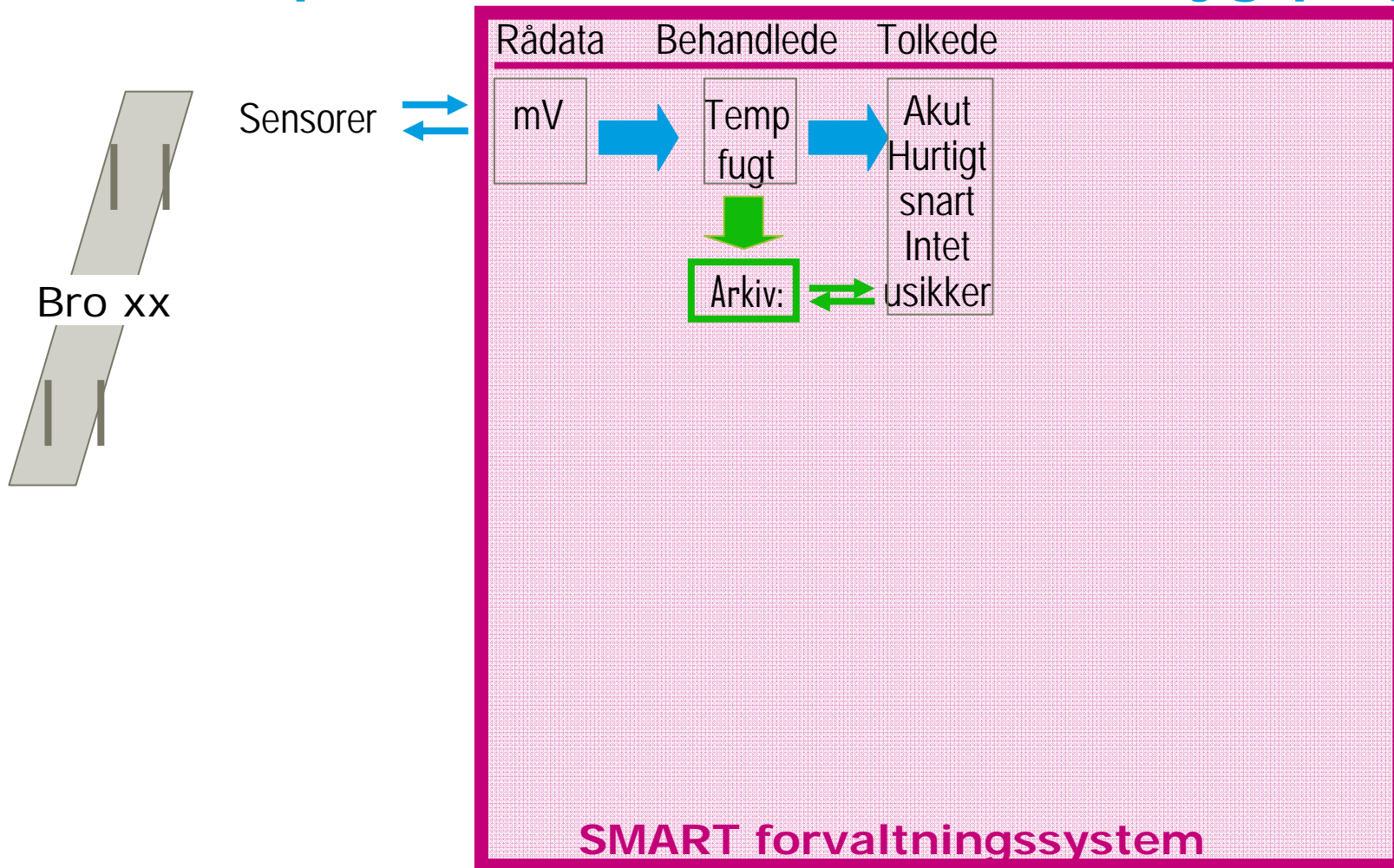
Visionen med trådløse sensorer



Brodag dialogmøde 2009-03-31
Monitering, hvad har vi gjort, og hvad fik vi ud af det

