

54406370

# **Betongrehabiliteringsdagene 2005**

**8. – 9. mars 2005  
Ingeniørenes Hus, Oslo**

**Katodisk beskyttelse med  
ledende overflatebelegg  
(15)**

**Foreleser:  
Dr.ing. Franz Pruckner  
V & C, Wien, Østerrike**

# Katodisk beskyttelse med ledende overflatebelegg

Franz Pruckner\*

V&C Kathodischer Korrosionsschutz GesmbH

Hauptstrasse 147a/A-05

A-3031 Østerrike

## Innledning

Teknologien for katodisk beskyttelse (KB) ble først benyttet i 1984 av Sir Humphrey Davy som tok imot oppdraget fra det britiske admiraltetet om å beskytte kopperpaneler til deres treskip. Kopperforkledningen ble galvanisk beskyttet med plater av støpejern.

I dag er katodisk beskyttelse av metaller i jord og sjøvann generelt kjent og praktisert. Anvendelse av KB i sjøvann og jord er normert via nasjonale og internasjonale standarder og retningslinjer.

Katodisk beskyttelse av armering i betong er for første gang installert av Richard Stratfull på San Mateo – Hayward bru over San Francisco bukten i California. Forsøksprosjektet kunne ansees som suksess og ble grunnlag til første kommersielle KB-prosjektet til Sly Park bru i 1973 med ledende belegg [1, 2]

## Eksempel 1: Første KB-prosjekt i 1973

Sly Park bru var *en* platebjelkekonstruksjon liggende på to pilarer med spennvidde på 33.5 m og bredde på 14.6 m (se Fig. 1). Bruen ble bygd i 1964 og allerede i 1972 delamineringer på grunn av armeringskorrosjon. I løpet av de følgende 14 måneder vokste den synlige skaden fra 2 til 12 % og antall av korrosive armeringspotensialer ( $< -350$  mV mot CSE) økte fra 53 % til 71 % (se skadekart i Fig. 2) Det krevdes en rask beslutning!



Fig. 1: Sly Park bru langs Highway US-50 i California [2]

---

\* franz.pruckner@vc-austria.com

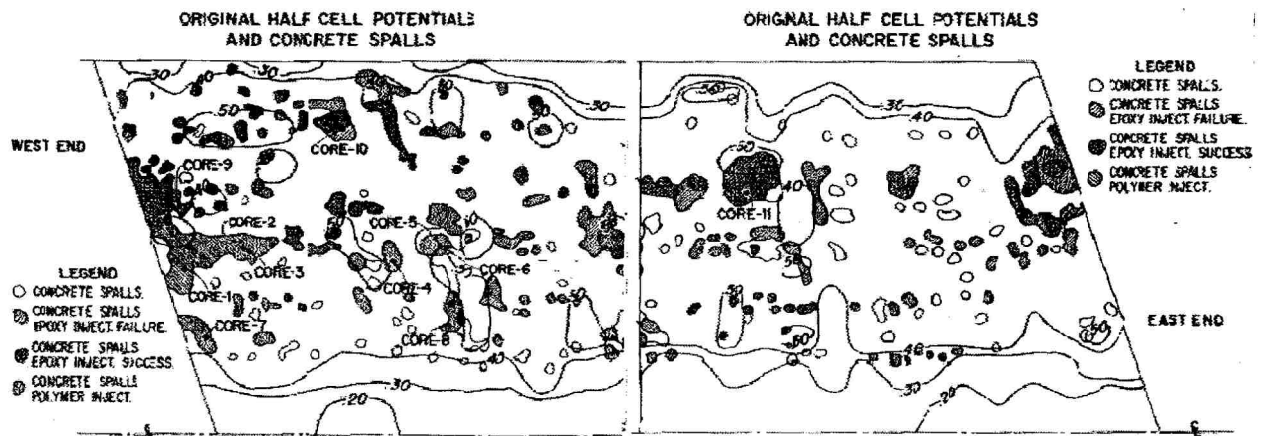


Fig. 2: Skadekart med potensialkartlegning av Sly Park brudekke (verdier i V mot CSE)

Grunnen til korrosjon av armeringen var kloridinntrengning i betongen (veisalt). Nedbørmengden lå ved 1070 mm per år (derav 460 mm som snø) per år og temperaturer varierte mellom  $-9.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  om vinteren og opp til  $40.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  om sommeren. Kloridprofilen viste farlige mengder klorid i armeringsdybde (se Fig. 3).

