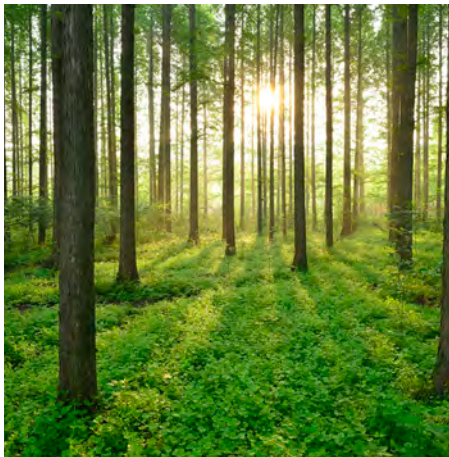


# BESTÄMNING AV KORROSIONSSKYDDSFÖRMÅGAN FÖR OLIKA REPARATIONSBRUK VID PARTIELLA REPARATIONER

RAPPORT 2026:1186



BETONGTEKNISKT PROGRAM  
KÄRNKRAFT



# Bestämning av korrosionsskyddsförmågan för olika reparationsbruk vid partiella reparationer

BROR SEDERHOLM, JOHAN AHLSTRÖM, JAN TRÄGÅRDH

ISBN 978-91-89917-29-3 | © Energiforsk april 2026

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: [kontakt@energiforsk.se](mailto:kontakt@energiforsk.se) | [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



## Förord

Denna rapport är del av resultaten från ett projekt i vilket Energiforsks Betongtekniska program inom kärnkraft har deltagit. Betongprogrammet har som syfte att öka kunskapen om de aspekter som påverkar säkerhet, underhåll och utveckling av betongstrukturer i de nordiska kärnkraftverken.

Partiella betongreparationer används i nordiska kärnkraftverk för att hantera lokala skador orsakade av korrosion. Felaktigt utförda reparationer kan dock leda till förkortad livslängd, ökade underhållskostnader och risk för återkommande skador.

Projektets syfte var att undersöka hur olika reparationsbruk och kompletterande skyddsåtgärder påverkar korrosionsförloppet vid partiella betongreparationer, med särskilt fokus på gränzonen mellan befintlig betong och nytt reparationsmaterial.

Resultaten visar att materialval, brukens resistivitet och korrekt utförande är avgörande för långsiktig funktion. Vissa reparationsbruk uppvisade tydligt bättre korrosionsskydd, medan felaktig installation av skyddssystem kan motverka den avsedda effekten.

Studien utfördes av Bror Sederholm, Johan Ahlström och Jan Trägårdh, RISE. Studien utfördes i samarbete mellan flera organisationer, däribland Energiforsks Betongtekniska program, som finansieras av Vattenfall, Uniper, Fortum, TVO, Skellefteå Kraft, Karlstads Energi, SSM samt SKB.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

## Foreword

This report forms the results of a project supported by the Energiforsk Nuclear Power Concrete Program. The Concrete Program aims to increase the knowledge of aspects affecting safety, maintenance and development of concrete structures in the Nordic nuclear power plants.

Reinforced concrete structures in nuclear power plants are often exposed to aggressive environments where chlorides can initiate corrosion. Local concrete repairs are therefore common, but if poorly designed they may accelerate corrosion, threaten structural durability, and increase long-term maintenance costs.

The purpose of this study was to evaluate the corrosion protection performance of different cement-based repair mortars used in partial concrete repairs. Laboratory testing and long-term field exposure were applied to assess key material properties and repair concepts under chloride conditions.

The results show that material choice is critical for durable partial repairs. Repair mortars with high resistivity and corrosion inhibitors performed best, macrocell corrosion risks were generally low, and correct design and installation were confirmed as decisive for long-term performance.

The study was carried out by Bror Sederholm, Johan Ahlström and Jan Trägårdh, RISE. The study was performed as joint effort by several Swedish organisations, and is therefore written in Swedish. One of the organisations was the Energiforsk Nuclear Power Concrete Program, which is financed by Vattenfall, Uniper, Fortum, TVO, Skellefteå Kraft, Karlstads Energi, the Swedish Radiation Safety Authority and SKB.

These are the results and conclusions of a project, which is part of a research Program run by Energiforsk. The author/authors are responsible for the content.

## Sammanfattning

**Denna rapport sammanfattar resultaten från ett omfattande forsknings och utvecklingsprojekt genomfört bland annat inom Trafikverkets BBT program och Energiforsk Program - Betongtekniskt Kärnkraft, med syfte att utvärdera korrosionsskyddsegenskaperna hos olika reparationsbruk vid partiella betongreparationer. Bakgrunden är ett tydligt branschbehov där Trafikverket, Statens vegvesen och kärnkraftsindustrin upplever återkommande lokala betongskador orsakade av armeringskorrosion, särskilt i miljöer med kloridexponering såsom broar, tunnlar, kajkonstruktioner och kylvattenkanaler. Otillräckliga eller felaktigt utförda partiella reparationer har visat sig leda till snabba återkommande skador, vilket exempelvis tidigare reparationer på Ölandsbron tydligt visat. Sammantaget visar projektet att materialval, reparationsbrukets resistivitet, inhibitoranvändning och korrekt installation är avgörande faktorer för långsiktigt hållbara partiella betongreparationer. Framtida forskning med avseende reparationsbruk rekommenderas för korrosionsinhibitorer, slagg och andra alternativa bindemedel och förbättrad provningsmetodik för kloridinträngning.**

Projektet har omfattat både laboratorieundersökningar och långtidsexponeringar i fält. Fokus har varit att studera olika reparationsbruks korrosionshårdighet genom både ingjutna klorider och klorider som transporterats in genom kapillärsugning. I labbtesterna användes elektrokemisk potentiostatisk metod för att bestämma tiden till initiering av gropfrätning. Resultaten visade tydliga skillnader mellan materialen. Framför allt stack ett reparationsbruk ut: Mapegrout T60, som innehåller korrosionsinhibitor. Detta bruk uppvisade mycket god korrosionsresistens och var det enda som konsekvent klarade både laboratorie- och fälttester med mycket låg korrosionshastighet. Även Weber 65 + slamma samt Weber 931 visade goda egenskaper i vissa testmoment.

En viktig del av projektet var att undersöka fenomenet makrocellskorrosion, som kan uppstå i gränzonen mellan gammal kloridhaltig betong och nytt reparationsbruk. Generellt visade mätningarna att makrocellströmmarna var låga, särskilt för bruk med hög resistivitet. Mapegrout T60 hade här en tydlig fördel genom sin höga resistivitet och täta porsystem, vilket minskar risk för galvanisk korrosion.

Projektet utvärderade även skyddseffekten av ingjutna offeranoder i form av zinkanodnät. Resultaten visade att zinknätanodernas funktion är god förutsatt att korrekt installation säkerställs – framför allt att zinknätet ansluts till armeringen innan gjutning. Felaktig anslutning kan leda till vätgasutveckling, ökad anodförbrukning och blåsbildning.

I rapportens avslutande del dokumenteras också genomförda partiella reparationer på fem verkliga objekt: Drakenbergs parkeringsgarage, Bognes färjekaj, Ölandsbron, Älvsborgsbron och Smögenbron. Här identifieras gemensamma skadeorsaker såsom tunna täckskikt, karbonatisering, kloridinträngning och bristfälliga tidigare reparationer. Erfarenheterna bekräftar

vikten av korrekt materialval, tillräckligt täckande betongskikt, noggrann vattenbilning och rätt efterbehandling.

## Nyckelord

Nyckelord: Kloridinducerad korrosion, korrosionshastigheter, resistivitet, reparationsbetong, fältkorrosionstester, laboratorietester, makrocellkorrosion, kloridbindningskapacitet, katodiskt skydd, offerzinkanoder, betongkonstruktioner

## Summary

**This report summarizes the results of an extensive research and development project carried out within the Swedish National Road Administration BBT program and Energiforsk, Program - Nuclear Power Concrete Technology with the aim of evaluating the corrosion protection properties of different repair mortars in partial concrete repairs. The background is a clear industry need: both the Swedish Transport Administration, the Swedish National Road Administration and the nuclear power industry experience recurring local concrete damage caused by reinforcement corrosion, especially in environments with chloride exposure such as bridges, tunnels, quay structures and cooling water channels. Insufficient or incorrectly performed partial repairs have been shown to lead to rapid recurring damage, as, for example, previous repairs on the Öland Bridge have clearly shown.**

The project has included both laboratory investigations and long-term exposures in the field. The focus has been to study the corrosion resistance of different repair mortars by both embedded chlorides and chlorides transported in by capillary suction. In the lab tests, an electrochemical potentiostatic method was used to determine the time to initiation of pitting corrosion. The results showed clear differences between the materials. One repair mortar in particular stood out: Mapegrout T60, which contains a corrosion inhibitor. This mortar showed very good corrosion resistance and was the only one to consistently pass both laboratory and field tests with a very low corrosion rate. Weber 65 + slurry and Weber 931 also showed good properties in some test situations.

An important part of the project was to investigate the phenomenon of macrocell corrosion, which can occur in the boundary zone between old chloride-containing concrete and new repair mortar. In general, the measurements showed that the macrocell currents were low, especially for mortars with high resistivity. Mapegrout T60 had a clear advantage here through its high resistivity and dense pore system, which reduces the risk of galvanic corrosion.

The project also evaluated the protective effect of cast-in sacrificial anodes in the form of zinc mesh. The results showed that the anodes function and protection efficiency are well provided that correct installation is ensured - in particular that the zinc mesh is connected to the reinforcement before casting. Incorrect connection can lead to hydrogen gas evolution, increased anode consumption and blistering.

The final part of the report also documents partial repairs carried out on five real objects: Drakenbergs parking garage, Bognes ferry quay, Ölandsbron, Älvsborgsbron and Smögenbron. Common causes of damage are identified here, such as thin cover layers, carbonation, chloride ingress and inadequate previous repairs. Experience confirms the importance of correct material selection, sufficient concrete coverage, careful water drainage and proper finishing.

Overall, the project shows that material selection, resistivity, inhibitor use and correct installation are crucial factors for long-term sustainable partial concrete repairs. Further research is recommended on corrosion inhibitors, slag-cement mixture mortars and improved testing methodology for chloride penetration.

## Key Words

Chloride-induced corrosion, corrosion rates, resistivity, repair concrete, field corrosion tests, laboratory tests, macrocell corrosion, chloride binding capacity, cathodic protection, sacrificial zinc anodes, concrete structures

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Syfte och mål</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Genomförande</b>	<b>16</b>
3.1	Elektrokemisk potentiostatisk mätmetod	16
3.1.1	Provmaterial för stål och betongprover	16
3.1.2	Framtagning av betongprover med ingjutna och insugna klorider	17
3.1.3	Experimentell uppställning för potentiostatisk mätmetod	19
3.1.4	Resultat från laboratoriemätningar av ingjutna klorider	22
3.2	Bestämning av obundna klorider lakningsmetod, modifierad SS-EN 12457-2	35
3.2.1	Resultat av bestämning av kloridhalten för betongprover med ingjutna klorider	37
<b>4</b>	<b>Korrosionsundersökningar i fält</b>	<b>39</b>
4.1	Långtidsexponering av provstänger i reparationsbruk (insugna och ingjutna klorider)	39
4.1.1	Resultat	41
4.2	Bestämning av makrocellström vid partiella reparationer av betongblock efter ett års exponering	49
4.2.1	Bakgrund	49
4.2.2	Utförande	49
4.2.3	Resultat	51
4.3	Bestämning av inverkan av katodiskt skydd vid partiella reparationer av betong	53
4.3.1	Bakgrund	53
4.3.2	Utförande	53
4.3.3	Resultat	56
<b>5</b>	<b>Beskrivning av utförandet av partiella reparationer av betongkonstruktioner</b>	<b>59</b>
5.1	Parkeringsgarage, Drakenberg 11, Hornstull, Stockholm	60
5.1.1	Bakgrund	60
5.1.2	Resultat och diskussion	63
5.2	Bognes färjekaj	65
5.2.1	Bakgrund	65
5.2.2	Resultat och diskussion	68
5.3	Ölandsbron, partiella reparationer av undersida bro	69
5.3.1	Bakgrund	69
5.3.2	Utförande	71
5.4	Älvsborgsbron, partiella reparationer av undersida bro	75
5.4.1	Bakgrund	75
5.4.2	Utförandet	77
5.5	Smögenbron	78

5.5.1	Bakgrund	78
5.5.2	Utförande	80
5.5.3	Resultat	81
<b>6</b>	<b>Fortsatt arbete</b>	<b>84</b>
<b>7</b>	<b>Slutsatser och rekommendationer</b>	<b>85</b>
<b>8</b>	<b>Referenslista</b>	<b>88</b>



# 1 Syfte och mål

Syftet med projektet har varit att undersöka korrosionsskyddsegenskaperna hos reparationsbruk som används vid partiella reparationer i anläggningskonstruktioner av betong. Ett ytterligare syfte med projektet har också varit att utveckla den befintliga provningsmetodiken med ingjutna klorider och i stället transportera in klorider genom täckande betongskikt fram till stålarmeringen. Meningen är att efterlikna verkliga förhållanden. Skillnaderna mellan den befintliga- och den utvecklade metoden är att kloridbindningen i cementpastan sker med olika hastighet och mängd.

Målet med projektet är att visa vilka parametrar som är viktiga för ett beständigt reparationsskikts korrosionsskyddande egenskaper vilket ökar konstruktionens livslängd.

## 2 Bakgrund

Innan projektet påbörjades planerade Trafikverket att utföra partiella reparationer på Ölandsbron och Älvsborgsbron. De betongskador som finns på broarna är lokaliserade till brobaneplattans undersida (Älvsborgsbron, **Figur 1**) och på Ölandsbrons huvudbalk (**Figur 2**).



Figur 1. Partiella betongskador undersida brobaneplatta orsakade av armeringskorrosion, Älvsborgsbron.



Figur 2. Partiella betongskador på huvudbalk orsakad av armeringskorrosion och karbonatisering, Ölandsbron.

I **figur 2** framgår det att tidigare reparation vid Ölandsbron inte har varit beständig.

