



MØNBROEN, MERE HOLDBAR REPARATION MED ANODER?

Peter H. Møller, Rambøll

RENOVERINGEN AF MØNBROENS PILLER

Etablering af arbejdsplads er meget kostbar

Forholdene er meget aggressive



Særlig indsats for at opnå lang holdbarhed for renoveringen

RAMBOLL



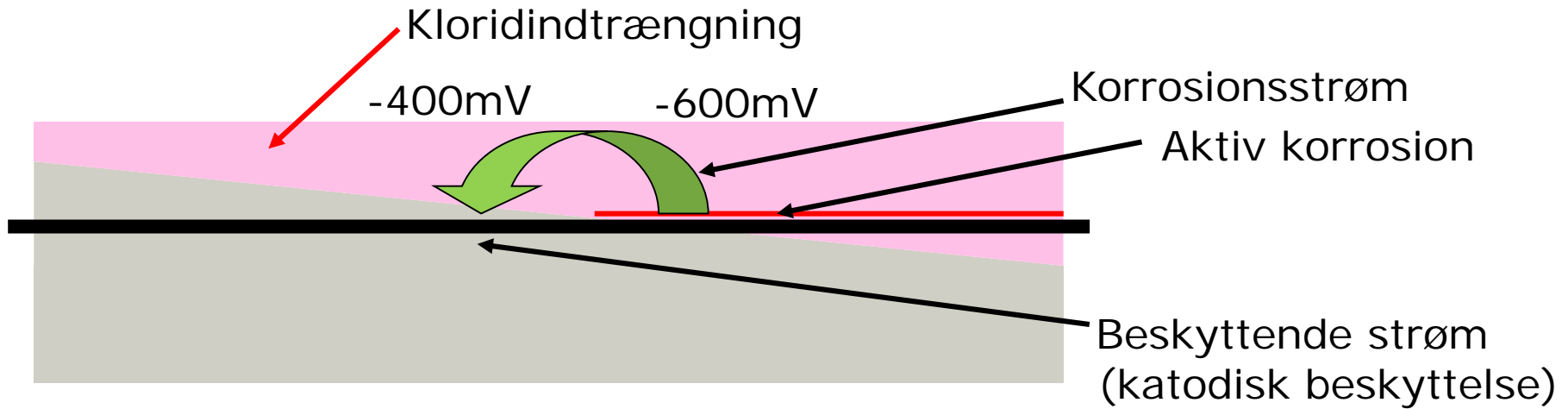
Pilotprojekt for renovering af de nedre dele af pillerne

LEVETID FOR REPARATIONER

Forholdene i overgangszonen bestemmer ofte reparationens holdbarhed



FØR REP. FORHOLDENE VED OVERGANGSZONEN



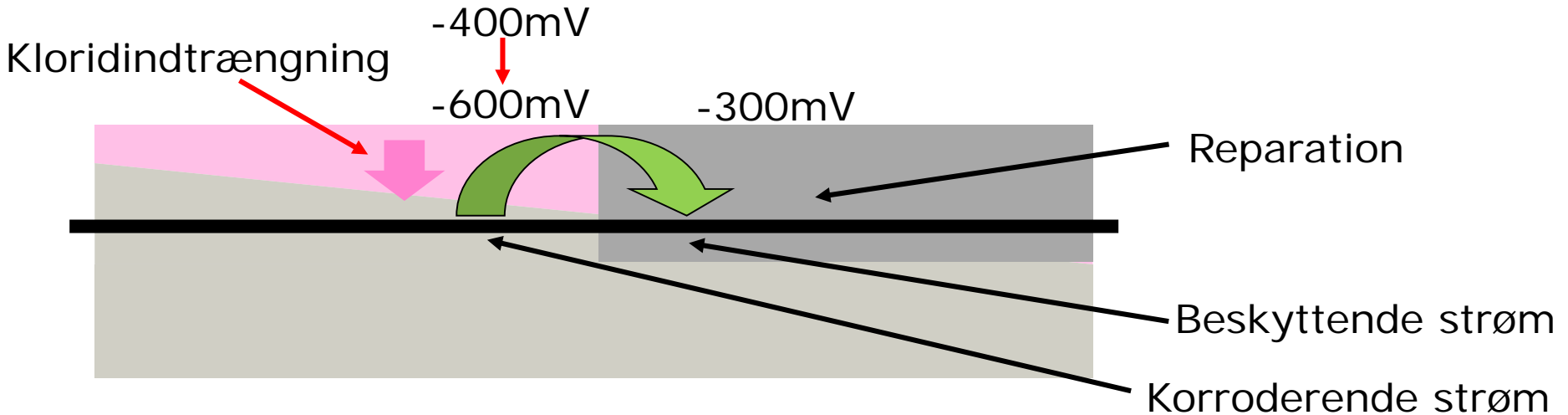
Aktiv korrosion sænker potentialet ca. 200 mV