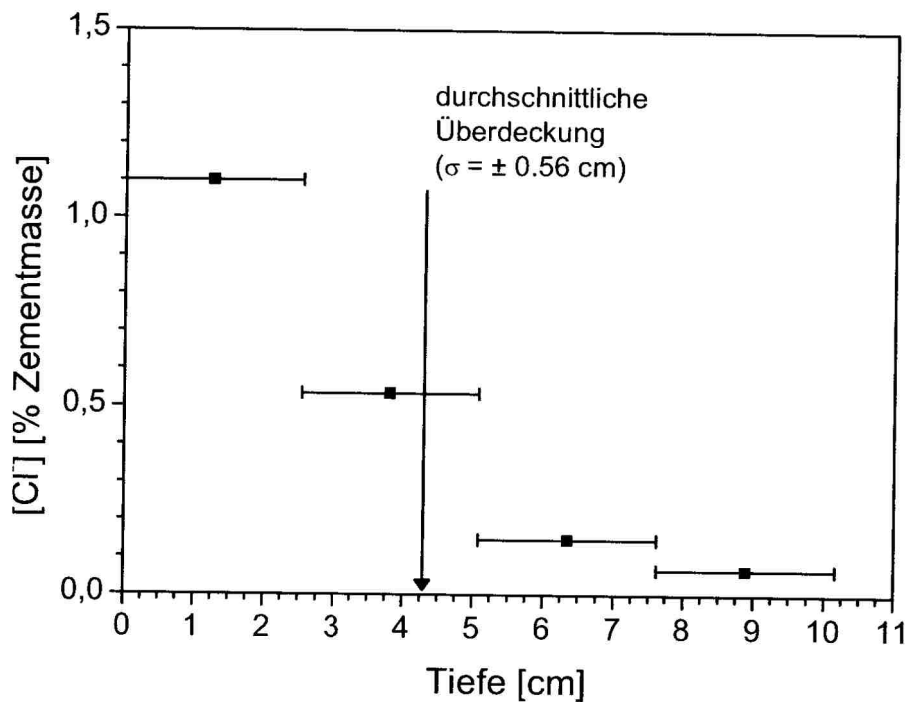


Fig. 3: Kloridprofil i betongdekke til Sly Park bru

Ved dette første prosjektet ble allerede henvist energisk på armeringskontinuitet: Det ble påstått, at isolerte armeringsjern er utløsere til strøstrøm med korrosjon av armering og delaminering av betong som følge.

Som anodesystem brukte man elektrisk ledende asfalt, hvor primæranoder av ferrosilisium ble støpt inn. Tykkelse av det ledende belegget var 7.6 cm. Oppå dette ble det støpt 5.1 cm vanlig asfalt. Sammensetningen av den ledende asfalten var 85 % koksgrus og 15 % asfaltsement. Blandingen ble lagt over primæranodene og ledningene på brudekket og komprimert. Teknikken resulterte i en ganske jevn fordeling av beskyttelsesstrømmen. (Skissen av prinsippet vises i Fig. 4) I 1973 lå installasjonskostnadene for katodisk beskyttelse av armering i betong ved 32 \$/m<sup>2</sup>.

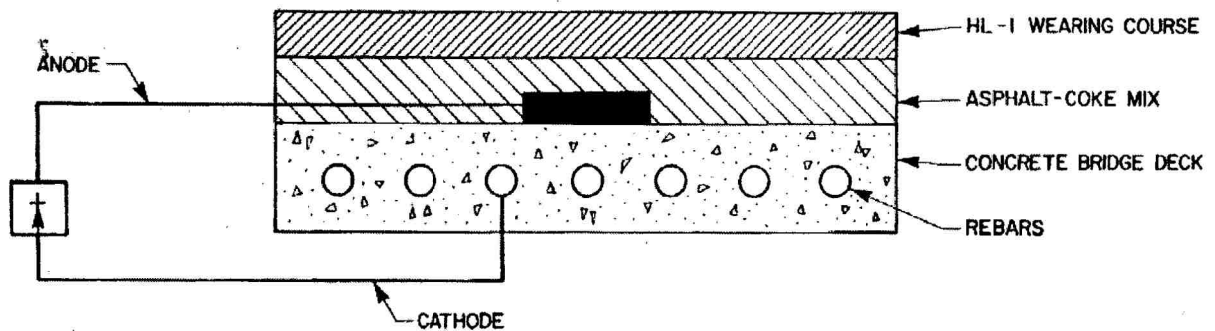


Fig. 4: Prinsippskisse til første KB-anlegg Sly Park bru i 1973

I begynnelsen brukte man bilbatterier som strømkilde, men etter to måneder ble en likeretter installert (se Fig. 5). 1.65 V påtrykt spenning var nok til å beskytte armeringen med 3.25 mA/m<sup>2</sup> per betongoverflate i 1973. I 1981 var lå spenningen mellom 1.6 og 1.8 V og beskyttelsesstrømtetthet rundt 8.6 mA/m<sup>2</sup> betongoverflate (Fig. 6)