I kommunikation med Trafikverket och OKG har det framkommit att flertalet betongkonstruktioner i Sverige (Adriano Maglica, Per Thunstedt och Bengt Uvhage, Trafikverket samt Robert Karlberg, Oskarshamn kärnkraftverk) har partiella betongskador orsakats av armeringskorrosion. Beslut om lämpliga reparationsåtgärder togs i samband med att projektet startades.

Stor ekonomisk, klimat och miljömässig vinning kan göras om partiella reparationer kan förlänga livslängden hos betongkonstruktionerna.

Partiella reparationer kan vara rationellt för att förlänga livslängden i konstruktionstyper som är kostsamma för ägare och samhälle under avstängning. Exempel på konstruktioner som kan vara aktuella är trafiktunnlar, stödmurar, kylvattenvägar, kajkonstruktioner, bropelare, brobaneplattor, brobalkar och fundament.

Om den partiella reparationen inte utförs på rätt sätt och med olämpliga reparations-material så har utländska undersökningar visat i kontrollerade laboratoriemiljöer att det finns risk för fortsatt korrosion (Ref 2, 3, 4, 5).

En betydande korrosionsmekanism att undersöka i projektet har varit att efterlikna den elektrokemiska makrocell som uppkommer i samband med partiella lagningar. Makrocellen uppkommer när frilagd armering omsluts av ny lagning och passiveras (ädel yta) samtidigt som den är i kontakt med ej lagad armering (oädel yta) som omsluts av befintlig betong. Detta innebär att den partiella lagningen kan medföra accelererad korrosion i gränssytan mellan ny och befintlig betong (Ref 6).

Reparationsmaterialens kloridbindande förmåga spelar en viktig roll för att minska lösliga klorider vid armeringen (lättlösliga klorider påverkar korrosionen). Reparationsmaterialens resistivitet spelar också en stor roll för att minska korrosionsrisken vid lagningen (för att eliminera bildning av makroceller).

Statens vegvesen har visat att resistiviteten hos olika reparationsmaterial varierar kraftigt (1).

I europeiska standarden (SS-EN 1504-3:2005, Betongkonstruktioner – Produkter och system för skydd och reparation – Del 3: Reparation) för reparationsmaterial i klass R4, tas inte hänsyn till korrosionsskyddsegenskaperna hos reparationsmaterialet.

Förutom att välja ett reparationsmaterial med hög resistivitet och en bra kloridbindande förmåga kan man välja en alternativ metod med offeranoder eller en kombination av båda metoderna.

## 3 Genomförande

I projektet har olika undersökningar av olika cementbaserade reparationsmaterial av klass R4 med avseende på den korrosionsskyddande förmågan genomförts.

En jämförelse utfördes där klorider har gjutits in respektive sugits in i betongen innan provningarna startades.

Korrosionsundersökningar har utförts både på laboratorium som accelererade försök och i fält som långtidsexponeringar av olika reparationsbruk

I projektet har även en översiktlig beskrivning (dokumentation) av genomförda reparationer av olika objekt från stora betongkonstruktioner. I dokumentationen av objekten ingår utförande, materialval och skademekanismer.

### 3.1 ELEKTROKEMISK POTENTIOSTATISK MÄTMETOD

#### 3.1.1 Provmaterial för stål och betongprover

Som provmaterial för den potentiostatiska mätmetoden användes släta provstänger av varmvalsat kolstål med beteckningen S235JR. Provstångernas längd var 100 mm med en diameter av 12 mm. Provstångernas glödska avlägsnades före provning genom att slipa proverna med ett slippapper av kornstorleken 180 grit. På ena kortsidan hos varje provstång borrades ett hål med diametern 4,5 mm för anslutning av en mätsladd.

I den accelererade mätmetoden och i fältundersökningarna ingick betongprover med nio olika typer av cementbaserade reparationsbruk, **Tabell 1**.

Tabell 1. Reparationsbruk som utvärderats i den elektrokemiska mätmetoden och i fältförsöket.

Företag	Reparationsbruk	Cementtyp	Polymertillsatts	Fibrer
Mapei	Mapegrout T60	CEM PTL I 52,5 - SR5	ja	ja
Mapei	Nonset 120 SR	CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	ja	nej
Sto Skandinavien	Sto-Crete GM-SE	CEM I 42,5 N-SR 3/MH/LA	ja	ja
Sto Skandinavien	Sto-Crete TG3-SE	CEM I 42,5 N-SR 3/MH/LA	ja	nej
Weber	Rep 931	CEM I 42,5 N MH/SR3/LA	-	nej
Weber	Rep 65	CEM I 42,5 N MH/SR3/LA	-	ja
Weber	Rep 65+slamma	CEM I 42,5 N MH/SR3/LA +slamma		
Heidelberg	Anl. (CEM I) Slite, FA	CEM II/A-V 42,5 N MH/LA/NSR	nej	nej
Heidelberg	Skövde SH (CEM I) hög C3A-halt	CEM I 52,5 R	nej	nej
Heidelberg	Anl. (CEM I) låg C3A	CEM I 42,5 N-SR 3MH/LA	nej	nej

(\*Observera att Mapegrout T60 innehåller inhibitortillsatts)

### 3.1.2 Framtagning av betongprover med ingjutna och insugna klorider

#### Ingjutna klorider

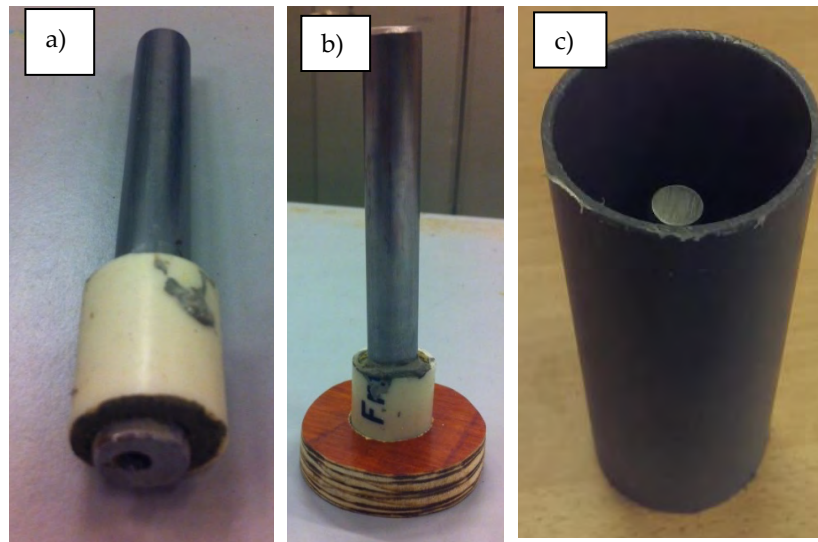
För varje reparationsbruk ingick tre betongprover med en provstång i varje betongprov. Totalt tillverkades sammanlagt 30 betongprover (10 st olika reparationsbruk) med en provstång i varje betongprov.. Varje provstång göts in i betong i två omgångar. Vid den första ingjutningen skapades ett passivskikt på stålytan eftersom inga klorider användes i betongen. Efter två veckors härdning slogs betongproverna isär och provstängerna togs ut från de kloridfria betongproverna med olika bindemedel. Provstängerna var i princip helt rena från fastsittande betongrester. Vid den andra ingjutningen med de nu passiverade provstängerna tillsattes natriumklorid (NaCl) till blandningsvattnet så att 2 vikt-% Cl<sup>-</sup> per bindemedelsvikt uppnåddes i betongen (gäller även insugna klorider). Betongproverna med 2 vikt-% per bindemedelsvikt klorider härdades i 28 dygn.

Betongproverna, som består av tre delar ballast, två delar bindemedel och en del vatten har ett vattenbindemedelstal (vbt) på 0,5. Som ballast användes en sandstorleken som var 2-3 mm.

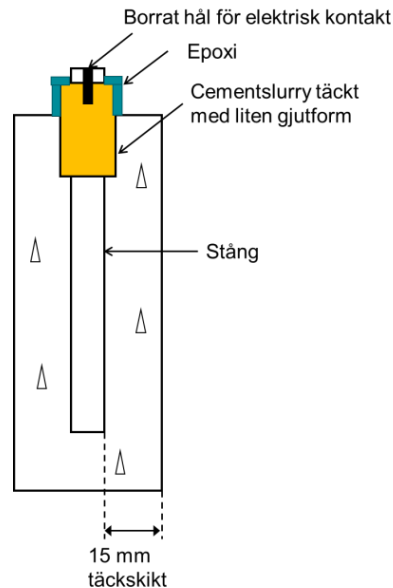
Före den andra ingjutningen av ett stålprov så täcktes den nedre delen av stängen med en cementslamma med hjälp av en liten plastform

(plaströr), **Figur 3(a)**. Detta gjordes för att förhindra att korrosion uppstår vid skarven mellan betong och luft. I **Figur 3(b)** visas en distans av plywood runt stålstången som ger ett 15 mm avstånd mellan stålprov och gjutform. I **Figur 3(c)** visas gjutformen med provstången centrerat i mitten.

Det sista steget som gjordes på en provkropp var att applicera ett skikt av epoxi för att täcka skarven mellan betong och det gula röret och den övre delen av cementslamman vilket visas i den schematiska bilden av en provkropp i **Figur 4**.



Figur 3. Slipad stång med borrarat hål på kortsidan(a). Den nedre delen av stången är belagd med en härdad cementslamma med en plastform runt slamman. (b) Stålprov med en distans av plywood. (c). Gjutformen där stålprovet syns i mitten av formen.



Figur 4. En schematisk bild av ingjuten provstång vid användning av potentiostatisk mätmetod.

### Insugna klorider

Glödskalet togs bort på de släta stålstångerna med betning och slipning enligt tidigare nämnda metod. Stångerna göts in med respektive reparationsbruk i plaströr där ett täcksikt på 6 mm uppnåddes. Proverna härdades sedan i 28 dygn.

Efter härdning torkades proverna i en ventilerad ugn i 50°C i 7 dygn för att tömma porssystemet på vatten. Detta gjordes för att öka kapillärsugningsförmågan och därmed minska tiden för klorider att nå in till stålet. Efter torkning applicerades en epoxibeläggning på stålprovernas utstickande från betongprovet.

Slutligen exponerades proverna i ett vattenbad med 4% NaCl (2,4% Cl-) under 7 dygn.

### **3.1.3 Experimentell uppställning för potentiostatisk mätmetod**

#### Ingjutna och insugna klorider

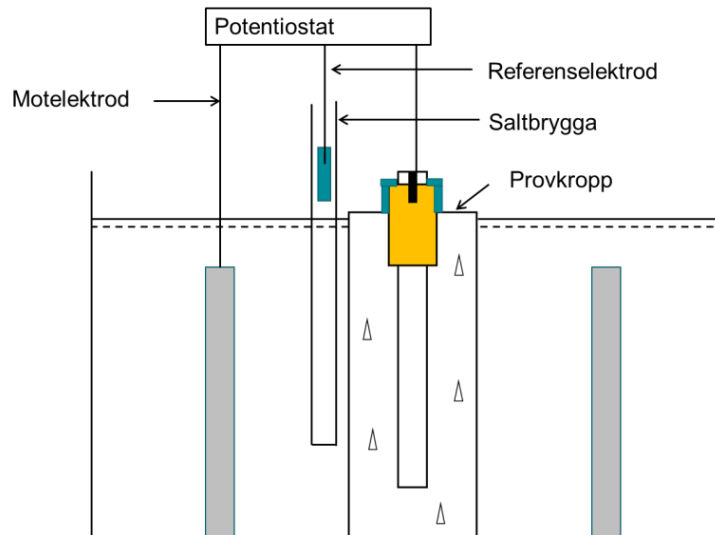
Samma experimentella uppställning och provningsmatris användes för både prover med ingjutna och insugna klorider.

Den experimentella uppställningen visas i **Figur 5** där ett rostfritt rör av stålkaliteten EN 1.4401 användes som motelektrod och som referenselektrod användes en Ag/AgCl-elektrod. Elektroden och de ingjutna provstängerna var nedsänkta i ett kärl med saltvatten (2 % Cl<sup>-</sup> per cementvikt vid provning av ingjutna betongprover). I fallet med ingjutna klorider var anledningen till att kloridhaltigt vatten användes i badvattnet var att motverka urlakning av de ingjutna kloriderna i betongproverna.

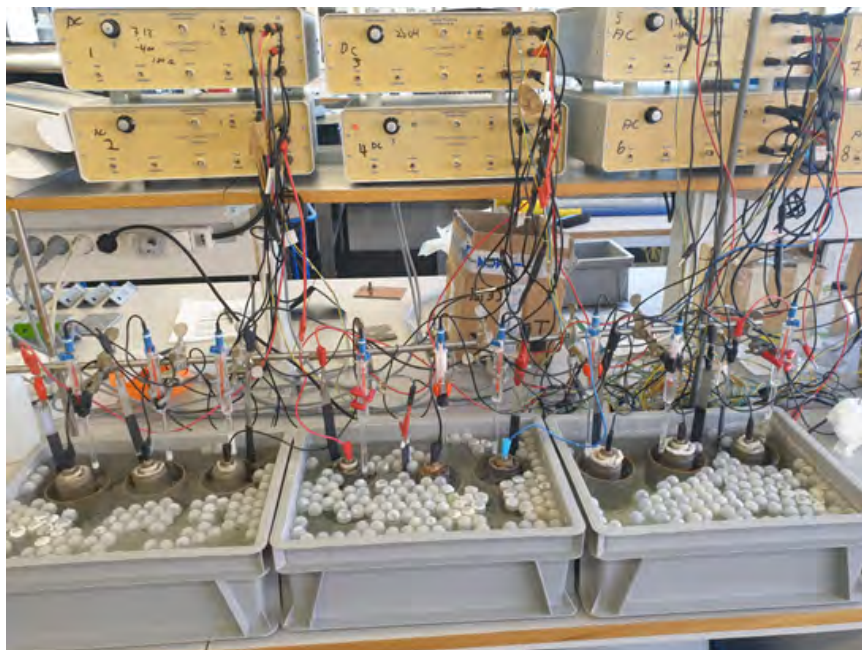
En referenselektrod av den typen som användes vid försöken (Ag/AgCl) kan vara känslig för höga pH-värden under långa exponeringsperioder. Därför var referenselektroden nedsänkt i en saltbrygga fylld med mättad K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> lösning för att skydda elektroden. I **Figur 6** visas ett exponeringskärl för provning av tre betongprover med likadant bindemedel. För att hindra avdunstning användes små plastkuler på vattenytan. Elektroden var kopplade till en potentiostat (Sycopel Scientific, Ministat) och korrosionsströmmen mättes genom att mäta spänningsfallet över en resistans av 10 Ω. Registrerade mätdata sparades med en datalogger (Agilent 34972A)

De elektrokemiska mätningarna startades med att polarisera de ingjutna provstängerna till -200 mV rel. Ag/AgCl. Den resulterande korrosionsströmmen mättes kontinuerligt under en sjudagarsperiod. Om ingen kraftig strömökning inträffade under denna period ökades strömutmatningen till stålet så att stålets elektrokemiska potential ökade i positiv riktning med 100 mV. Potentialökningen med 100 mV/vecka fortsatte tills en stor korrosionsströmsökning kunde konstateras. Om ingen kraftig korrosionsströmsökning kunde konstateras vid en potential upp till +400 mV relativ Ag/AgCl avslutades mätningarna. Detta innebar att ingen gropfrätning hade uppkommit under provningsperioden. 30 dygn valdes som gränsen för god förmåga att motstå initiering av korrosion (gropfrätning) eftersom tidigare undersökningar visade att korrosionsangreppet var betydligt större när det inträffade före 30 dygn (Ref 7).