Der opstår en spændingsforskel mellem aktivt og passivt område

Spændingsforskellen skaber en strøm

Strømmen forøger korrosionen på det aktive område og forebygger korrosion på det passive område

EFTER REP. FORHOLDENE VED OVERGANGSZONEN



Indstøbning i reparationsbeton gør potentialet mere positivt

I randzonen opstår korrosion fordi den beskyttende strøm bortfalder og kloridindholdet stiger pga. restdiffusion

Der opstår en spændingsforskel mellem reparation og opr. beton

Spændingsforskellen skaber en strøm der forøger korrosionen

MULIGE LØSNINGER

Udvide reparationsstørrelse

- + Lille vedligeholdelse
- Dyr
- Svær at afgrænse

Fuld katodisk beskyttelse

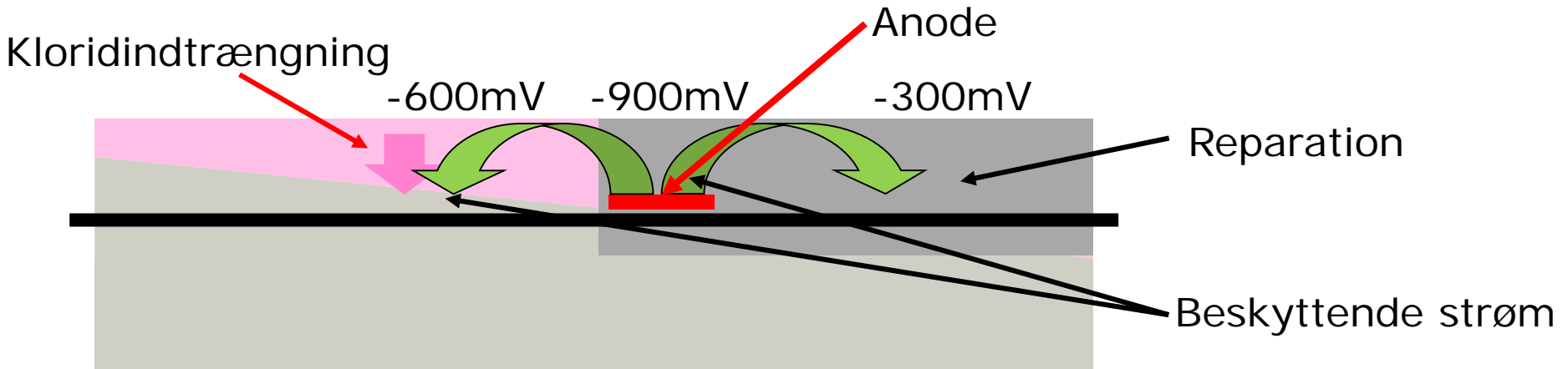
- + Reduceret reparationsomfang
- Dyr for lokale reparationer
- Vedligeholdelseskrævende

Lokal katodisk beskyttelse

- + Billig
- + Lille vedligeholdelse
- + Velegnet til korrosionsforebyggelse
- Usikker