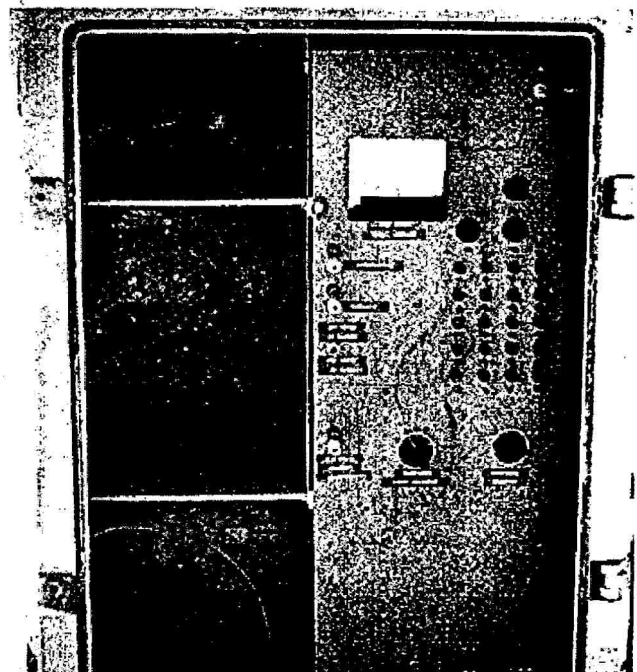
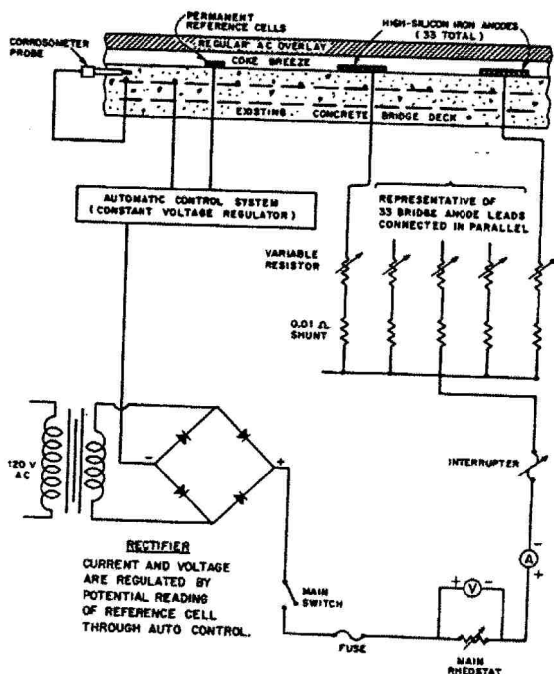


Fig. 5: Likeretter til KB-anlegg til Sly Park Bru (1973)

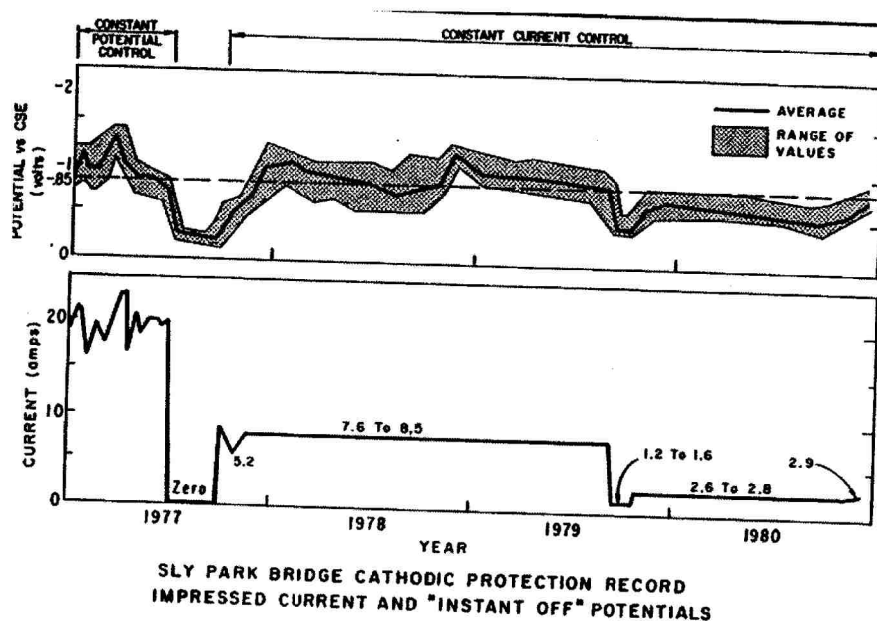


Fig. 6: Sly Park bru i drift. Som kriteriet bruktes "-850 mV potensialkriteriet".

I en rapport fra det føderale veivesen av de forente stater fra 1992 ble det konstatert: "De eldste systemene fra 1973 og 1974 i California fungerer fortsatt" [3].

Og i 2005 har undertegnede fått e-post fra veivesen i California med følgende innhold:

*"The Sly Park CP system was probably in operation until about 1994, rough 20 years from the time it was originally installed. There are no records, however, when the system was discontinued. As far as I know, the system performed as expected over it's intended life."*

**Doug Parks**  
 Chief Corrosion Technology Branch  
 Materials Engineering and Testing Services  
 California Department of Transportation  
 e-post fra 18.02.2005

## Eksempel 2: Første Erfaringer med ledende malingsanoder (1982-1986)

Fra 1982 til 1986 løp et prosjekt for testing av anoder på brupilarer til Burlington Bay Skyway [4, 5]. Blant åtte anodesystemer var det fire med ledende maling, med og uten toplakk (latex-maling) og forskjellige primæranoder. Blant annet ble det brukt akrylbasert maling med karbonfyllstoff. Anodene ble testet med konstant strømtetthet ( $13 \text{ mA/m}^2$ ). Mer eller mindre alle malingsanoder viste avskalling etter kort tid. Driftspenning for malingsanodene var mellom 3 og 5 V men mot slutten for et system ved 15 V (likerettergrensen).