Efter att korrosionsströmmen stigit kraftigt avslutades mätningarna. Proverna exponerades dock fortfarande i vattenbadet och togs upp från vattenbadet efter ca 50 dygn.



Figur 5. Den experimentella uppställningen där motelektroden var ett rör av rostfritt stål av stålqualiteten EN 1.4401 och en referenselektrod av mättad Ag/AgCl-elektrod.

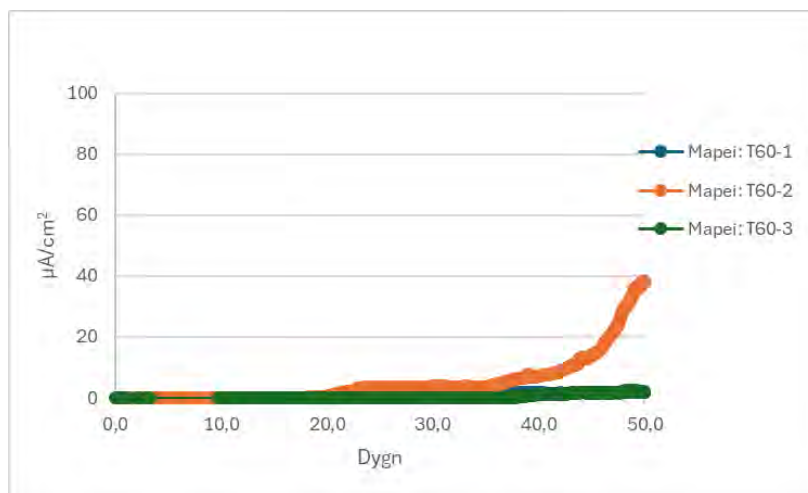


Figur 6. Exponeringskärl för provning av tre betongprover med ingjutna provstänger. På vattenytan syns små plastkuler som används för att minska avdunstning.

### 3.1.4 Resultat från laboriemätningar av ingjutna klorider

Resultaten från kontinuerliga mätningarna av korrosionsström vid olika potentialer som funktion av exponeringstiden på ingjutna provstänger i betong med olika bindemedel visas i **Figur 7A-16A**. Som framgår av figurerna visas diagram där y-axeln har enheten  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  och x-axeln har enheten antal dygn som betongproverna har exponerats. När gropfrätning initieras så visas detta genom en stor korrosionsströmsökning. När detta inträffar så noterades hur länge betongprovet har exponerats och vid vilken potential detta inträffade. Efter den kraftiga korrosionsströmsökningen stängdes strömutmatningen av. Betongproverna togs upp från badet efter ca 50 dygn och betongytorna fotograferades av efter ca 50 dygn exponering i det kloridhaltiga vattnet, **Figur 7B-16B**.

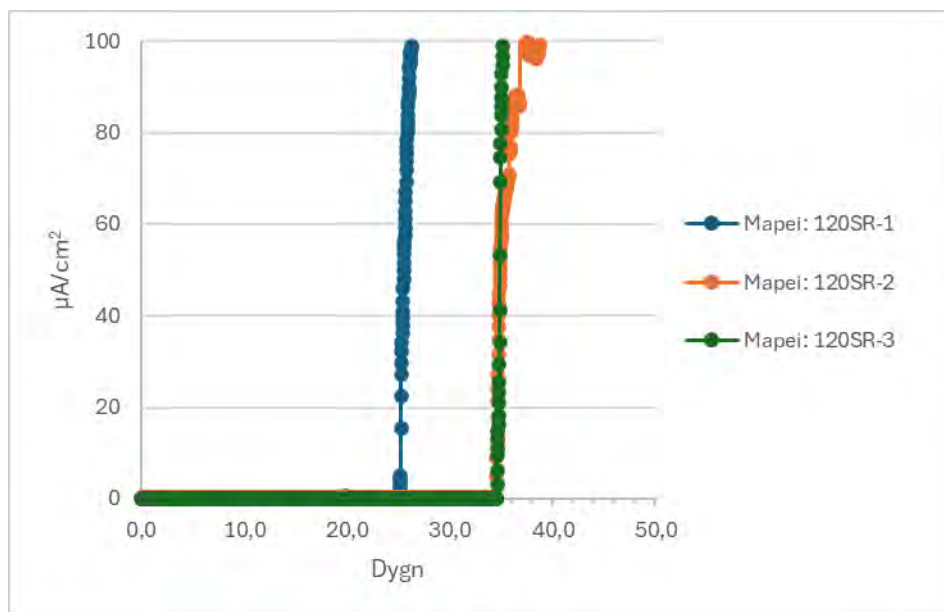
Vid bedömning av korrosionshårdigheten användes tidsgränsen 30 dygn för initiering av gropfrätning (korrosion) eftersom tidigare undersökningar har visat att denna tid avgör om allvarlig korrosion uppstår på proverna (Ref 7).



Figur 7A. Korrosionsström som funktion av exponeringstid (MapegrouteT60, Mapei).



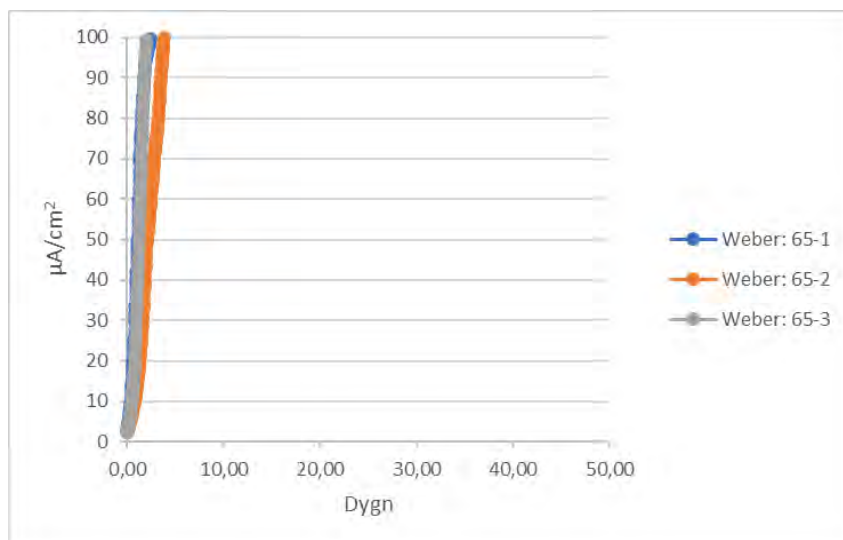
Figur 7b. Utseendet hos prover efter ca 50 dygns provning av Mapegroute T60, Mapei



Figur 8A. Korrosionsström som funktion av exponeringstid (Nonset 120 SR, Mapei).



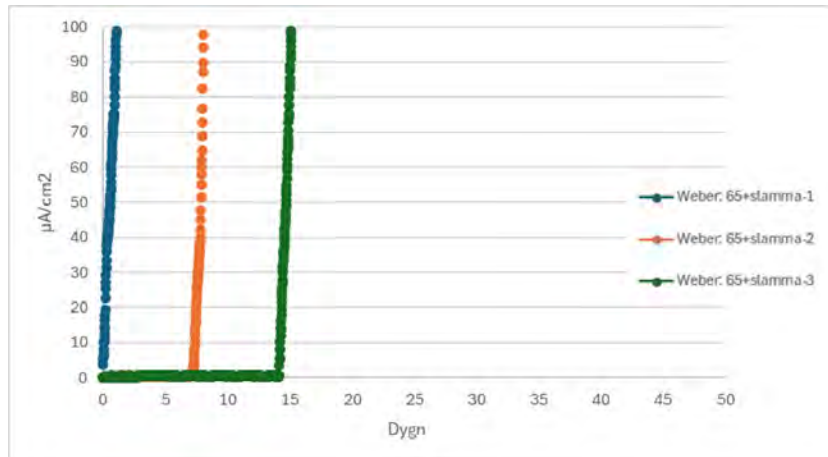
Figur 8b. Utseendet hos prover efter ca 50 dygns provning av Nonset 120 SR, Mapei.



Figur 9A. Korrosionsström som funktion av exponeringstid (Rep 65, Weber).



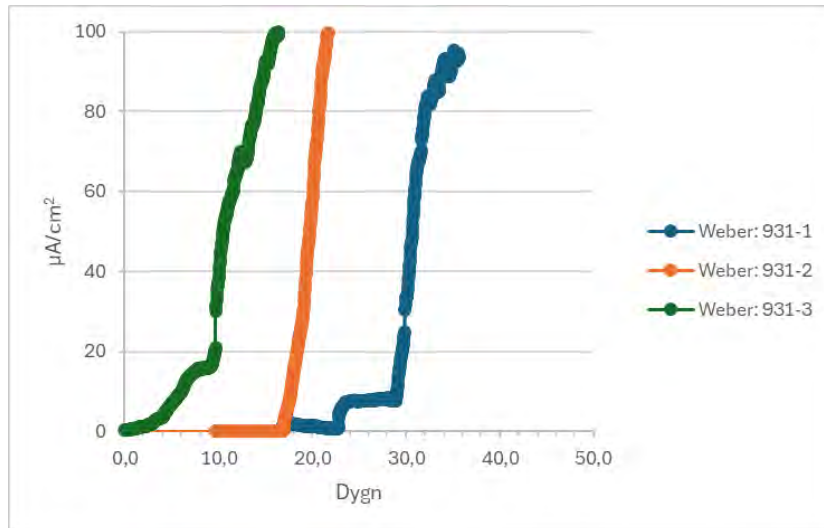
Figur 9b. Utseendet hos prover efter ca 50 dygns provning av Rep 65, Weber.



Figur 10A. Korrosionsström som funktion av exponeringstid (Slamma+Rep 65, Weber)



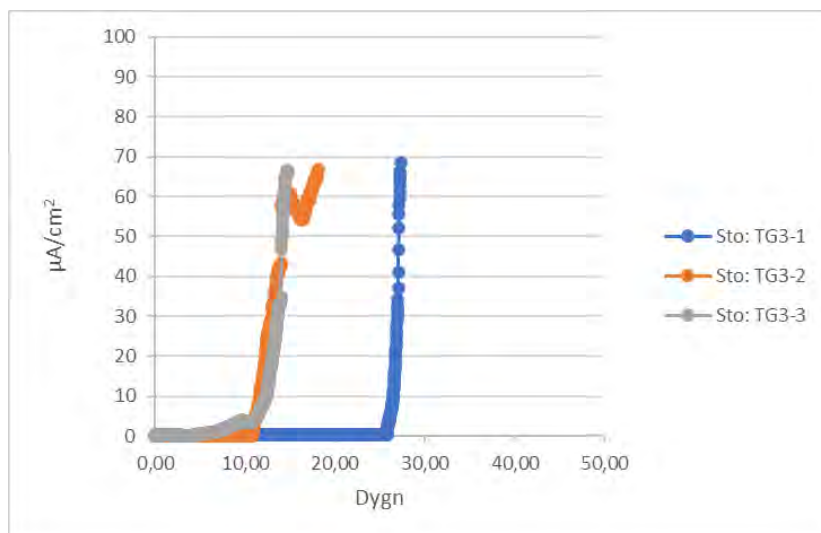
Figur 10b. Utseendet hos prover efter ca 50 dygns provning av Slamma+Rep 65, Weber.



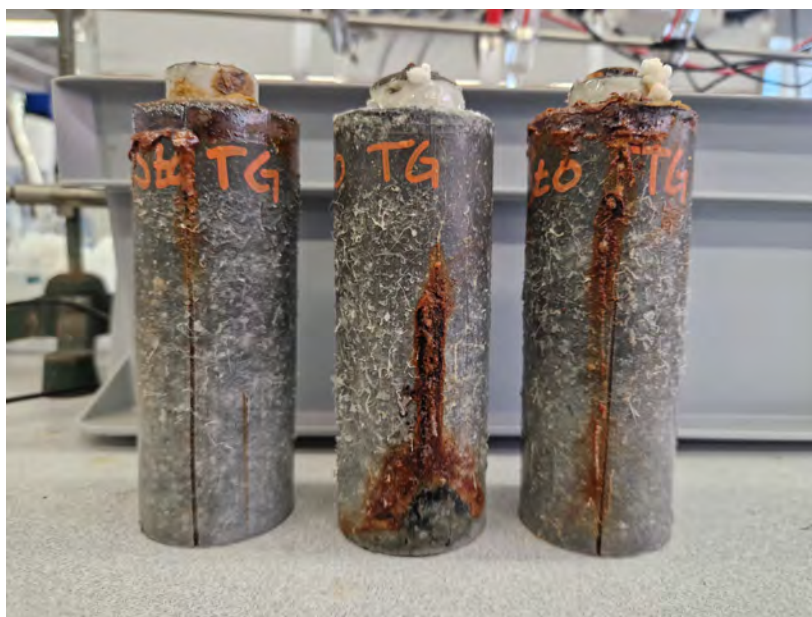
Figur 11A. Korrosionsström som funktion av exponeringstid (Rep 931, Weber).