LOKAL KATODISK BESKYTTELSE



Anoden skaber et lokalt meget negativt område

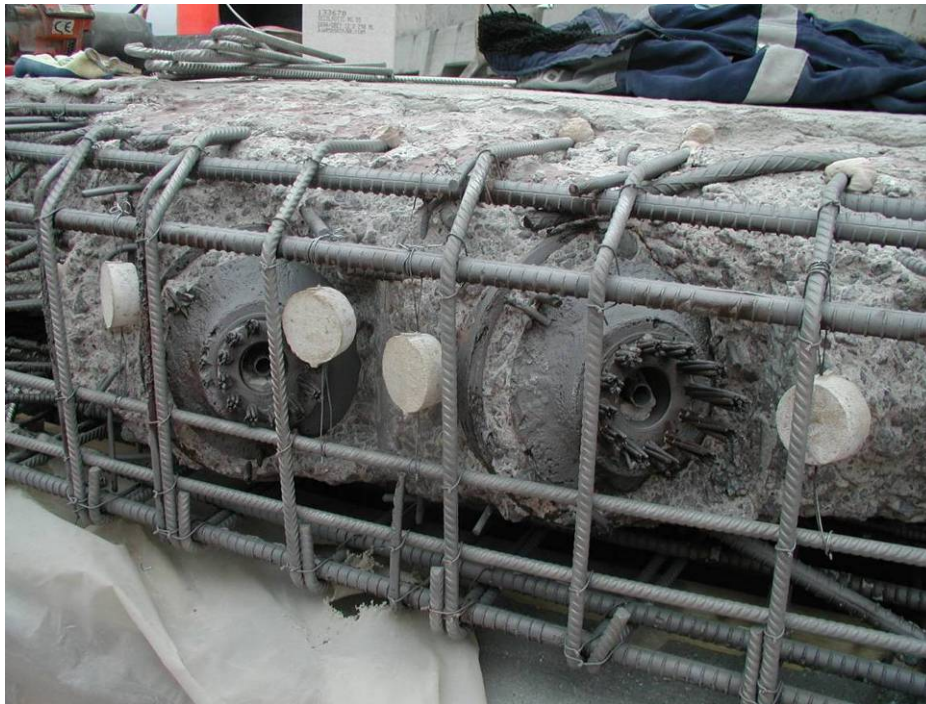
Derved skabes en bedre beskyttelse af randzonen

Den bedre beskyttelse forhindrer også korrosion fra moderat restdiffusion

Virker fint med påtrykt strøm
men kan offeraoder også virke?



KATODISK BESKYTTELSE, EKSEMPLER LOKALBESKYTTELSE MED OFFERANODER



Offeranoder til beskyttelse af spændkabelankre

Offeranoder uden langtidserfaring blev valgt fordi:

Meget små startomkostninger

Ingen risiko for brintudvikling (spændkabler)

Meget små driftsomkostninger

På grund af usikkerhederne er der etableret et overvågningssystem

12 ÅRS ERFARINGER MED OFFERANODER, SORØVEJ

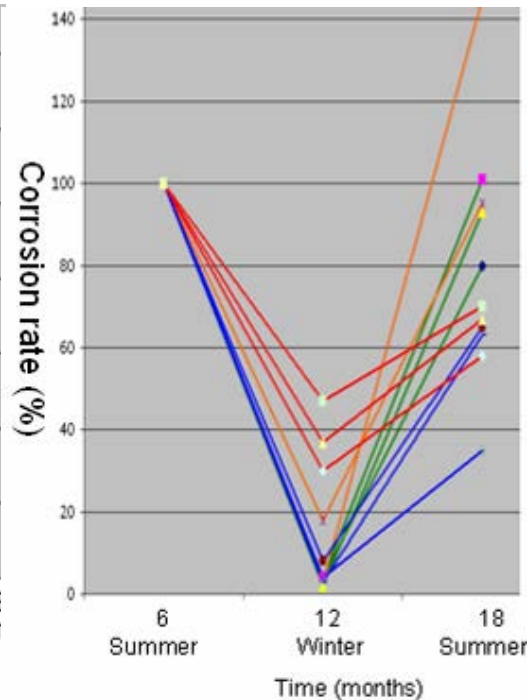
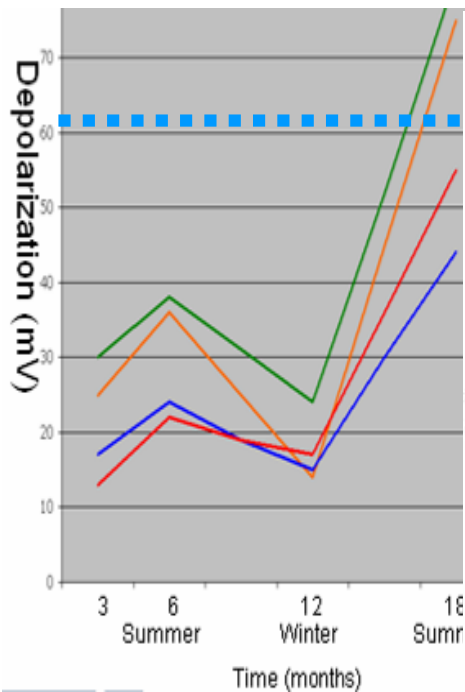
- Ikke fuld beskyttelse om vinteren
 - Lav korrosionshastighed om vinteren
- 
- Lavt behov for beskyttelse om vinteren