I rapporten til vegvesen i Ontario (Canada) ble det antatt, at avflassing av anoden (se Fig. 7) ikke er direkte relatert til strøm [5]. (Med dagens kunnskap må man si at den høye strømtettheten og den høye spenningen sikkert har ødelagt mellomsjiktet mellom anode og betong og delvis oksidert anoden.)

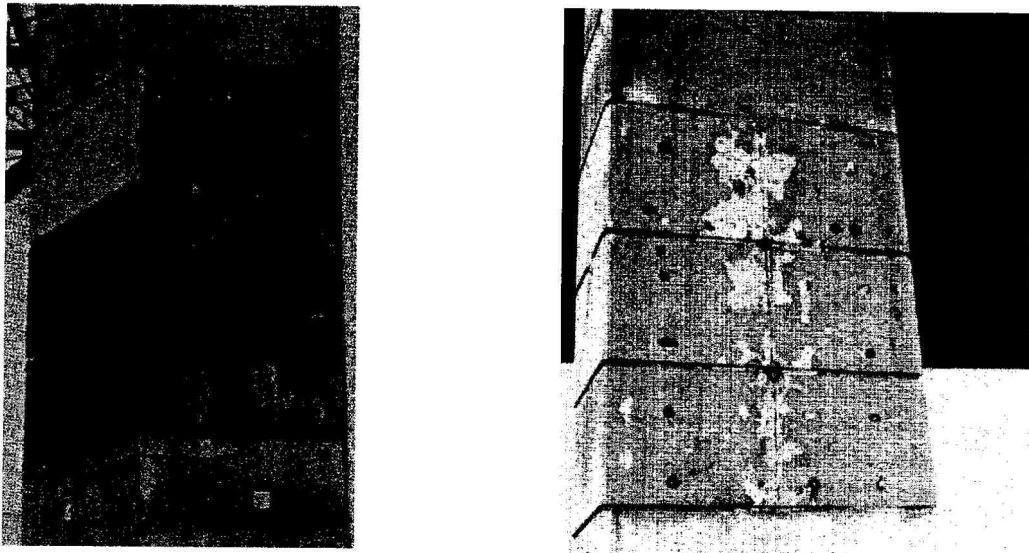


Fig. 7: Burlington Bay Skyway - Forskjellige malingsanoder etter 15 måneder (venstre) og 3 år (høyre) i drift.

### Eksempel 3: Tidlige prosjekter i Norge Nerlandsøy kystbru, 1993

Måling av kloridinnhold i 1991 viste betraktelige mengder klorid i armeringsdybde (se Fig. 8). Potensialmålinger viste mange verdier lavere enn -400 mV mot CSE. Spesielt i sokkelområde var korrosjonspotensialene i kritisk område. Der fantes også synlige skader. Kloridinntrengning skyldtes hovedsakelig saltholdig aerosol som er fraktet med vind fra sjøsiden. [6]

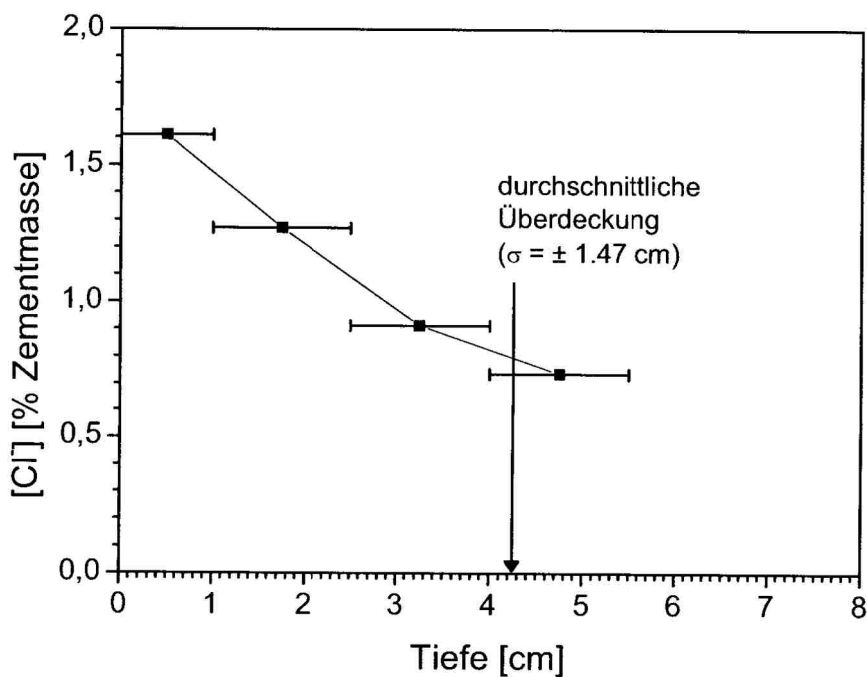


Fig. 8: Gjennomsnittlig kloridprofil for en brupilar (1991)

Anodesystemet som ble brukt består av sølvbånd som primæranode og et grafittholdig belegg på styrolakrylatbasis. Tykkelse var rundt 150  $\mu\text{m}$ . Oppå det ledende belegg ble det lagt en tykkfilmsmaling på akrylatbasis.