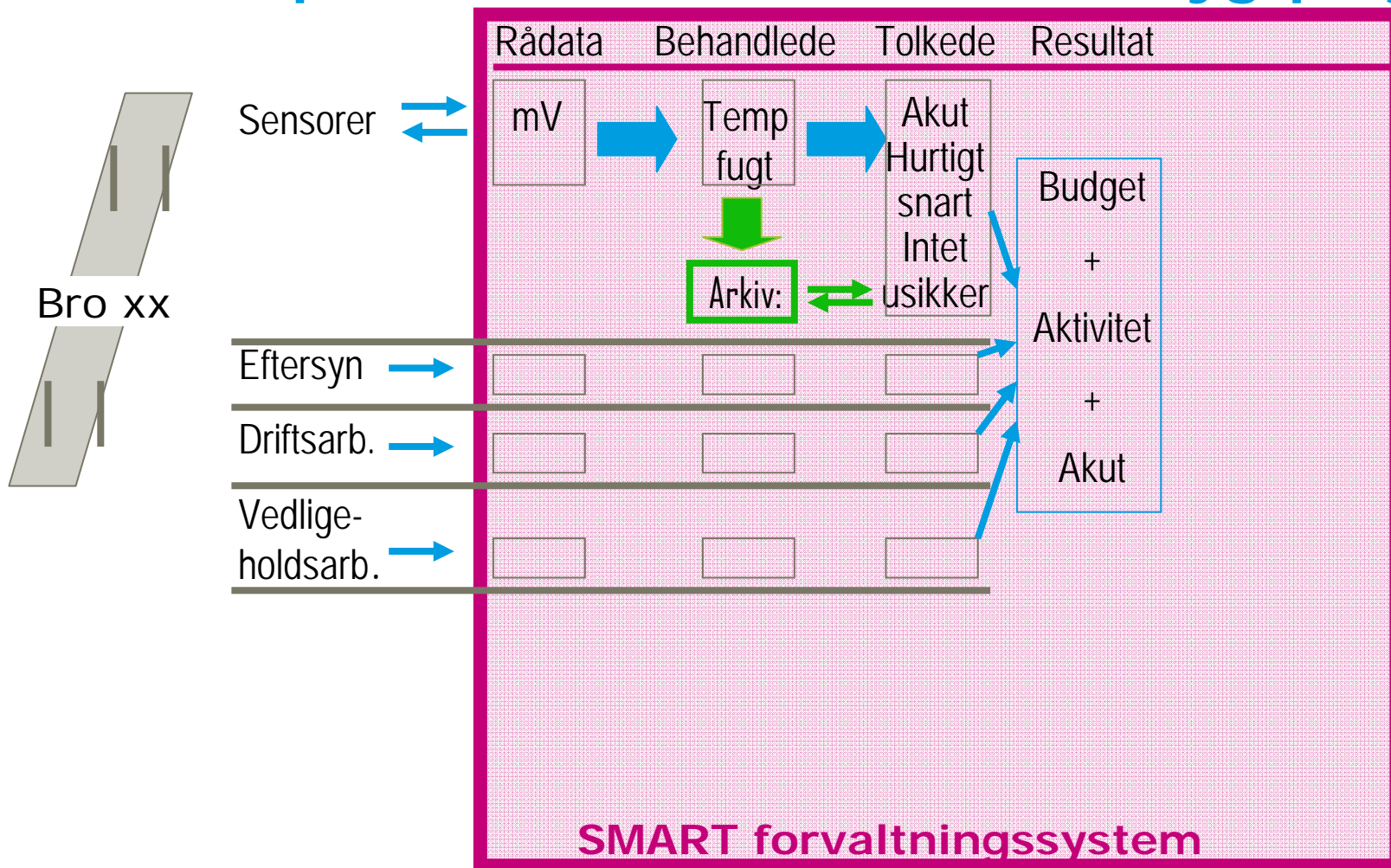
Nyttiggørelse af data i forvaltningssystem