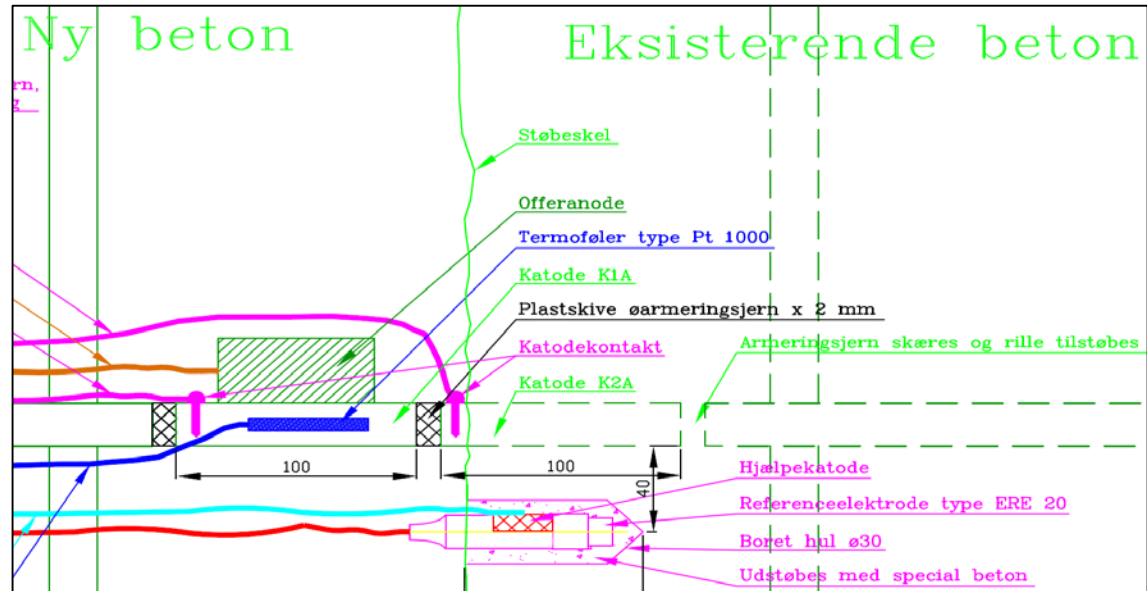
Anoder anvendelige hvis:

- Beskyttelse mod opfugtning
- Udskiftning af stærkt kloridholdig beton

Projektspecifik vurdering er nødvendig - men vanskelig



HOVEDOPBYGNING

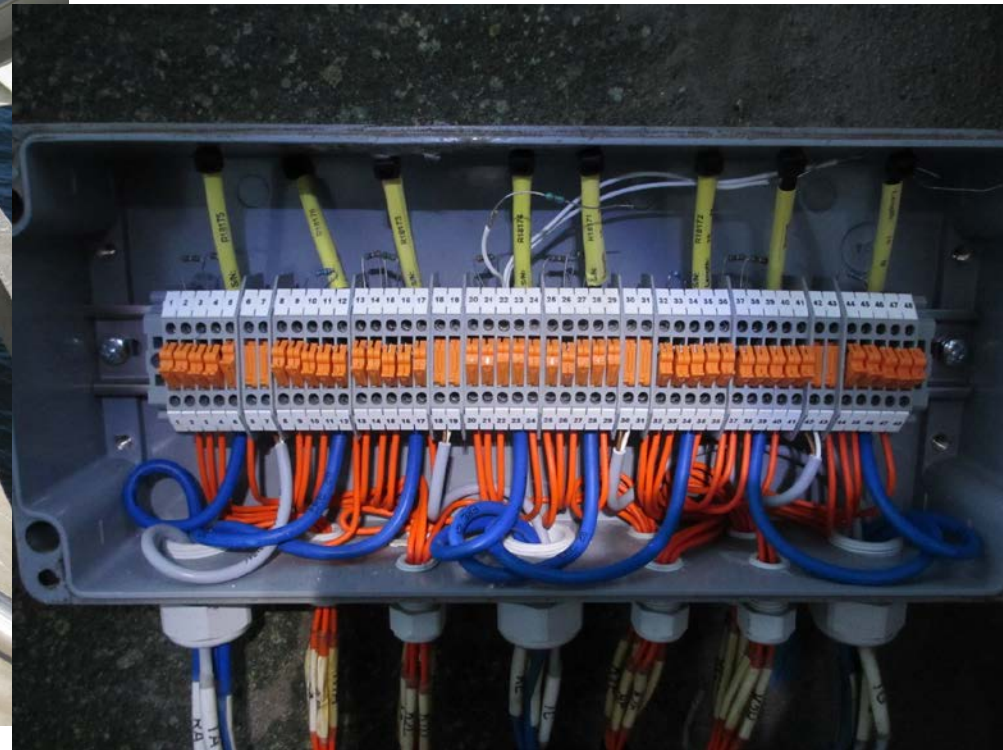


Hovedelementer:

- Friskåret armering i reparation
- Friskåret oprindelig armering
- Anode
- Ref. elektrode med titanbånd
- Temperaturføler



KONTROLDÅSE FOR PRØVEFELT



ADGANG TIL PRØVEFELT

Kontinuert måling ønskes pga. årstidsafhængighed

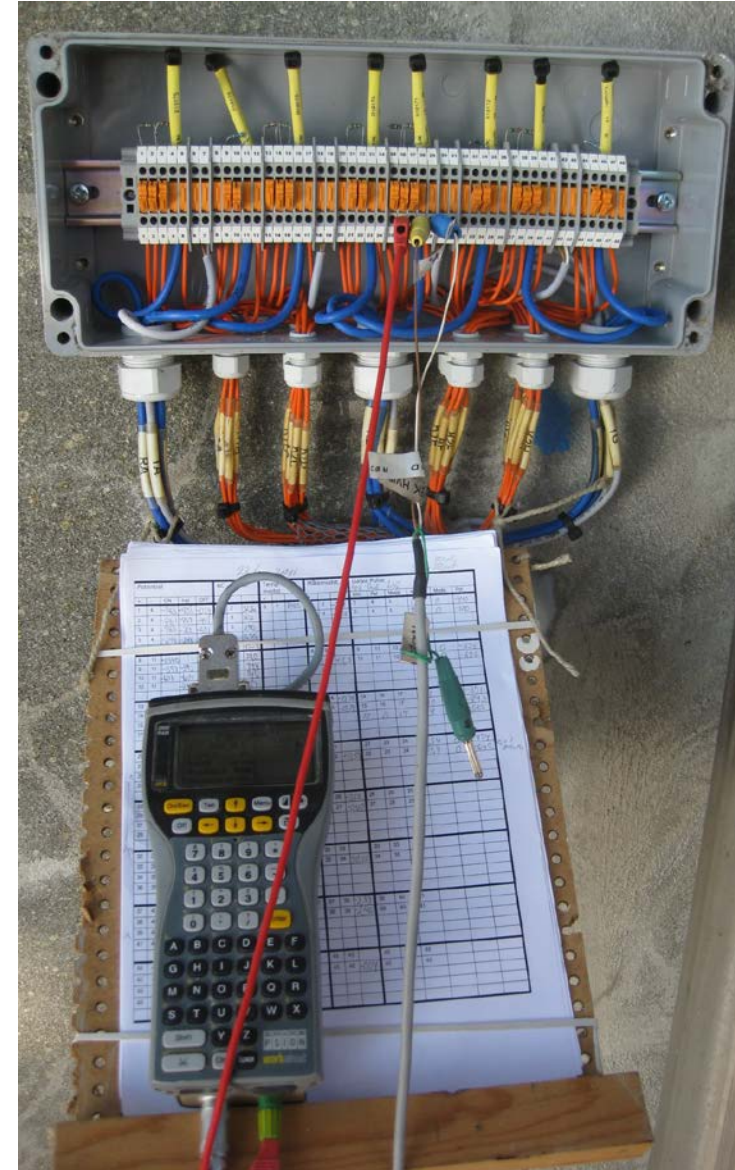
Kontinuert måling dyr pga.:

- Langvarig måleperiode
- Aggressivt og øde placering
- Komplicerede målinger (LPR)



MÅLEMETODER, BEYOND STATE OF THE ART

- Måling af katodisk beskyttelse
- Måling af makro-celle strøm
- Alm. Korrosionshastighedsmåling
- Tage højde for årstidsvariationer
- Udvikling uden anoder
- Holdbarhed for anoder



RESULTATER, HOLDBARHED UDEN ANODER

Vurdering vedr. 50 års holdbarhed:

- Makrocellekorrosion $>2-5 \mu\text{m}/\text{år}$ er uacceptabelt
- Galva Puls $> 5-15 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ nedsætter holdbarheden væsentligt
- Makrocelle korrosion forværrer Galva Puls resultater
- Stigende korrosion i løbet af 6 år forværrer resultaterne

Anode	Potential (mV)		Makro celle ($\mu\text{m}/\text{år}$)		Galva Puls ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	
	Start	Slut	Start	Slut	Start	Slut
1	-365	-587	0,2	5,0	0,3	14
2	-522	-608	7,0	5,7	25	20
3	-419	-601	0,6	1,3	0	11
4	-437	-231	0,0	0	1,7	0,6