Påtrykt spenning var maksimal 2 V. Strømtetthet i første måned (5. mai 1992) var 4.5 mA/m<sup>2</sup>. Som veldig viktig ble spenningsfallet i anoden anset, at den er lav

Etter informasjon fra det involverte konsulentfirma fungerte anlegget i 2004 upåklagelig: Kontrollmålinger (depolariseringsmålinger) er etter dagens krav (EN 12696) tilfredsstillende.

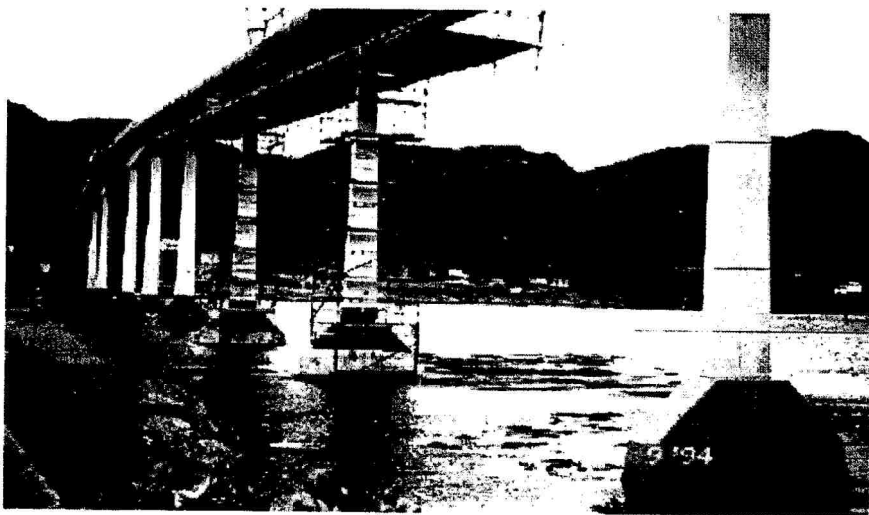


Fig. 9: Nerlandsøy bru. Utvidelse av KB-installasjon med ledende maling i 1994

Ved kursdagene "Katodisk beskyttelse av armeringsjern i betong", 4. – 5. januar 2005, NTNU, Trondheim ble det meldt fra en representant fra statens vegvesen at Nerlandsøy bru og Nordre Vaulen bru som også er katodisk beskyttet ved samme tid med ledende maling er de eneste av den brutypen som fortsatt står, mens de andre ble revet ned [7].

### Mineralsk karbonbasert Anode

All erfaring med karbonbaserte malingsystemer så langt viste, at strømtetthet gikk etter relativ kort tid kraftig ned ved samme påtrykte spenning. For eksempel kan man se, at strømtetthet for anoden montert i Arlberg tunnel gikk ned fra rundt 4 mA/m<sup>2</sup> til under 1 mA/m<sup>2</sup> (Fig. 10). Når det er nødvendig å bruke høy strømtetthet over lang tid kan denne typen anoden være uegnet. Høy strømtetthet vil automatisk føre til høy spenning mellom anode og armeringsjern, det vil si et høyt anodepotensial. Fra litteraturen visste man at høyt anodepotensial fører til oksidasjon av det karbonbaserte fyllstoff og at grafitstikk fyllstoff er mest motstandig mot anodisk oksidasjon [8]. Oksidasjon av anoden reduserer levetid betydelig, som Burlington Bay Skyway eksperimentet viste tydelig.

Det var derfor av stor interesse å utvikle en anode med alle fordeler en malingsanode medfører (lite vekt, hvor strømtetthet kunne være høy ved samtidig et lavt anodepotensial (eller ved lav spenning)).

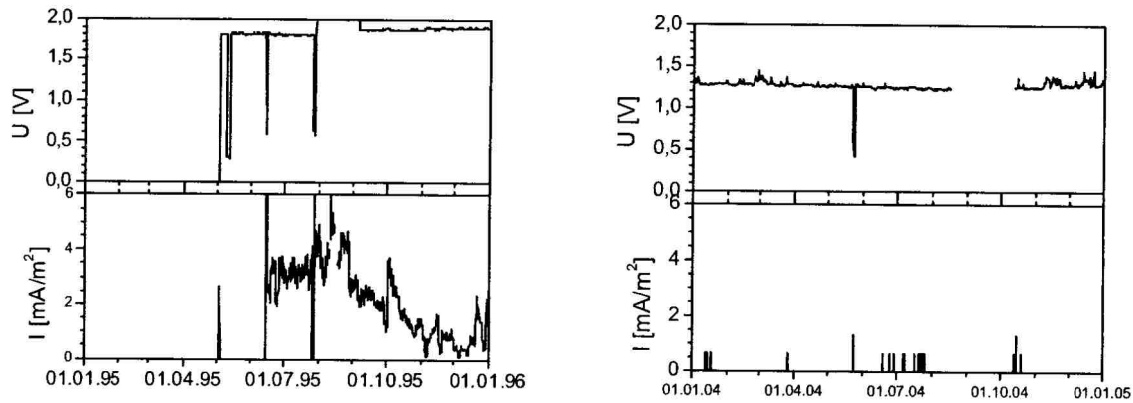


Fig. 10: Påtrykt spenning og strømtetthet til Anode i Arlberg tunnel (Vestøsterrike) i første og tiende driftsår.