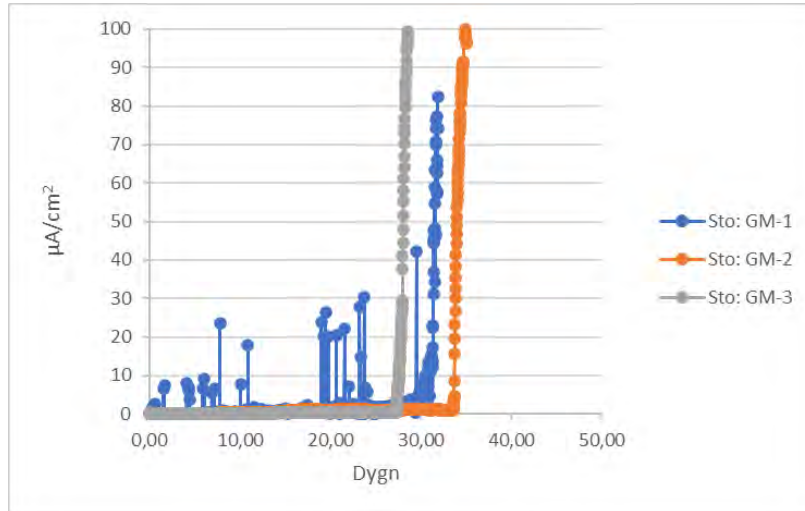
Figur 11b. Utseendet hos prover efter ca 50 dygns provning av Rep 931, Weber.



Figur 12A. Korrosionsström som funktion av exponeringstid, Sto Crete TG3, Sto Skandinavien.



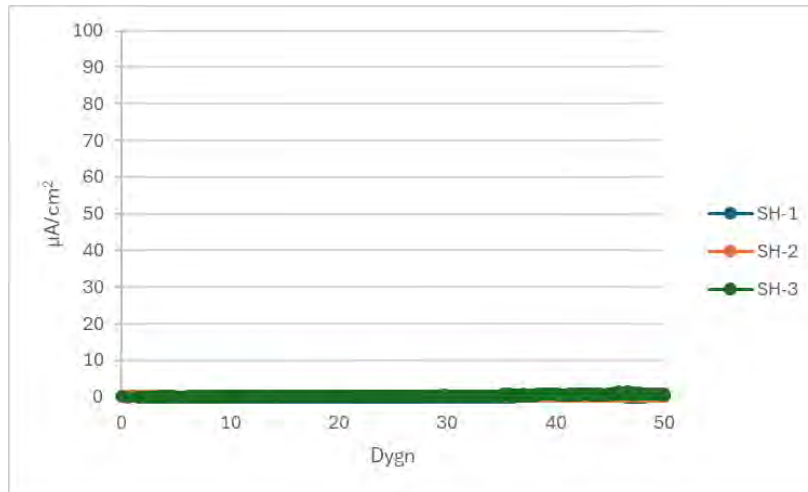
Figur 12b. Utseendet hos prover efter ca 50 dygns provning av Sto Crete TG3, Sto Scandinavien.



Figur 13A. Korrosionsström som funktion av exponeringstid (Sto-Crete GM, Sto Scandinavien).



Figur 13b. Utseendet hos prover efter ca 50 dygns provning av Sto Crete GM, Sto Scandinavien,

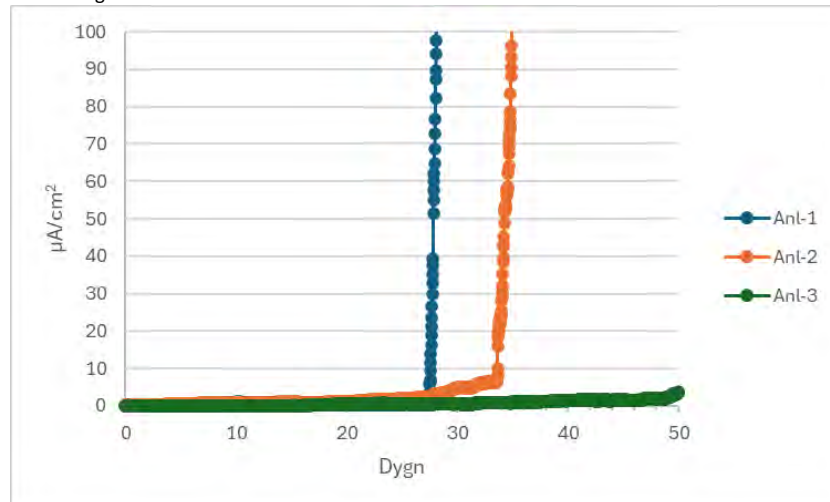


Figur 14A. Korrosionsström som funktion av exponeringstid (Skövde SH (CEM I), hög C3A halt, Heidelberg).

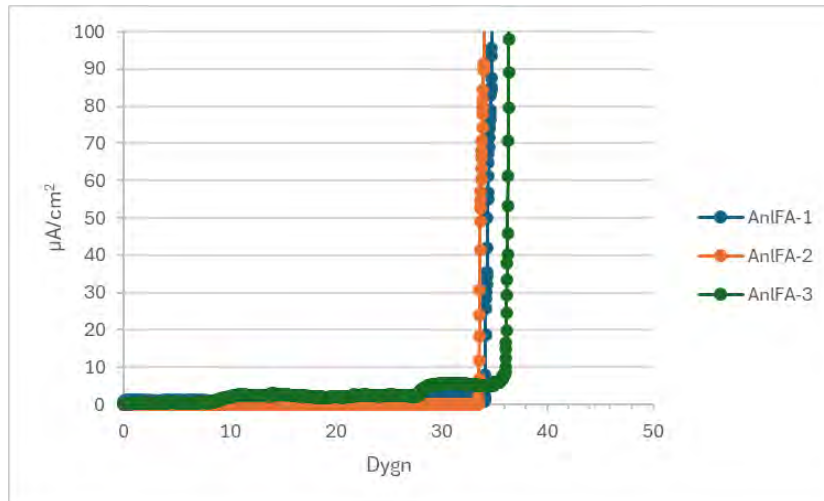


Figur 14b. Utseendet hos prover efter ca 50 dygns provning av Skövde SH (CEM I), hög C3A halt.

Figur 15A. Korrosionsström som funktion av exponeringstid, Anl. (CEM I), låg C<sub>3</sub>A halt, Heidelberg.



Figur 15b. Utseendet hos prover efter ca 50 dygns provning av Anl. Slite (CEM II/A-V), låg C<sub>3</sub>A halt, Heidelberg.



Figur 16A. Korrosionsström som funktion av exponeringstid, Anl. FA Slite (CEM II/A-V), Heidelberg



Figur 16b. Utseendet hos prover efter ca 50 dygns provning av Anl. FA Slite (CEM II/A-V), Heidelberg.

Resultaten från laborieprovningen sammanfattas i **Tabell 2**. För att särskilja resultaten så definierades tre grupper där en grupp anses ha en "bättre" korrosionshärdighet och en grupp har en "sämre" korrosionshärdighet. I tredje gruppen bedömdes korrosionshärdigheten som "osäker" eftersom korrosion

initierades både före och efter 30 dygn. För att resultaten ska visa på en bättre korrosionshårdighet så ska stålprovet klara en provpolariseringen upp till 300 till 400 mV eller minst 30 dygns exponering utan initiering av korrosion. För den "sämre" gruppen (fyra reparationsbruk) har korrosion initierats i samtliga fall före 30 dygns exponering. I tre fall bedömdes som "bättre" eftersom korrosionen initierades efter 30 dygn, Tabell 2.

Tabell 2. Bedömning av korrosionshårdighet efter 30 dygns provning

Reparationsbruk	Korrosionshårdighet vid 30 dygns provning
Mapegrout T60 Anl. (CEM II/A-V) Slite, FA, låg C3A-halt Skövde SH (CEM I) hög C3A-halt	Bättre (samtliga provstänger klarar > 30 dygn) Bättre (samtliga provstänger klarar > 30 dygn) Bättre (samtliga provstänger klarar > 30 dygn)
Nonset 120 SR Sto-Crete GM Anl. (CEM. (CEM I) låg C3A	Osäker (2 av 3 provstänger klarar > 30 dygn) Osäker (2 av 3 provstänger klarar > 30 dygn) Osäker (2 av 3 provstänger klarar >30 dygn)
Rep 65 Sto-Crete TG3 Rep 931 Rep65+slamma	Sämre (1 av 3 provstänger klarar > 30 dygn) Sämre (ingen provstång klarar > 30 dygn) Sämre (ingen provstång klarar > 30 dygn) Sämre (ingen provstång klarar > 30 dygn)

Det bör påpekas att syftet med den accelererade provning är att bestämma när initiering av gropfrätning sker (kraftig strömökning), dvs när det passiverade skiktet har fått en genomfrätning. De korrosionsprodukter som syns på betongprovernans yta har uppkommit efter att gropfrätning har initierats i provstängernas passivskikt. Detta innebär att en tidig kraftig strömökning (gropfrätning) innebär en längre exponeringstid då korrosionen pågår, vilket resulterar i en större mängd korrosionsprodukter på betongprovernans yta. Därför är det inte relevant att i efterhand fotografera korrosionsprodukterna på stålet.

En trolig förklaring är att kloridkoncentrationen varierar vid stålytan på grund av olika förmåga att binda klorider vid ingjutning.

#### Resultat insugna klorider

Resultaten visade snabb strömökning på nästan alla prover. Detta betyder en snabb initiering av korrosion vilket särskiljer sig från resultaten med ingjutna klorider. För att undersöka orsaken till den snabba initieringen så krossades vissa prover för att titta på stålstångernas ytor. Det visade sig att mycket av korrosionsangreppen

fanns på ytor där betong övergår till luft vilket tyder på att en luftningscell har bildats. Det betyder att syrekonzentrationen har varit hög vid stålytorna på provernas övre delar trots att översidan var täckt med epoxi. Detta kan förklaras med att kloridhaltigt vatten har migrerat upp till stålytans övre del under epoxin. Detta har medfört spaltkorrosion som epoxin hade tänkt förhindra eftersom det påverkar resultatet. Dessutom har provningen misslyckats på grund av för snabb kloridinträngning som orsakats av för tunna täckande betongskikt och därmed en för effektiv kapillärsugning. Detta medförde spaltkorrosion i de övre delarna som påverkade resultaten negativt. Det har därför varit omöjlig att göra en rättvis bedömning av resultaten och provningen anses vara misslyckad och därför redovisas inga resultat i rapporten. I **Figur 18** visas ett exempel oönskad korrosion orsakad av kloridtransport till gränsytan mellan stål i luft och betong.



Figur 18. Oönskad korrosion orsakad av kloridtransport till gränsytan mellan stål i luft och betong.

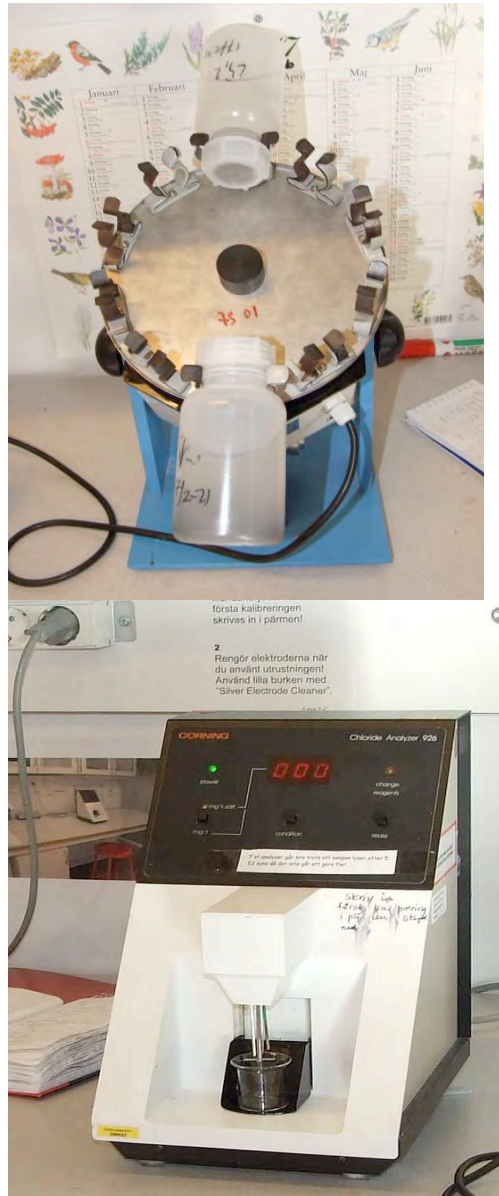
### 3.2 BESTÄMNING AV OBUNDNA KLORIDER LAKNINGSMETOD, MODIFIERAD SS-EN 12457-2

Syftet med undersökningen var att utreda vilket förhållande som finns mellan bundna och obundna klorider för sex reparationsbruk och tre cementtyper (referenser)

Syftet var också att hitta en metod som är enkel och relativt snabb för att kunna tillämpas vid tillståndsbedömningar på konstruktioner där man vill analysera förhållandet mellan bundna och obundna klorider snarare, än som idag, enbart analysera den totala kloridhalten. Det är enbart de obundna kloriderna som kvarstannar som joner i den lösning som finns i kapillärporeerna och som senare kan delta i den elektrokemiska process som medverkar i korrosionsprocessen när armeringsjärnet korroderar.