Konklusion:

- 3 rep. vil næppe opnå 50år
- 1 rep. bør kunne opnå 50 år

RAMBOLL

Force Technology, tolkning af Galva-pulse målinger

- Corrosion rate below $0.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ - negligible
- Corrosion rates between 0.5 and $5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ - slow
- Corrosion rates between 5 and $15 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ - moderate
- Corrosion rates above $15 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ - high

RESULTATER, REPARATIONER MED ANODER

Anode	Depolarise ring (mV)		Makro celle (mA/m ²)		Galva Pulse (µA/cm ²)	
	Start	Slut	Start	Slut	Start	Slut
1	261	212	-1,6	-11	1,4	7,3
2	19	8	-1,6	-12	0,8	34
3	120	108	-0,8	-5	0,6	3,4
4	21	1	-5	-21	18	22

Vurdering:

- Depolarisering >100 mV giver fuld beskyttelse
- Makro celle -0,2 til -2 mA/m² forebygger korrosion
- Makro celle -2 til -20 mA/m² standser korrosion
- Galva Pulse >5-15 µA/cm² nedsætter holdbarheden

EN 12696

Konklusion:

- Tilsyneladende opnås kun fuld beskyttelse af moderat korroderende rep.
- Den store beskyttelsesstrøm bør dog reducere korrosionen betydeligt

HOLDBARHED AF ANODER, MÅLERESULTATER



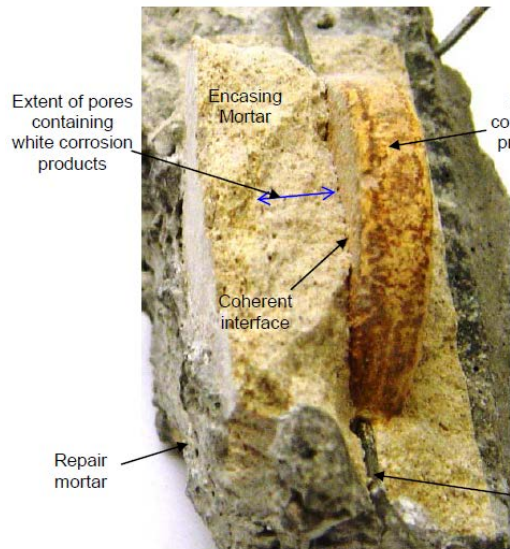
Resultater efter 6 år:

- Lille ændring af ubelastet og belastet potential for 50%
- Tydelig ændring af ubelastet of belastet potential for 50%
- Nogen ændring af ubelastet potential for 50% passive anoder

Teoretisk anodelevetid med aktuel strømavgivelse 13-25 år

Konklusion:

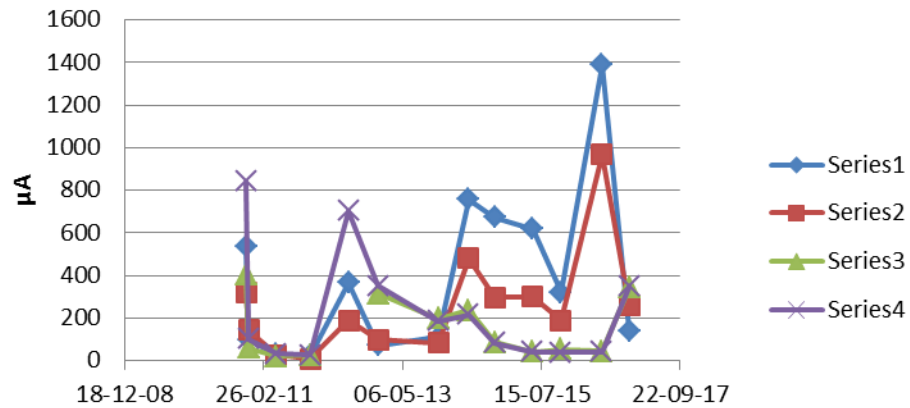
- Svækkelse for 50% af anoderne
- Også svækkelse af passive anoder



(a)

Anode Nr.	Potential, ubelastet		Potential, belastet	
	Start	Slut	Start	Slut
1 Aktiv	-1348	-1310	-878	-893
1 Passiv	-1329	-1282		
2 Aktiv	-1319	-1344	-759	-649
2 Passiv	-1352	-1161		
3 Aktiv	-1310	-1011	-800	-505
3 Passiv	-1300	-1231		
4 Aktiv	-1330	-796	-842	-554
4 Passiv	-1337	-1187		