Alle anodene (Burlington Bay Skyway, Nerlandsøy, Nordre vaulen, Arlberg tunnel) var akrylbasert med grafitt eller sot som elektroaktiv fyllstoff. Men det akrylbaserte bindemiddelet kan anses som et isolerende sjikt mellom de elektrisk ledende karbonpartikler og mellom karbonpartiklene og betong. Det ble derfor forsøkt å finne et bindemiddel som ikke virker isolerende. Dette førte til utvikling av en mineralsk anode (karbonbasert anode med mineralsk bindemiddel).

I laboratoriet kunne man ved bruk av internasjonale retningslinjer for testing til malingsanoder [9] dokumentere, at den mineralske anoden hadde forbedret elektrokjemiske egenskaper: Både, den indre motstanden av anoden ("kvadratmotstand") og overgangsmotstand mellom anode og betong er mye lavere for den mineralske anoden enn for den organiske anoden. Fyllstoff var den samme for begge anodetyper. Dette resulterte i lavere spenning for den mineralske anoden ved samme strømtetthet (se Fig. 11).

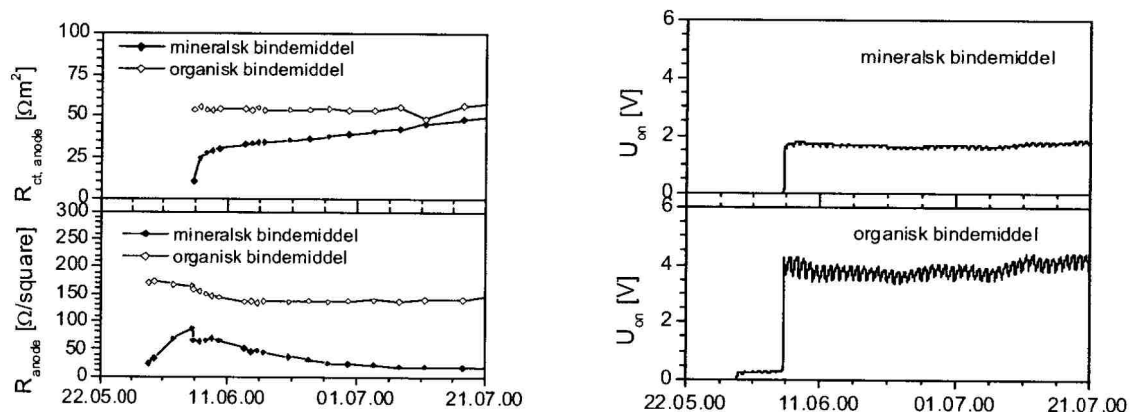


Fig. 11: Overgangsmotstand og "kvadratmotstand" til mineralsk og organisk anode (venstre) og resulterende påtrykt spenning ved samme strømtetthet (konstant  $21.5 \text{ mA/m}^2$ ) i laborieforsøk.



En av de første prosjekter, hvor den mineralske anoden ble installert, var på dekkene til parkeringshus "Nedre Haugen" i Oslo. Oppå den mineralske anoden ble en flere millimeter tykk polyurethanbelegg påført. Strømmen ble slått på i april 2000. Etter fire år i drift ved "lav spenning" (1.7 V) var strømtettheten fortsatt mellom 1.5 til 2 mA/m<sup>2</sup> betongoverflate (se Fig. 12). På grunn av den opprinnelige korrosjonstilstanden er rundt 2 mA/m<sup>2</sup> beskyttelsesstrøm nødvendig. Anoden, som ble brukt til Arlberg tunnel måtte man overpolarisere for å kunne oppnå samme strømtetthet.

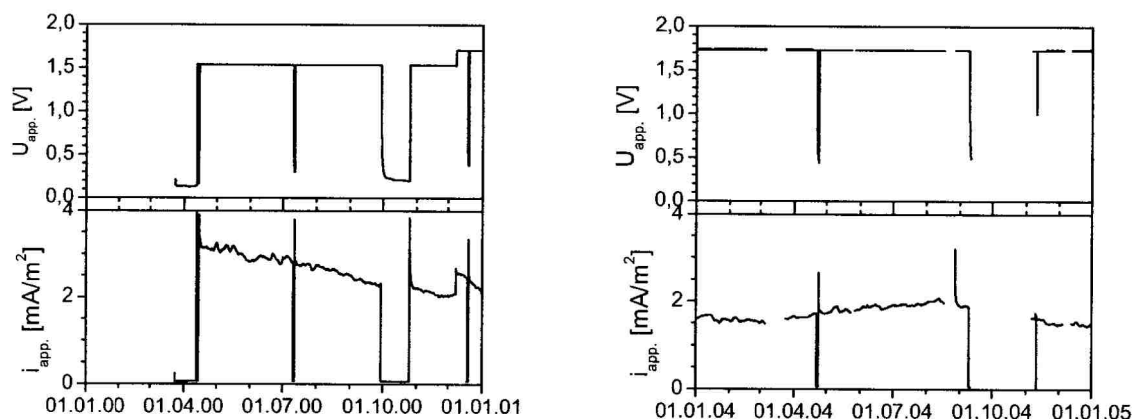


Fig. 12: Påtrykt spenning og strømtetthet til KB-anlegg "Nedre Haugen parkeringshus". Mineralsk anode med polyurethanbelegg ble installert. Venstre bilde: første driftsår, høyre bilde: femte driftsår.