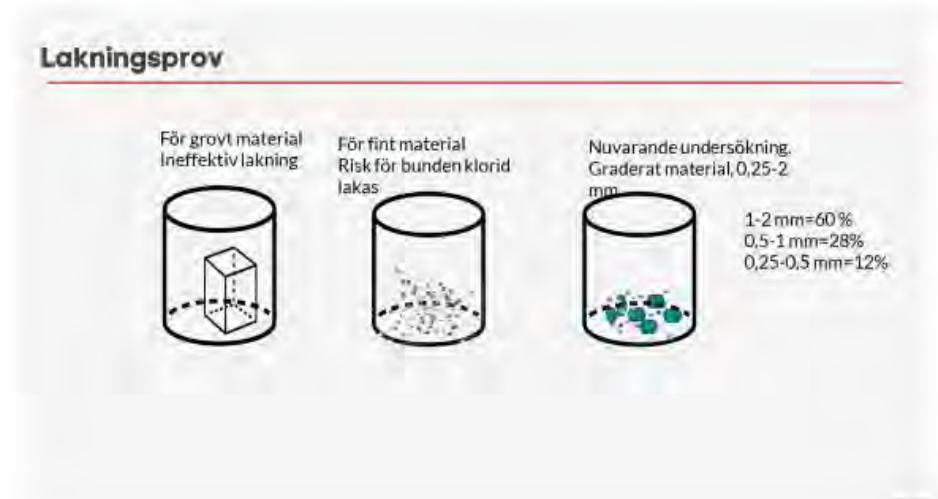
Metoden för att analysera den obundna lösta kloridhalten i ett prov var att använda en befintlig standard för att analysera lösliga klorider i mineraliska material. Som metod valdes SS-EN 12457-2. Det är en 1-stegs skaktest vid ett "liquid/solid" förhållande (L/S) som är 10 liter vatten/kg oorganiskt mineraliskt material med hög fastfashalt och med partikelstorlek mindre än 4 mm (utan eller med nedkrossning). Metoden är utvecklad för att i huvudsak undersöka urlakningen av oorganiska mineraliska material från avfall, t ex byggavfall. I stället för förhållandet 10/1 användes förhållandet 8/1 liquid/solid.

För att undvika att pastapartiklarna i provet bryts ned till finare partiklar under skakprocessen har skakningen modifierats till en karusell som roterar provet med lösningen till jämvikt med avseende på kloridjoner, **Figur 19**. Karusellen roterade 10 varv per minut och tiden till jämvikt var efter ca två dygn. Lösningen från lakningen titrerades automatiskt med silvernitratlösning efter olika tidsintervall under ca 12 dagar med en apparat av märket Sherwood, **Figur 19**.



Figur 19. Rotationsapparat och titreringsapparat av märket Sherwood.

Innan proverna utsattes för lagningsförsök, gjöts 40 x 40 x 160 mm prismor med de sex olika reparationsbruk och tre olika cement, två st CEM I och en CEM II). Proverna lagrades minst tre månader i en behållare med 85 % luftfuktighet och temperaturen 20 grader. Efter härdning krossades och siktades prismorna till ett material med kornstorleken som visas i Figur 20.



Figur 20. Kornstorleksfördelningen för de cementtyper som ingick i lakningsförsöken.

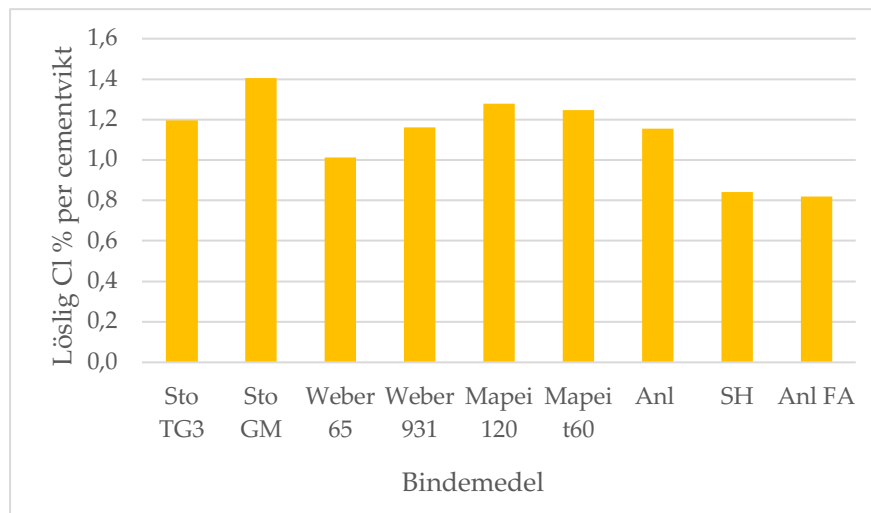
Ett problem som uppstått vid tidigare lakningsförsök med krossat mineraliskt material är att om materialet är för fint så lakas jonerna ur för effektivt, dvs även bundna klorider lakas ut. Med tiden kan alla joner lakas ur om materialet är för finmalet på grund av för stor specifik yta i förhållandet till porositeten i kornen. Det får effekten att jämvikt mellan bundna klorider i materialet och omgivande lösning inte uppnås. Koncentrationen av joner i den omgivande lösningen ökar då med tiden i stället för att nå en konstant jämviktsnivå. För att undvika fenomenet så valdes ett relativt grovt material med kornstorleksfördelningen 0,25 – 2 mm, där 1–2 mm fraktionen utgjorde 60 vikt % av materialet, **Figur 20**. Om man väljer en provbit av grövre dimension (eg. 20 x 20 mm<sup>2</sup>) i försöken riskerar man att lakningen tar för lång tid och att jämvikt inte uppnås inom rimlig tid. I de försök som ingick i denna undersökning så uppnåddes jämvikt i samtliga fall inom två dygn.

### 3.2.1 Resultat av bestämning av kloridhalten för betongprover med injutna klorider

I Figur 21 visas resultat från mätningar av kloridhalten i provets omgivande vatten som representerar de lösliga kloriderna i betongprovet. Mätningen, som pågick tills det att jämvikt hade uppnåtts, visade att de lösliga kloriderna varierade mellan 0,8 upp till 1,4 % per cementvikt i de olika reparationsbruken. Skillnaden i mängden lösliga klorider i reparationsbruken beror på förmågan att

binda klorider. Bindningsförmågan hos reparationsbruket är beroende av bindemedlets förmåga att bilda Friedelssalt som i sin tur är beroende av reparationsbrukets  $C_3A$ -halt. Ju högre  $C_3A$  i bindemedlet desto lägre halt av lösliga klorider vilket innebär mindre risk för korrosion.

I **Figur 21** visas resultat från mätningar av kloridhalten i provets omgivande vatten som representerar de lättlösliga kloriderna i betongprovet. Mätningen, som pågick tills det att jämvikt hade uppnåtts, visade att de lättlösliga kloriderna varierade mellan 0,8 upp till 1,4 % per cementvikt i de olika reparationsbruken. Skillnaden i mängden lösliga klorider i reparationsbruken beror på förmågan att binda klorider. Bindningsförmågan hos reparationsbruket är beroende av bindemedlets förmåga att bilda Friedelssalt som i sin tur är beroende av reparationsbrukets  $C_3A$ -halt. Ju högre  $C_3A$  i bindemedlet desto lägre halt av lösliga klorider vilket innebär mindre risk för korrosion.



Figur 21. Resultat från mätningar av lättlösliga klorider.

## 4 Korrosionsundersökningar i fält

Tre olika typer av korrosionsundersökningar utfördes i fält:

Långtidsexponering av provstänger i reparationsbruk (Ingjutna- och insugna klorider).

Mätning av makrocellsström mellan armering i reparationsbruk utan klorider och armering i en kloridhaltig betong.

Bestämning av skyddsförmågan hos zinknätanod som applicerats på betongblock med reparationsbruk utan klorider och med kloridhaltig betong.

### 4.1 LÅNGTIDSEXPONERING AV PROVSTÄNGER I REPARATIONSBRUK (INSUGNA OCH INGJUTNA KLORIDER)

För fältexponeringarna användes varmvalsade släta stänger. De släta stängerna var av samma typ som redovisas i avsnitt 3.1.1. De släta stängerna var 130 mm långa och hade en av diameter 12 mm. Samma reparationsbruk som i laboratorieförsöken användes i fältförsöken.

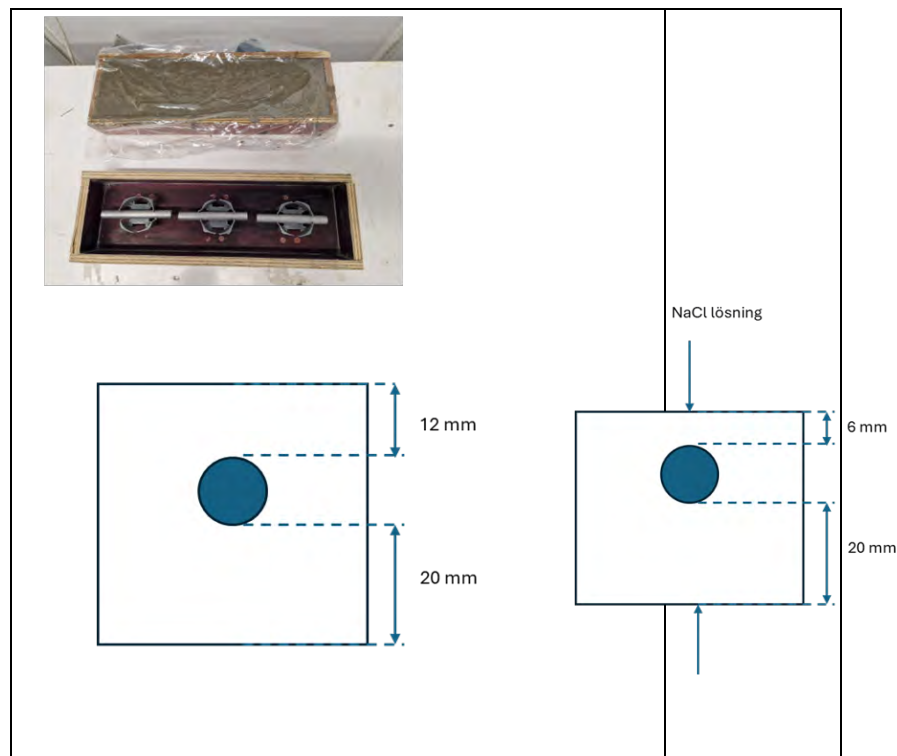
Provstängerna förpassiverades under två veckors härdning i betong med de reparationsbruk som anges i **Tabell 1**. I avsnitt 3.1.3 beskrivs hur förpassiveringen utfördes. I fallet med ingjutna klorider gjöts provstängerna in i betongprover med 2 vikt-% Cl<sup>-</sup> per bindemedelsvikt i blandningsvattnet efter förpassiveringen. Härdningstiden för betongprover var 28 dygn innan fältprovningen påbörjades.

I fallet med insugna klorider torkades proverna efter härdning i en ventilerad ugn i 50°C i 7 dygn. Detta gjordes för att öka kapillärsugningsförmågan och därmed minska tiden för klorider att nå in till stålet. Efter torkning applicerades en epoxibeläggning på stålprovernas utstickande från betongprovet.

Slutligen exponerades proverna i ett vattenbad med 4 % NaCl (2,4% Cl<sup>-</sup>) under 7 dygn.

I **Figur 22** visas hur olika provstänger fastmonterades i distanser som är fastlimmade i gjutformens botten. Tre provstänger göts in i varje provkropp för prover med ingjutna klorider. För de provkroppar med insugna klorider användes två provstänger. Under gjutningsförloppet

användes ett skakbord för att ta bort luftporer. Det täckande betongskiktet var 12 mm för prover med ingjutna klorider och 6 mm för prover med insugna klorider. Vbt för samtliga betongprover var 0,5.



Figur 22. Provstängernas placering vid ingjutning (vänster) och insugning av klorider (höger) i prover av reparationsbruk

Långtidsexponering av betongprover ingjutna med provstänger av kolstål utfördes under ca ett år på RISE provningsstation för utomhusprovning i Kista, Stockholm. Proverna exponerades på en provram av trä i 45 graders lutning i riktning mot söder under ett regnskydd, vilket visas i Figur 23. Syftet med att använda ett regnskydd var för att förhindra att betongproverna skulle urlakas på klorider. Efter exponering slogs betongproverna isär och provstängerna togs ut för utvärdering av den jämna korrosionshastigheten. Korrosionshastigheten på stålproverna mättes gravimetriskt genom upprepad betning enligt standarden ISO 9226:2012.



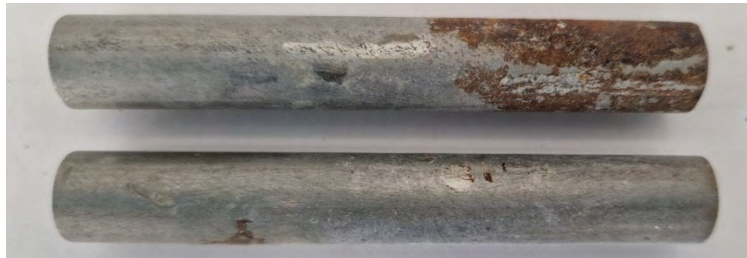
Figur 23. Fältexponering av betongprover vid RISE provningsstation i Kista där betongprover med olika bindemedel och ingjutna provstänger exponerades under ett regnskydd.

#### 4.1.1 Resultat

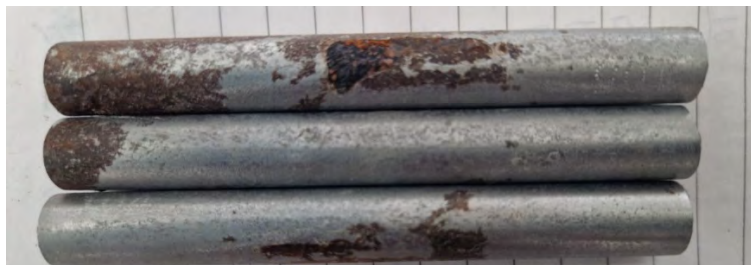
I **figurena** 24A-24T visas provstängernas korrosionsutseende efter både ingjutning och insugning av klorider i betongprover efter ca ett års provning utomhus vid RISE provningsstation i Kista.