TEORETISK ANODELEVETID

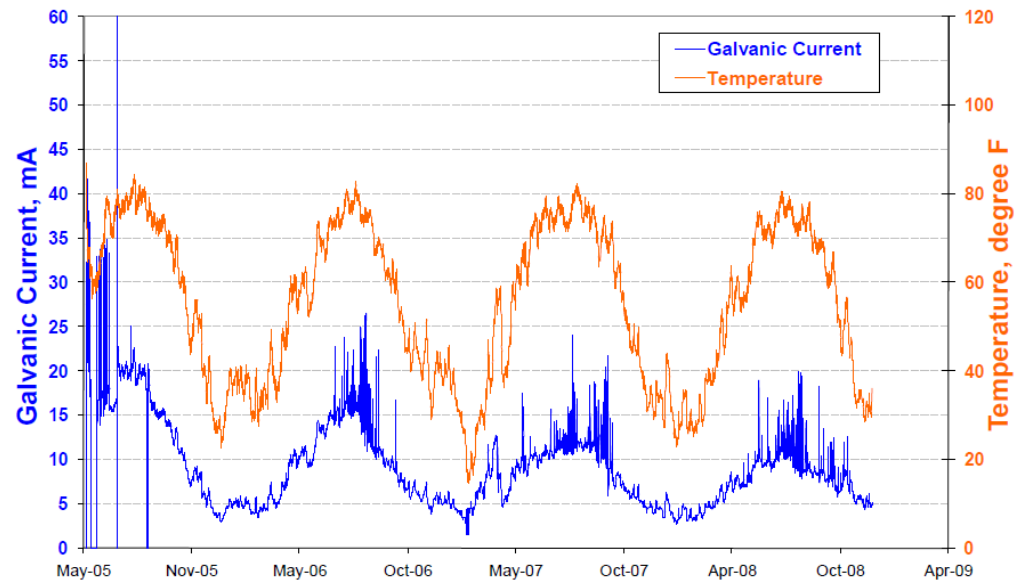


Med den "gennemsnitlige" strømavgivelse har anoderne en maksimal levetid på 25-50 år

Den "gennemsnitlige" strømavgivelse kan vanskelig bestemme fra de aktuelle målinger