I videreutviklingen ble den mineralske anoden kombinert med epoxy-sementbelegg. Grunnen til dette var, at den var diffusjonsåpen i motsetning til det polyurethanbaserte belegget, og det var alkalisk. Spesielt alkaliteten anses å være viktig: I den anodiske reaksjonen (uavhengig av anodetype) forbrukes alkalitet. For hver ladning (elektron) som omsettes ved anoden dannes en proton (syremolekyl). Grensesjikt mellom anode og betong forsurens stadig. Forsuringshastigheten er avhengig av strømtetthet. En alkalisk påstøp på anoden vil derfor motvirke forsuringen på grunn av sin funksjon som alkalipuffer. Samtidig øker hydroxylionene fra påstøpen den elektrolytiske ledningsevnen. En tredje positive effekt er beskrevet i litteraturen: karbonoksidasjon er vanskeligere i alkalisk miljø [8]. Dette virker også imot ulempen alle overflateanoder må slåss med, nemlig, at overflaten er allerede forsuret på grunn av karbonatiseringen. Innstøpte anoder ligger vanligvis i fersk, alkalisk støpemasse, som kjemisk er et vennligere miljø for anoden å levere mye strøm gjennom. De elektrokjemiske egenskaper av den mineralske anoden med "kjemisk støtte" fra et epoxysementbelegg kan anses å være en kraftig forbedring sammenlignet med den organiske karbonbaserte anoden.

Et tidlig prosjekt, hvor mineralsk anode samt epoxysement toppbelegg ble brukt var "Frydenlund garasje". Som Fig. 13 viser ligger strømtetthet i det fjerde driftsår etter oppstart ved 2.65 mA/m<sup>2</sup>. Spenningen som brukes er kun 1.47 V

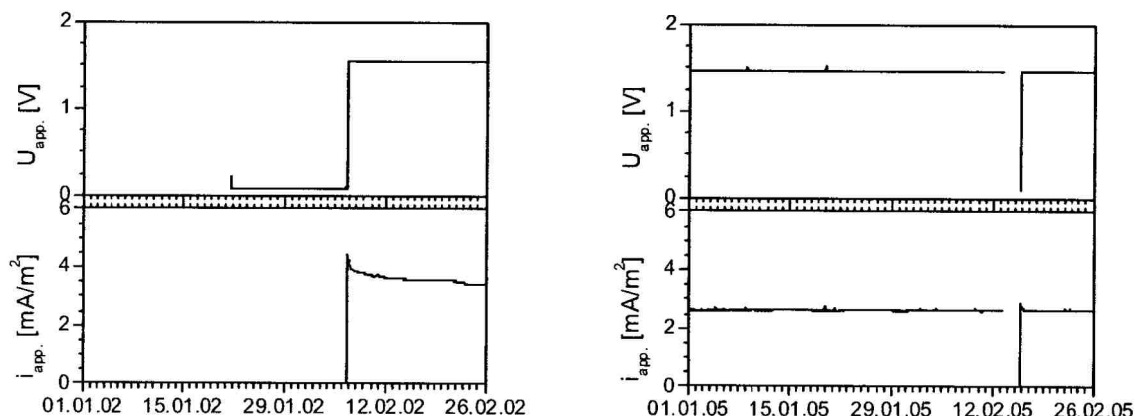


Fig. 13: Påtrykt spenning og strømtetthet til KB-anlegg "Frydenlund garasje". Mineralsk anode med epoxysementbelegg ble installert. Venstre bilde: oppstartsfasen, høyre bilde: fjerde driftsår.

Ved noen anlegg leverer den mineralske anoden, belagt med epoxysement, enda høyere strømtetthet og holder seg høy over flere år som eksempel anoden installert på dekke til "Sagene Terrassen garasje" (Fig. 14)