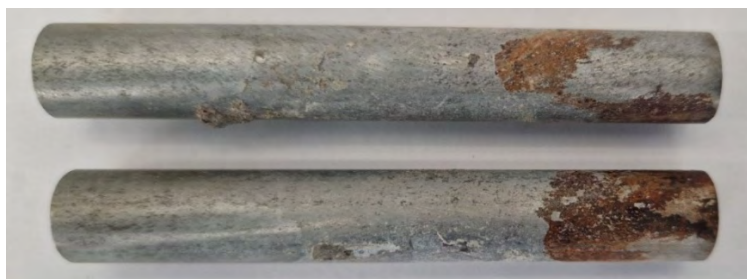
Figur 24A. Provtångernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk (MapegrouteT60, Mapei) med ingjutna klorider).



Figur 24B. Provtångernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk, MapegrouteT60, Mapei med insugna klorider.



Figur 24C. Provtångernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk (Nonset 120 SR, Mapei) med ingjutna klorider.



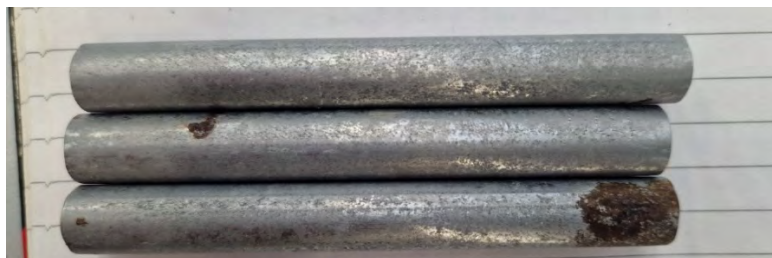
Figur 24D. Provtångernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk, Nonset 120 SR, Mapei med insugna klorider.



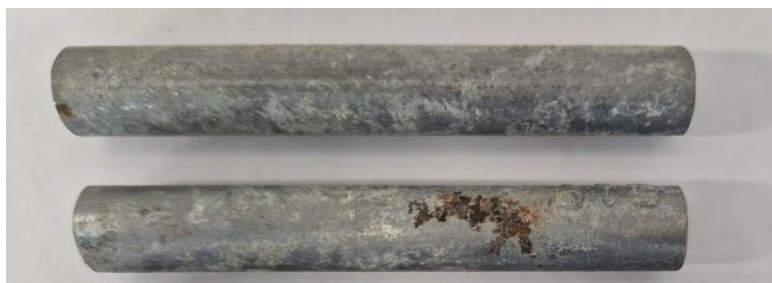
Figur 24E. Provstängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk (Rep 65, Weber) med ingjutna klorider.



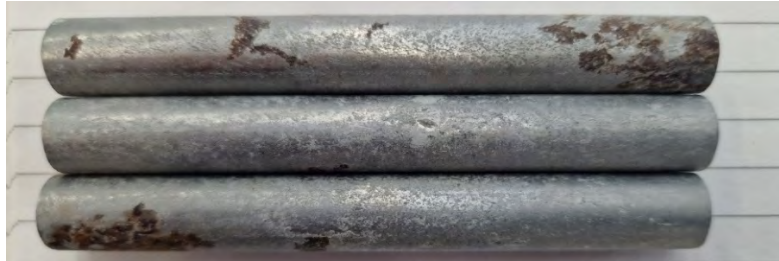
Figur 24F. Provstängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk (Rep 65, Weber) med insugna klorider.



Figur 24G. Provstängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk (Rep 65 + slamma, från Weber) med ingjutna klorider.



Figur 24H. Provstängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk, Rep 65 + slamma, från Weber med insugna klorider.



Figur 24I. Provtångernas utseende efter ca ett års utomhusexponering av reparationsbruk (Rep 931, Weber) med ingjutna klorider.



Figur 24J. Provtångernas utseende efter ca ett års utomhusexponering av reparationsbruk (Rep 931, Weber) med insugna klorider.



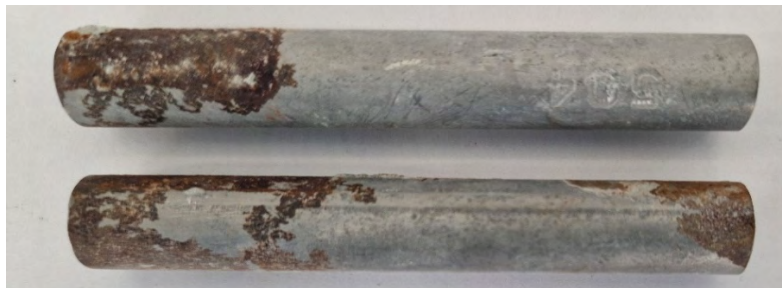
Figur 24K. Provtångernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk, Sto Crete TG3, Sto Skandinavien med ingjutna klorider.



Figur 24L. Provtångernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk, Sto Crete TG3, Sto Skandinavien med insugna klorider.



Figur 24M. Provtängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk (Sto Crete GM, Sto Skandinavien) med ingjutna klorider.



Figur 24N. Provtängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i reparationsbruk (Sto Crete GM, Sto Skandinavien) med insugna klorider.



Figur 24O. Provtängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i referensbruk, Skövde SH, CEM I, Heidelberg), med ingjutna klorider.



Figur 24P. Provtängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i referensbruk, Skövde SH, CEM I, Heidelberg, med insugna klorider.



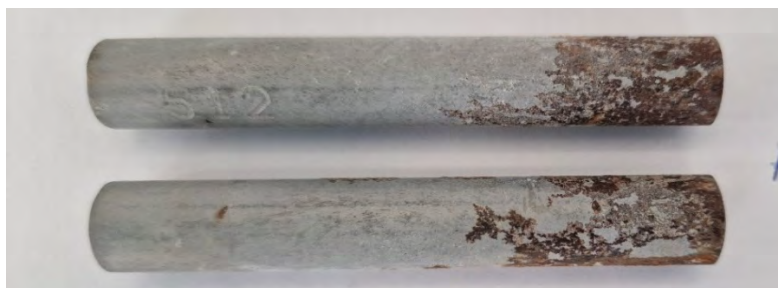
Figur 24Q. Provstängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i referensbruk, Anl. Slite, CEM I, Heidelberg) med ingjutna klorider.



Figur 24R. Provstängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i referensbruk, Anl. Slite, CEM I, Heidelberg) med insugna klorider.



Figur 24S. Provstängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i referensbruk, Anl. FA, Slite, CEM II, Heidelberg) med ingjutna klorider.



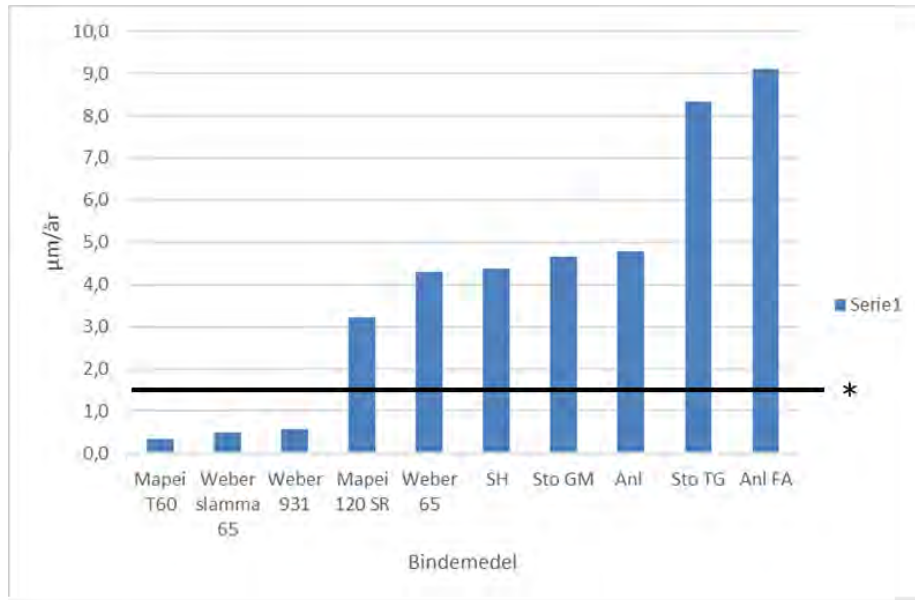
Figur 24T. Provstängernas utseende efter ca ett års utomhusexponering i referensbruk, Anl. FA, Slite, CEM II, Heidelberg) med insugna klorider.

Det framgår av provstängernas korrosionsutseende efter ett års utomhusexponering att provstänger med ingjutna klorider har oftast något mer rödrost på provstängernas yta jämfört med provstänger insugna klorider. Skillnaderna är dock ganska små.

Korrosionshastigheten för prover med ingjutna klorider visas i **Figur 25**. Det svarta strecket visar en teoretisk korrosionshastighet som gräns för aktiv korrosion ( $< 1,5 \mu\text{m}/\text{år}$ , Ref 12). Korrosionshastigheten hos provstängerna av kolstål var mycket låg för tre reparationsbruk (Mape T60, Rep Weber 65+slamma och Weber 931). Vidare fanns det tre reparationsbruk (Mapei 120SR, Weber 65, Sto GM) och två referenser med Skövde SH- och slite anläggningscement och med samma typ av ballast som reparationsbruken där korrosionshastigheten varierade mellan  $3,2$  och  $4,8 \mu\text{m}/\text{år}$ .

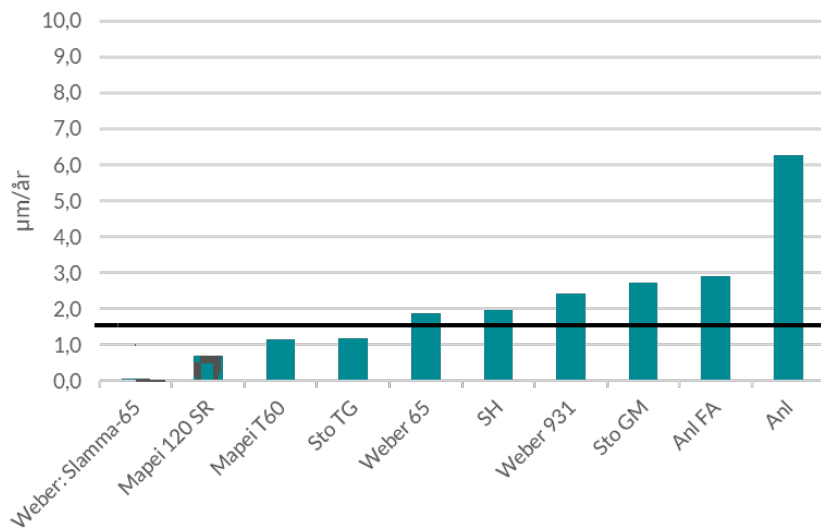
Högre korrosionshastigheter konstaterades för Sto TG och en referens Slite anläggningscement med flygaska (korrosionshastighet varierade mellan  $8,2$  och  $9,1 \mu\text{m}/\text{år}$ ), **Figur 25**.

Vid en jämförelse av provstängernas utseende efter utomhusexponeringen i ca ett år ingjutna i betongprover med ingjutna klorider med korrosionshastigheten framgår det att mycket låga korrosionshastigheter ( $< 1,5 \mu\text{m}/\text{år}$ , Ref 12) innebär i princip inga korrosionsangrepp på provstängernas yta.



Figur 25. Korrosionshastighet, uttryckt i µm/år, för provstänger ingjutna i de olika reparationsbruk och betongkvaliteter efter ett års fältexponering.

I **Figur 26** visas korrosionshastigheten för ingjutna provstänger av kolstål med insugna klorider.



Figur 26. Korrosionshastighet, uttryckt i µm/år, hos ingjutna provstänger av kolstål i olika reparationsbruk och betongkvaliteter efter ca ett års fältexponering. Före fältexponeringen har samtliga betongprover legat 7 dygn i ett vattenbad med 2,3 % klorider.

Korrosionshastigheten för provstängerna med insugna klorider var generellt sett lägre jämfört med prover med ingjutna klorider. Anledningen till detta kan vara att kloridkoncentrationen vid stålytorna är något lägre jämfört med prover med ingjutna klorider. Det beror på att kloriderna måste transporteras in till provstängerna i stället för att vara ingjutna som innebär att en betydande andel lösta klorider finns vid provstängerna redan från början. När korrosionshastigheten understiger 1,5 µm/år anses stålet var passiverad (försumbar korrosionshastighet).

Med insugna klorider hade provstängerna i reparationsbruken Mapei T60, Weber 65+slamma, Sto TG och Mapei SR120 en låg korrosionshastighet (< 1,5 µm/år, Ref 12). Något högre korrosionshastigheter hade övriga reparationsbruk Weber 65, Weber 931, Sto GM, och i referensblock slite anläggning FA (1,8 till 2,9 µm/år). Den högsta korrosionshastigheten hade referensblocket med slite anläggning.

#### **4.2 BESTÄMNING AV MAKROCELLSTRÖM VID PARTIELLA REPARATIONER AV BETONGBLOCK EFTER ETT ÅRS EXPONERING**

##### **4.2.1 Bakgrund**

Statens vegvesen i Norge har i ett FoU-program (Bedre bruvedlikehold) konstaterat att en frilagd armering som omsluts av ny lagning och som är passiverad (ädel yta) ökar korrosionshastigheten på en i närheten liggande ej lagad armering som inte är passiverad (oädel yta) (Ref 10). Detta innebär att den partiella lagningen (ädel armering) kan accelerera korrosionen i närheten av den befintliga betongen (oädel armering) i gränsytan mellan ny och befintlig betong.

##### **4.2.2 Utförande**

Förekomsten av eventuellt uppkomna galvaniska strömmar (makrocellströmmar) bestämdes genom att koppla ihop provstänger i kloridhaltig betong (Velox) och provstänger i reparationsbruk utan klorider. Den uppkomna galvaniska strömmen (makrocellströmmen) mättes genom att mäta spänningen över ett motstånd av 1 Ω.