Kontinuerte målinger giver en mere korrekt bestemmelse

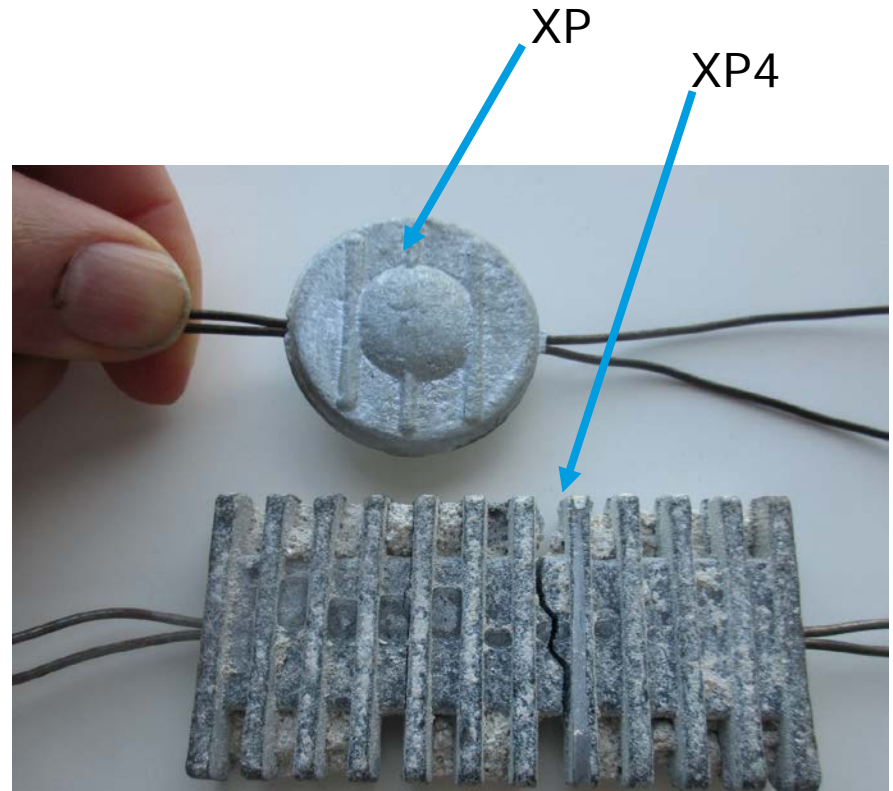
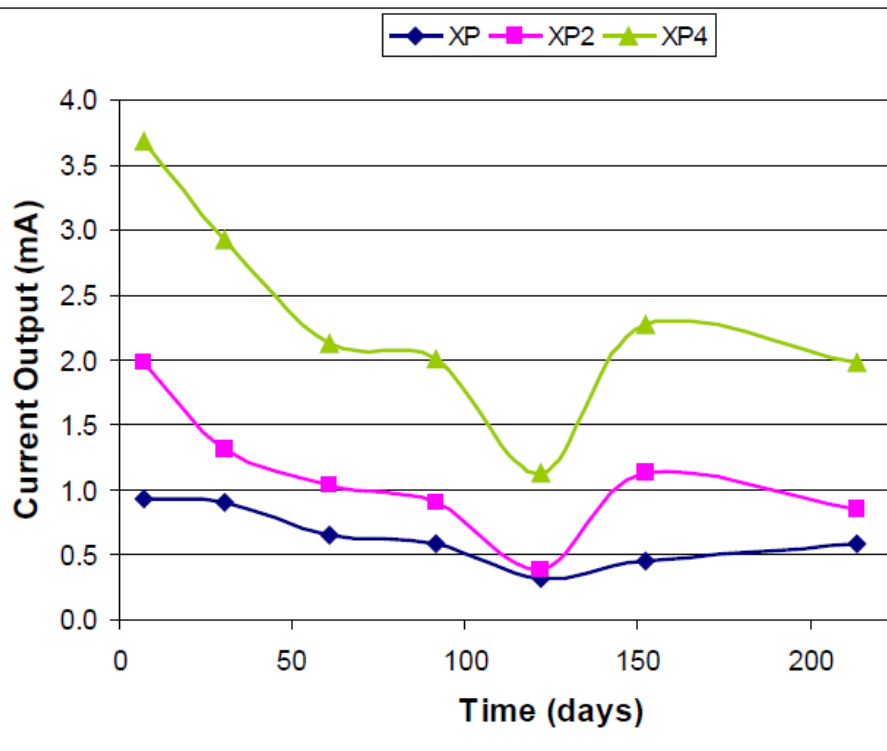
RAMBOLL



FORBEDRING AF LØSNINGEN

Nyudvikling af galvashield, : XP → XP2:

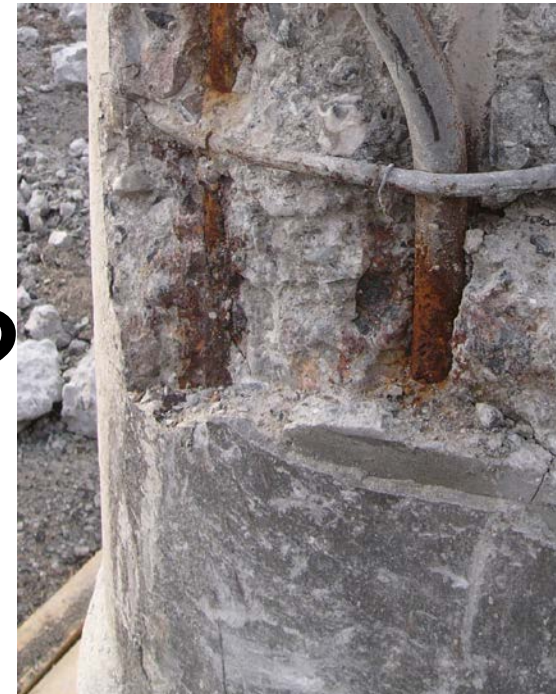
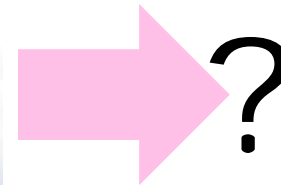
- Meget større overflade øger beskyttelseseffekt 50-100%
- Øget zinkmængde forøger teoretisk levetid med 66%
- Prisforøgelse <10%



KONKLUSION

Målinger gennem 6 år på Mønbroen tyder på at:

- Der er store lokale variationer på succesen af lokalreparationer
- Der opstår lokalskader for en traditionel reovering inden 50 år
- Det er vanskeligt at måle holdbarhedsforbedringen med anoder
- Indstøbte offeranoder kan i betydelig grad bremse korrosion i min. 10 år





Tak for opmærksomheden