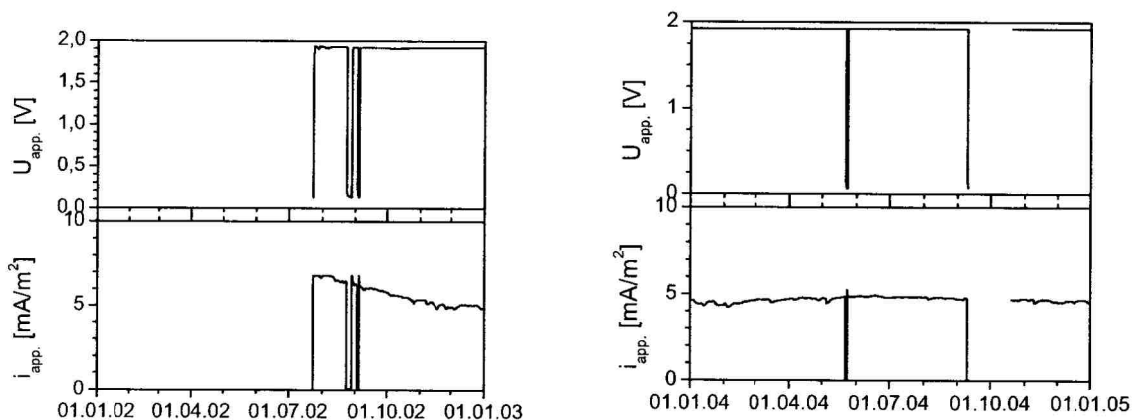


Fig. 14: Påtrykt spenning og strømtetthet til KB-anlegg "Sagene Terrassen garasje". Mineralsk anode med epoxysementbelegg ble installert. Venstre bilde: første driftsår, høyre bilde: tredje driftsår.

## Konklusjon

- Ved fornuftig bruk av spenning og strømtetthet er det mulig å få lang levetid av ledende belegg som anodesystemer.
- Dette ble allerede vist med det første KB prosjektet i California, hvor en lav spenning ble brukt for å trykke på strøm. Dårligere erfaringer hadde man med elektrisk ledende malinger i 80-tallet i Canada. Delvis var det høye strømforbruket samt høy spenning skyld til at den ledende malingen har flasket av etter kort tid.

- Bedre erfaring hadde man med ledende maling (organisk bindemiddel) brukt ved Nerlandsøy og Nordre Vaulen. Men den nødvendige beskyttelsesstrømmen er relativt lav. Derfor var det mulig å beskytte armeringen tilstrekkelig med ufarlig spenning.
- Mineralsk anode har den elektrokjemiske fordel, at den leder bedre strøm (lavere motstand), og at overgangsmotstanden til betong er meget lav, også over lang tid. Det er derfor mulig å bruke høy strømtetthet ved lav spenning sammenlignet med organisk anode, slik at også sterk korroderende konstruksjoner kan beskyttes katodisk med ledende belegg.

## Epilog

Den "organiske anoden" brukt på Nerlandsøy, Nordre Vaulen og Arlberg tunnel er kjent under betegnelse "-AHEAD- conductive primer", produkt fra Protector AS.

Nerlandsøy bru ble installert av Protector (tidligere Coating as.) i samarbeid med Vedlikeholdservice as. (eid av Strøm-Gundersen as.). Konsulentstøtte ble fått av Ødegård & Lund as. Nordre Vaulen ble installert av Vedlikeholdservice, Arlberg tunnel, Nedre Haugen, Frydenlund og Sagene Terrassen ble installert av Protector as.

Utviklingen av den mineralske anoden, som er kjent under produktnavnet "ZEBRA anode" fant sted i laboratoriet til Protector AS og er patentbeskyttet. Polyurethanbelegg var kjent under produktnavnet "-AHEAD- AX/PU". Epoksysement toppbelegg er kjent under produktnavnet "-AHEAD- AX/ECH" for garasjegyulv og "-AHEAD- EC-Protective Coating" for ikke kjørbare flater.

## Referanser

- 1 R.F. Stratfull  
*Experimental Cathodic Protection of a Bridge Deck*  
California Department of Transportation, Report CA-DOT-TL-5117-4-74-02,  
Sacramento, CA 95807, January 1974
- 2 G.H.C. Chang, J.A. Apostolos, F.A. Myhres,  
*Cathodic Protection Studies of Reinforced Concrete*  
California Department of Transportation, Report No. FHWA/CA/TL-81/02, March  
1981
- 3 J.P. Broomfield, J.S. Tinnea  
*Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge Elements*  
Strategic Highway Research Program, Report SHRP-C/UWP-92-618, National  
Research Council, Washington, DC 1992
- 4 H.C. Schell, D.G. Manning  
*Early Performance of Eight Experimental Cathodic Protection Systems at the  
Burlington Test Site*  
Report ME-84-05, The Research and Development Branch, Ontario Ministry of  
Transportation, December 1984

- 5 D.G. Manning, H. Schell  
*Substructure Cathodic Protection in Ontario: Field Trials 1982-1986*  
Report ME-87-05, The Research and Development Branch, Ontario Ministry of Transportation, May 1987
- 6 Ødegård og Lund AS  
*Elektrokjemisk rehabilitering av betong*  
*Nerlandsøy kystbru*  
*Forsøk med ELKINET AHEAD Systemet*  
Mai 1992
- 7 Copyright: Jørn Arve Hasslø, Statens Vegvesen, Midt Norge, januar 2005
- 8 B.J. Eastwood, P.A. Christensen, R.D. Armstrong, N.R. Bates  
*Electrochemical oxidation of a carbon black loaded polymer electrode in aqueous electrolytes*  
J Solid State Electrochem., 3, 179-186 (1993)
- 9 NACE Task Group T-3K-6, Draft #5  
*PROPOSED NACE STANDARD TEST METHOD*  
*“Anode Test Procedures for Organic-Based Conductive Coatings for Use on Concrete Structures”*  
NACE, Houston, Texas, 1998