Eksempel Rambøll-SMART i SensoByg-projekt



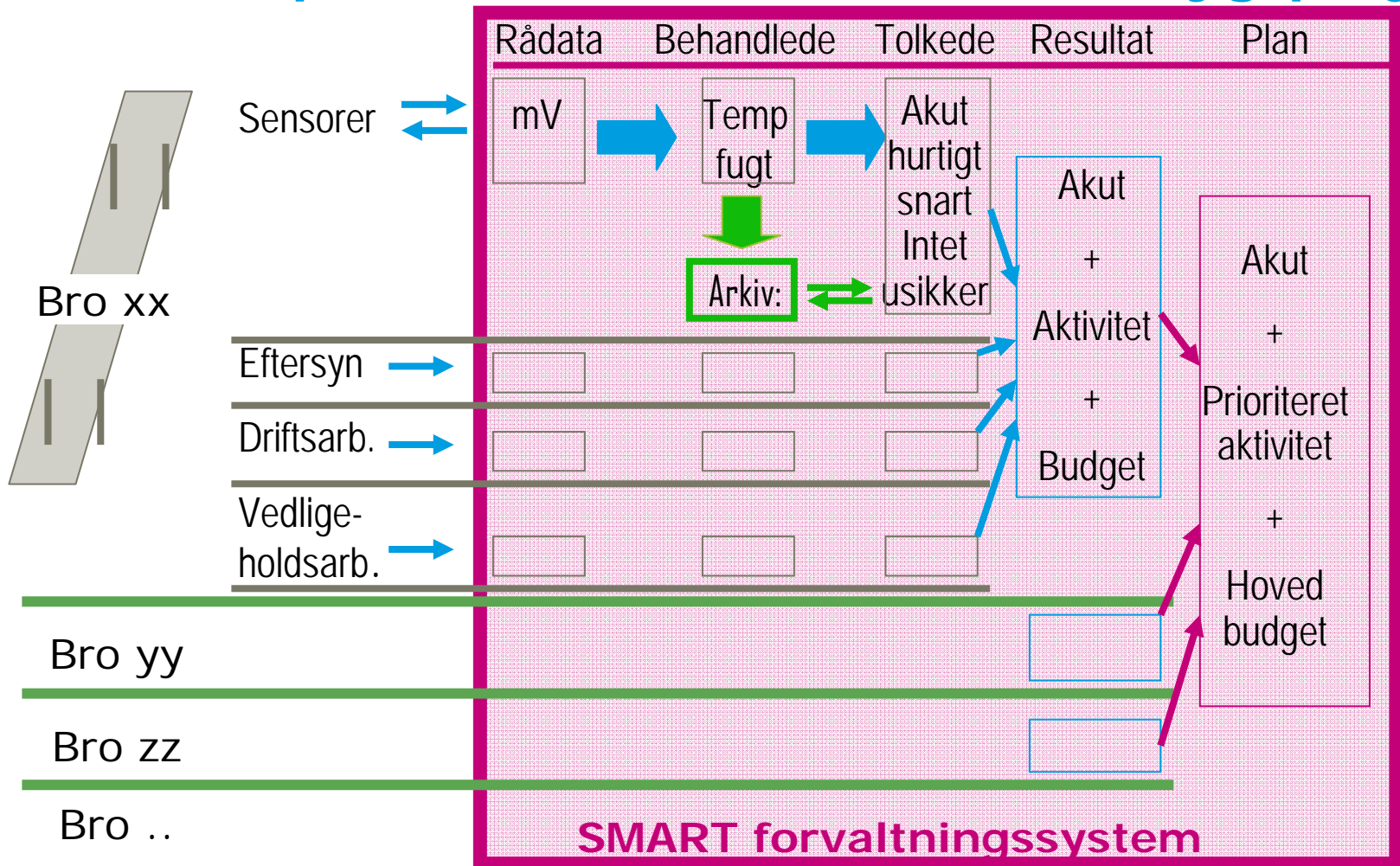
Nyttiggørelse af data i forvaltningssystem

Eksempel Rambøll-SMART i SensoByg-projekt



Nyttiggørelse af data i forvaltningssystem

Eksempel Rambøll-SMART i SensoByg-projekt



Visionen med trådløse sensorer, hindringer



Problem:

- 1 måling/år er nok
- Driftsomkostningerne er store
- Informationen kan indhentes manuelt

RAMBOLL

Brodag dialogmøde 2009-03-31
Monitering, hvad har vi gjort, og hvad fik vi ud af det