Blocken gjöts i två steg, först gjöts två stänger utan glödskalet in i kloridhaltig betong, se den vänstra figuren, **Figur 27**. Detta gjordes för att underlätta initiering av korrosion i försöket. I det andra steget gjöts två stänger med glödskalet in i reparationsbruket utan klorider, **Figur 27**. Probstängerna med mätkablar, ingjutna med och utan klorider, kopplades elektriskt ihop i ett mätskåp, **Figur 30**. Det gjöts även in små plåtar av rostfritt stål för att möjliggöra resistivetsmätningar i respektive provblock (Velox och reparationsbruk) samt resistiviteten mellan betongblock (Velox) och block med reparationsbruk.



Figur 27. Probstänger som gjuts in i reparationsbruk utan klorider (vänster sida) och i en Veloxbetong med klorider (högersida). Röda pilar markerar delvis ingjutna provpaneler av rostfritt stål för mätning av betongens resistivitet.

Blocken exponerades ca ett år utomhus vid RISE provningsstation i Kista, Stockholm. Vid exponeringen var samtliga prover täckta med en presenning och samtliga kablar var anslutna till ett mätskåp **Figur 28**.



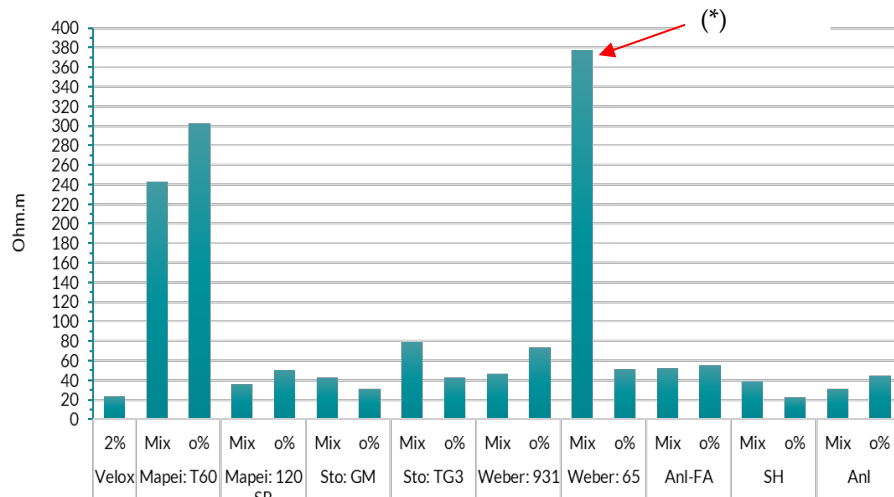
Figur 28. Provblock med ingjutna provstänger med mätkablar för mätning av galvanisk ström (makrocellström). I hopkoppling av provstänger sker via plintar i mätskåpet.

#### 4.2.3 Resultat

Innan utomhusexponeringen startades mättes korrosionspotentialen på de ingjutna provstängerna. Resultaten potentialmätningarna visade att stänger i den kloridhaltiga betongen (Velox) uppmättes till ca -400 mV rel. Ag/AgCl och ca -100 till +100 mV för provstänger i reparationsbruk utan klorider. Detta ger en drivande kraft för en galvanisk cell på ca 300-500 mV.

Under exponeringen mättes betongblockens resistivitet angett som ett medelvärde över perioden april 2024 och april 2025, **Figur 29**.

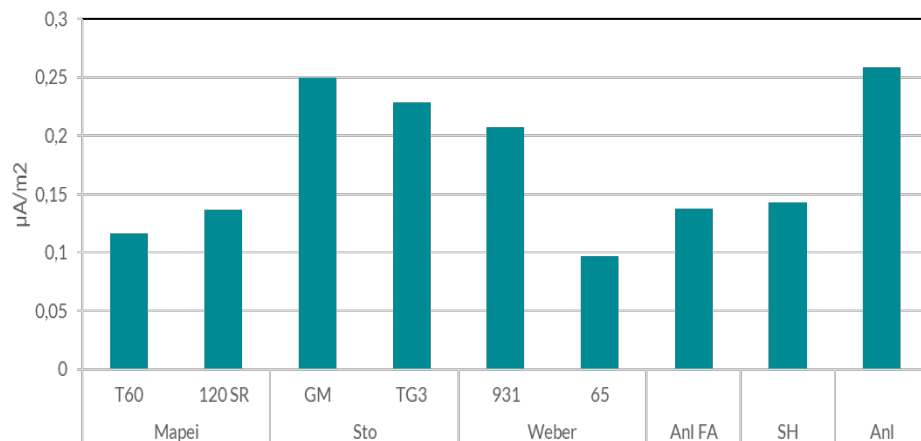
Stapeln med 2 % Velox är ett medelvärde av alla prov som exponerades i betong med klorider. Staplar med 0% klorider är resistiviteten hos de olika reparationsbruken och staplar med Mix är resistiviteten mellan betongblock med Velox (med klorider) och utan klorider (block med reparationsbruk). Resistiviteten för Weber 65 Mix var hög vilket berodde på att en luftspalt bildades mellan betong- och reparationsblock vilket ökade resistiviteten. Mapei T60 hade en hög resistivitet både för Mix och 0%. Detta beror troligtvis på att Mapei T60 innehåller en inhibitor som verkar öka resistiviteten.



(\*) Vidhäftningen mellan betonghalvorna har släppts och ingår inte vid bedömning av resultaten.

Figur 29. Resultat från mätning (medelvärden) av resistiviteten i och mellan betongblocken.

De uppmätta galvaniska strömmarna visas i Figur 30. Generellt sett var de galvaniska strömmarna låga då gränsen till aktiv korrosion går vid ca 0,15  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ .



Figur 30. Resultat från mätningar (medelvärden) av den galvaniska korrosionsströmmen mellan betong (med 2 % klorider, Velox) och olika reparationsbruk utan klorider.

## 4.3 BESTÄMNING AV INVERKAN AV KATODISKT SKYDD VID PARTIELLA REPARATIONER AV BETONG

### 4.3.1 Bakgrund

Katodiskt skydd används i vissa fall vid reparationer av betongkonstruktioner för att hindra pågående korrosion när kloridhalten är mycket hög vid stålarmingen i det betongtäckande skiktet. Ett väl fungerande katodiskt skydd kan sänka korrosionshastigheten hos korroderande stålarmering upp till 95 % (Ref 7).

För betongkonstruktioner i atmosfär används oftast katodiska skydd med påtryckt ström och som anodsystem används i normala fallet titannät som appliceras på betongytan och sedan betongsprutas eller gjuts in betongen. För att kontrollera skyddet används ingjutna referenselektroder av typen  $MnO_2$ .

Under senare tid har det börjat användas galvaniskt katodiskt skydd av betongkonstruktioner med ingjutna offeranoder av zink som i sin tur är ingjuten i en betongcylinder innehållande litiumhydroxid ( $LiOH$ ).

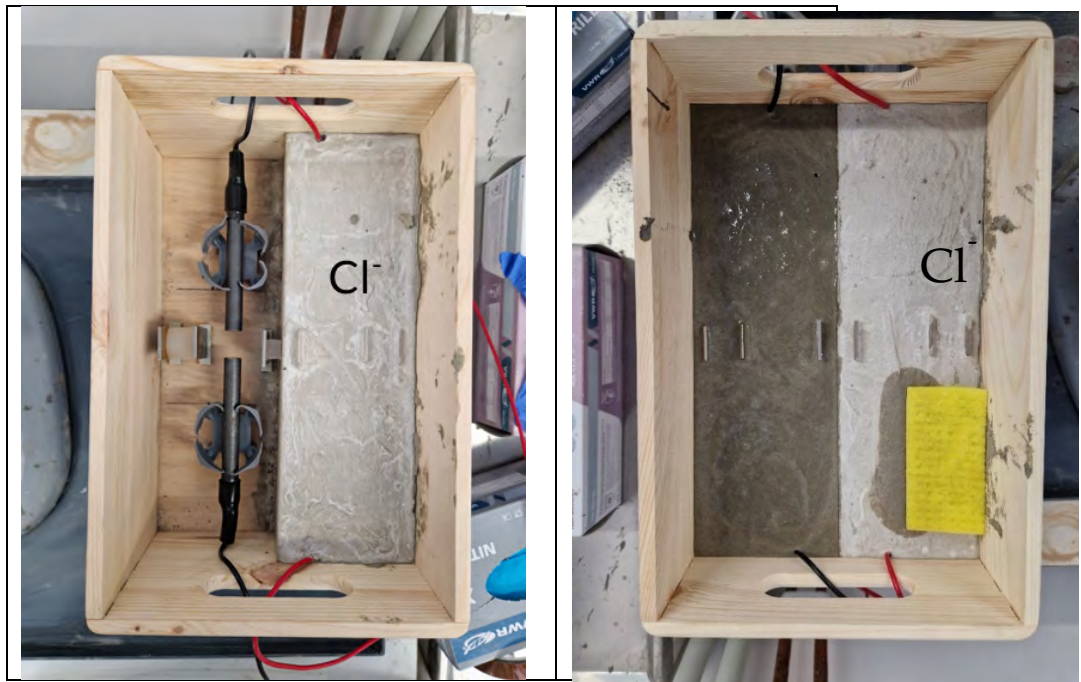
I några utländska installationer har offeranoder av zinknät använts för att skydda stålarmingen mot korrosionsangrepp. Resultaten från dessa undersökningar visade att det offeranoderna av ingjutna zinknätanoder gav ett bra skydd mot korrosion (Ref 11).

Det finns utländska erfarenheter (Ref 11) att använda offeranoder av zinknät vid partiella betongreparationer för att hindra den uppkomna makrocellströmmen i gränsytan mellan reparerade betongskador och korroderande befintlig armering. Zinknätet bidrar med en jämnare strömspridning jämfört med punktanoder. Dessutom blir installationen enklare att utföra jämfört med ett katodiskt skydd av titannät med påtryckt ström.

### 4.3.2 Utförande

I denna projektdel undersöks möjligheten att använda offeranoder av zinknät för att hindra uppkomsten av makrocellströmmar mellan korroderande stålarmering i kloridhaltig betong och passiverad stålarmering i olika reparationsbruk (Ref 11). I Figur 31 visas framtagning av betongblock med ingjutna provstänger av kolstål (två provstänger per betonghalva). Provstängerna är ingjutna

med klorider i betong (Velox) och utan klorider (reparationsbruk). Utan klorider i reparationsbruket innebär att provstängerna blir passiverade (ädlade, ca -100 mV relativt Ag/AgCl) vid ingjutning). Vid tillsats av klorider i betongen uppkommer korrosion vilket sänker den elektrokemiska potentialen med ca 300 mV till ca -400 mV relativt Ag/AgCl.



Figur 31. Framtagning av provblock vid installation av zinknätanod på betongytan av reparationsbruk med utan och med klorider.

På de framtagna provblocken monteras en zinknätanod på betongytan som sedan täcks med ett cementbruk, **Figur 32**.



Figur 33. Montering av zinknätanod på betongblock.

För att kunna mäta zinknätanoden skyddande förmåga har varje enskild provstång en mätkabel anslutits till ett mätskåp och därefter kopplats ihop elektriskt, **Figur 33**.



Figur 33. Provpställning för undersökning av zinknätanodens skyddande förmåga vid uppkomst av en galvanisk ström mellan korroderande provstänger och passiva provstänger.

### 4.3.3 Resultat

Skyddsförmågan hos zinknätanoden har bestämts genom att mäta potentialavklingning efter 24 timmars frånslag enligt SS-EN ISO 12696:2022 – katodiskt skydd av betongkonstruktioner i atmosfär. Skyddsförmågan är god enligt SS-EN ISO 12696:2022 om potentialavklingningen är större än 100 mV efter 24 timmars frånslag av det katodiska skyddet ( $E_{(24\text{ h})} \geq 100\text{ mV}$ ).

I **Tabell 3** och **4** visas resultat från potentialmätningar av katodiskt skyddade provstänger ingjutna i betong med klorider och med olika reparationsbruk utan klorider.

Tabell 3. Bestämning av skyddsförmågan hos zinknätanod genom mätning provstängernas potential i kloridhaltig betong (Velox) med en yttre referenselektrod (Ag/AgCl). Skyddsförmågan är god enligt SS-EN ISO 12696:2022 om potentialavklingningen är  $\geq 100\text{ mV}$  efter 24 h frånslag.

Block nr	Korrosions-potential rel. Ag/AgCl mV	Tillslags-potential rel. Ag/AgCl mV	Potential efter ca. 1 min frånslag rel. Ag/AgCl mV	Potential efter 24 h frånslag rel. Ag/AgCl mV	Potentialavklingning efter 24 h frånslag rel. Ag/AgCl mV
1. Velox (T60)	-356	-855	-790	-532	258
2. Velox (120SR)	-369	-915	-876	-710	166
3. Velox (GM)	-357	-923	-836	-525	311
4. Velox (TG3)	-372	-906	-882	-500	382
5. Velox (931)	-309	-900	-898	-596	302
6. Velox (65)	-383	-953	-935	-774	161
7. Velox (Anl. Fa)	-384	-893	-875	-452	423
8. Velox (SH)	-334	-915	-859	-430	429
9. Velox (Anl)	-380	-882	-845	-568	277

Tabell 4. Bestämning av skyddsförmåga hos zinknätanod genom mätning av provstängernas potential i reparationsbruk utan klorider med en yttre referenselektrod (Ag/AgCl). Skyddsförmågan är god enligt SS-EN ISO 12696:2022 om potentialavklingningen är  $\geq 100$  mV efter 24 h fränslag.