Trafik/sikkerhedsovervågning

Relevante forhold



Jordbevægelser

RAMBOLL



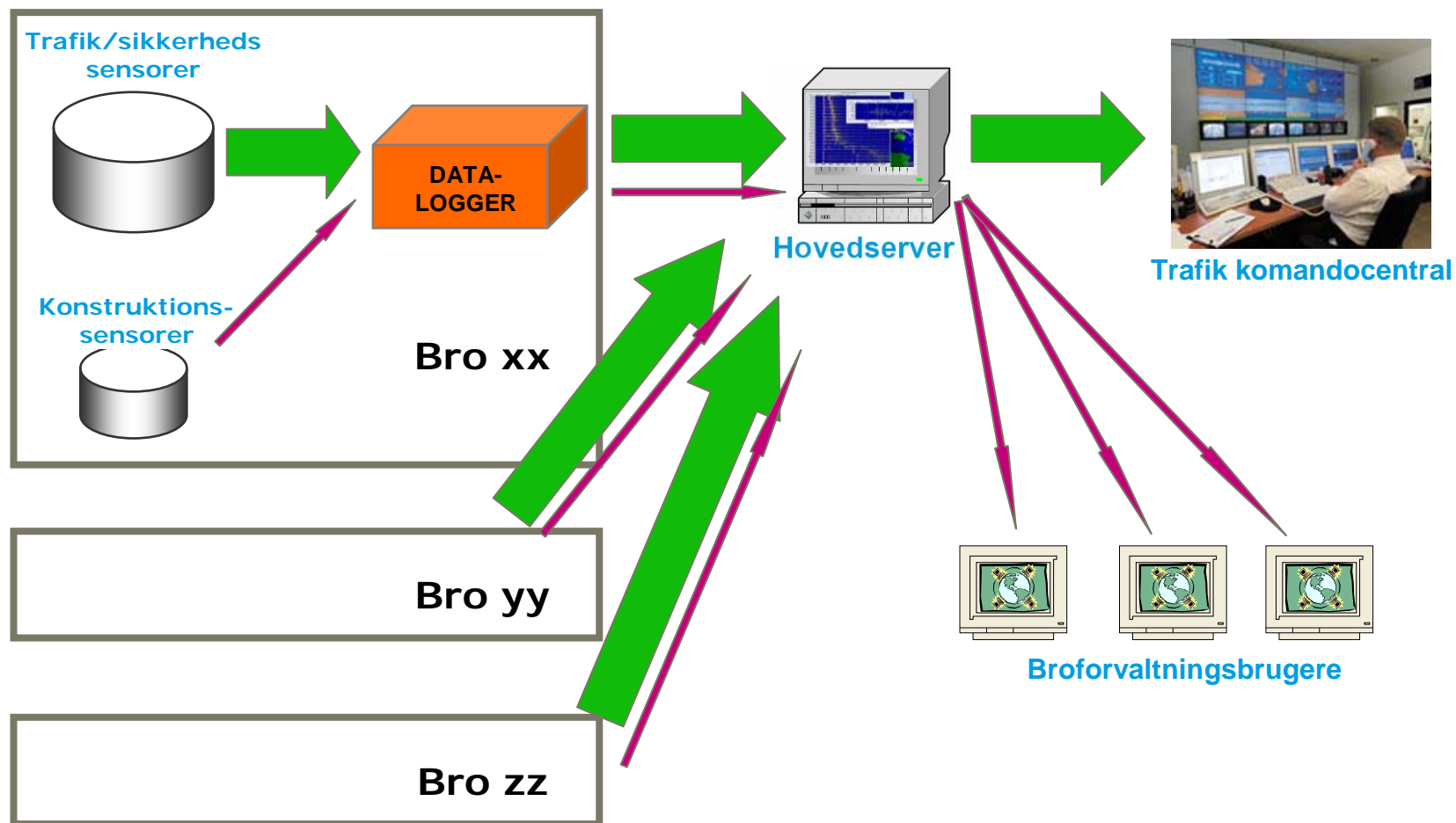
Glatførevarsel



Afløbssystemer

Brodag dialogmøde 2009-03-31
Monitering, hvad har vi gjort, og hvad fik vi ud af det

Konstruktionsovervågning underlagt Trafik/sikkerhedsovervågning



Konstruktionsmonitering, det store spring