Block nr	Korrosionspotential rel. Ag/AgCl mV	Tillslagspotential rel. Ag/AgCl mV	Potential efter 1 min fränslag rel. Ag/AgCl mV	Potential efter 24 h fränslag rel. Ag/AgCl mV	Potentialavklingning efter 24 h rel. Ag/AgCl mV
1. T60 (Mapei)	-92	-710	-593	-251	342
2. 120SR (Mapei)	-106	-817	-817	-316	501
3. GM (Sto)	-126	-765	-723	-208	515
4. TG3 (Sto)	-109	-766	-752	-330	422
5. 931 (Weber)	-95	-724	-721	-173	548
6. 65 (Weber)	-71	-847	-825	-281	544
7. Anl. Fa (Heidelberg)	-107	-769	-750	-173	577
8. SH. (Heidelberg)	-100	-814	-803	-247	556
9. Anl. (Heidelberg)	-110	-842	-822	-205	617

Det framgår av resultaten från **Tabell 3** och **4** att samtliga provstänger har uppnått ett fullgott katodiskt skydd dvs potentialavklingningen är större än 100 mV efter 24 timmars fränslag. Provstängerna som är ingjutna i olika reparationsbruk har något högre potentialavklingning jämfört med provstänger ingjutna i en kloridhaltig betong.

I **Tabell 5** visas zinknätanoden strömutmatning till provstänger ingjutna i kloridhaltig betong och i ingjutna i reparationsbruk utan klorider.

Tabell 5. Resultat från mätningar av avgiven ström från zinknätanod till ingjutna provstänger av stål i kloridhaltig betong och stål i reparationsbruk utan klorider.

Reparationsbruk (nr)	Skyddsström från zinknätanod till betong (VeloX) med klorider (mA)	Skyddsström från zinknätanod till reparationsbruk utan klorider (mA)
1. T60 (Mapei)	230	133
2. 120SR (Mapei)	60	143
3. GM (Sto)	69	79
4. TG (Sto)	6	83
5. 931 (Weber)	17	84
6. 65 (Weber)	105	21
7. Anl. Fa (Heidelberg)	94	209
8. SH. (Heidelberg)	121	84
9. Anl. (Heidelberg)	94	144

Det framgår av resultaten från mätningar av zinkanodnätets strömavgivning att både provstänger i en kloridhaltig betong och i reparationsbruk utan klorider och som är ihopkopplade med

varandra erhåller en skyddsström från zinknätanoden, **Tabell 5**. I sex av nio fall är skyddsströmmen högre för provstängerna i reparationsbruket utan klorider än för provstängerna i den kloridhaltiga betongen.

Att samtliga provstänger både i reparationsbruk utan klorider och i betong med klorider erhåller skyddsström från zinknätanoden innebär en sänkning av korrosionshastigheten för både provstänger i reparationsbruk och i kloridhaltig betong. Detta innebär att skyddsströmmen har utjämnat potentialskillnaden som fanns mellan provstängerna i betong med klorider och i reparationsbruk utan klorider.

## 5 Beskrivning av utförandet av partiella reparationer av betongkonstruktioner

I denna del av projektet dokumenteras hur olika partiella betongreparationerna utförts och vilka reparationsbruk, med förväntad lång livslängd, som har använts. Det framgick tidigt i projektet att inte var möjligt att få fram information om vilka reparationsbruk som hade använts vid olika partiella lagningar. Därför har vi i projektet enbart dokumenterat olika pågående partiella reparationer där fullständig information om reparationsbruk och utförande finns tillgänglig. Eftersom reparationerna har utförts strax före och under projektets gång har det inte varit möjligt att utvärdera resultaten av reparationerna.

Under projektets gång har några partiella reparationer av betongbroar påbörjats och avslutats där information om vilka reparationsbruk som har använts och hur reparationerna har utförts.

Partiella betongreparationer har utförts både med och utan katodiskt skydd. Vid användning av katodiskt skydd vid de partiella reparationerna har enbart offeranoder av zink ingjutet i ett cementbruk innehållande litiumhydroxid används.

Följande konstruktioners reparationshistorik dokumenterades:

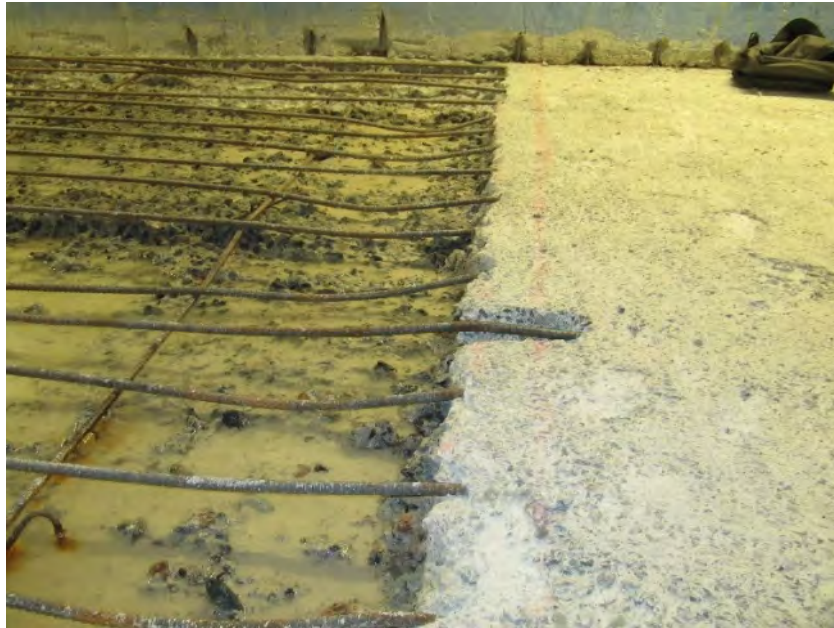
- Parkeringsgarage, Drakenberg 11, Hornstull Stockholm (katodiskt skydd med zinkanoder)
- Bogens färjekaj, Norge (katodiskt skydd med zinkanoder)
- Ölandsbron
- Smögenbron
- Älvsborgsbron

Miljön för samtliga objekt är dessa utsatta för klorider.

## 5.1 PARKERINGSGARAGE, DRAKENBERG 11, HORNSTULL, STOCKHOLM

### 5.1.1 Bakgrund

Parkeringsgaraget som byggdes under åren 1967-1973 renoverades under 2015-2017. Garaget som ligger under markytan under ett flerfamiljeshus uppvisade omfattande skador på betonggolvet till följd av dålig vidhäftning mot armeringen och omfattande armeringskorrosion, Figur 36.



Figur 34. Frilagd rostig stålarmering genom vattenbilning av betonggolvet.

Under år 2015-2025 har två olika ingjutningsbara offeranoder av zink med cementslita (Galvashield XP och Galvanode DAS 89) undersökts. Anoderna placerades i gränsytan mellan ny och gammal betong och syftet var att skydda den äldre befintliga stålarmeringen som inte bilades fram, Figur 35.



Figur 35. Installation av offeranoder av Galvanode DAS 89 (grönfärgad anod)

För att undersöka anodernas skyddsförmåga installerades referenselektroder av typen  $MnO_2/Mn_2O_3$  med olika avstånd från anoderna, **Figur 36**.



Figur 37. Monterad referenselektrod av typen  $MnO_2/Mn_2O_3$  för bestämning av skyddsförmågan hos det katodiska skyddet.

Mätningar av skyddsförmågan gjordes både med ingjutna referenselektroder och en extern referenselektrod, **Figur 38**.



Figur 38. Kontrollmätning av skyddsförmågan hos ingjutna offeranoder av zink på både nyingjuten stålarmring och äldre befintlig ingjuten stålarmring.

För att uppnå en god skyddsförmåga på den ingjutna stålarmringen enligt den europeiska standarden SS-EN ISO 12696:2022 – Katodiskt skydd av stål i betong - måste stålarmringens potentialavklingning efter 24 timmars fränslag av det katodiska skyddet var minst 100 mV:

$$E_{\text{skydd}} = E_{\text{efter 24 h fränslag}} - E_{\text{vid fränslag 0 h}} > 100 \text{ mV.}$$

Offeranodernas galvaniska strömgivning mättes med en nollresistansamperemeter, **Figur 39**.



Figur 39. Mätning av strömgivning från offeranoder av zink i betong

### 5.1.2 Resultat och diskussion

I **Tabell 6** visas resultat från kontrollmätningar av det katodiska skyddet med tre ingjutna referenselektroder ( $MnO_2/Mn_2O_3$ ) som placerades på olika avstånd från anoden under perioden 2016-2025.

Tabell 6. Resultat av potentialmätningar med tre ingjutna referenselektroder av typen  $MnO_2/Mn_2O_3$  under perioden 2016-2025. Elektrodernas avstånd från anoden var 0,02, 0,15 Och 0,5 meter.

Refnr. (avst.)	(mV) On-pot. 160812	(mV), Eoff efter 24h 160813	(mV) On-pot. 181017	(mV), Eoff efter 24h 20181018	(mV) On-pot. 210521	(mV), Eoff efter 24h 210526	(mV) On-pot. 250122	(mV), Eoff efter 24h 250123
1 (0,02 m)	-597	-460 (137)	-408	-347 (61)	-480	-437 (38)	-441	-369 (72)
2 (0,15 m)	-554	-454 (100)	-353	-324 (29)	-400	-380 (19)	-382	-354(28)
3 (0,5 m)	-449	-447(2)	-333	-319 (14)	-340	-315 (15)	-371	-344 (27)

Det framgår av resultaten i **Tabell 6** att en god skyddsförmåga uppnåddes på stålarmeringen endast vid ett mättillfälle vid ett avstånd på 0,02 och 0,15 meter från den ingjutna anoden. Resultaten från mätningar av den avgivna galvaniska skyddsströmmen från zinkanoderna till stålarmeringen under perioden 2016 och 2025 visas i **Tabell 7**.

Tabell 7. Resultat från mätningar av galvaniska strömvärdet från sex olika ingjutna offerander av zink (anod A1-A6 = Galvanode DAS 89 och anod A5-A6 = Galvashield XP).

Anod nr.	mA (2016-08-12)	mA (2018-10-17)	mA (2021-05-25)	mA (2025-01-22)
A1 (DAS)	1,8	1,7	2,7	0,98
A2 (DAS)	2,0	0,9	0,4	0,69
A3 (DAS)	2,0	0,5	2,9	0,94
A4 (DAS)	4,0	0,6	0,5	0,97
A5 (XP)	0	0,01	0,04	0,01
A6 (XP)	0,07	0,02	0,05	0,02
<b>Totalt</b>	<b>9,60</b>	<b>3,73</b>	<b>6,59</b>	<b>3,58</b>

Som framgår av resultaten efter ca nio års drift så varierade strömvärdet från ca 3,6 mA upp till 9,6 mA. Den största strömvärdet konstaterades ett år efter det att offeranoderna av zink hade anslutits till stålarmingen. Det framgår vidare att strömvärdet från XP anoderna är betydligt lägre jämfört med DAS anoderna.

I **Tabell 8** visas resultaten från potentialmätningar med en extern referenselektrod av Ag/AgCl på både reparerad stålarming (ädel potential, katod) och befintlig stålarming (oädel potential, anod) vid katodiskt skydd med offeranoder av zink.

**Tabell 8.** Resultat från potentialmätningar av nyingjuten och äldre ingjuten stålarming vid katodiskt skydd med offeranoder av zink

Avstånd från fog (meter)	2025-01-22 On-potential, Ag/AgCl (mV)	2025-01-23 Off-potential, 24 h, Ag/AgCl (mV)	Potential- avklängning efter 24 timmar frånslag (mV)	Skydds- förmåga enligt SS-EN ISO 12696:2022
1,0	-328	-335	7	Dålig
0,8	-351	-335	16	Dålig
0,6	-354	-336	18	Dålig
0,4	-366 (sprickor)	-333 (sprickor)	33	Dålig
0,2	-369	-326	43	Dålig
0 (fog)	-371	-327	44	Dålig
0,2 (anod)	-359	-315	44	Dålig
0,4	-375 (sprickor)	-338 (sprickor)	37	Dålig
0,6	-343	-326	27	Dålig
0,8	-332	-320	12	Dålig
1,0	-329	-318	11	Dålig

Gammal betong ↑  
Ny betong ↓

Det framgår av potentialmätningarna att skyddsförmågan hos zinkanoderna är dålig enligt SS-EN ISO 12696:2022. Det framgår vidare att strömvärdet från offeranoderna av zink till stålarmeringen är ungefär lika dålig till både reparerad stålarmering och äldre befintlig stålarmering. Det bör dock påpekas att undersökningar utförda på Ölandsbrons kantbalkar framgick det att en potentialavklingning 25 mV efter 24 timmas frånslag sänker korrosionshastigheten med 79 % (Ref 8).

Sammanfattningsvis kan sägas att resultaten från mätningar av det katodiska skyddet med ingjutna offeranoder av zink i ett parkeringsgarage visade att:

De ingjutna offeranoderna av zink ger ej fullständigt katodiskt skydd (> 100 mV efter 24-timmars frånslag enligt SS-EN 12996:22).

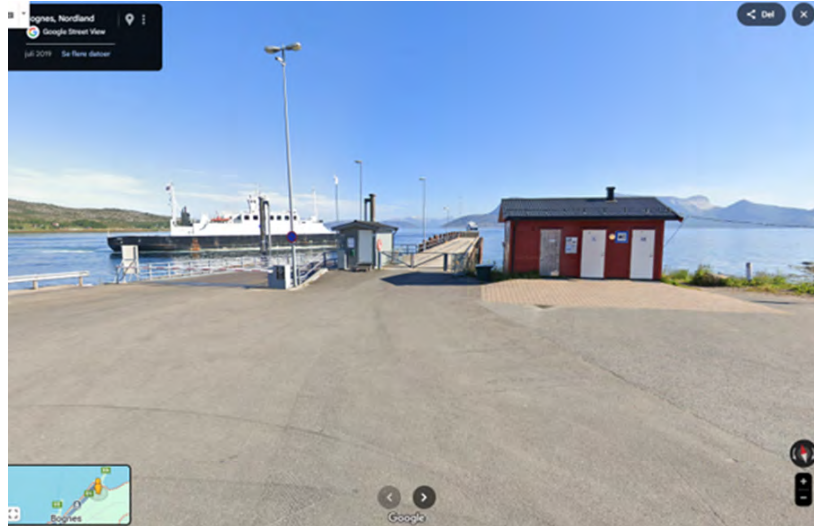
De ingjutna offeranoderna ger en skyddsström till stålarmeringen ca 0,2-0,3 meter från anoderna. Ingen skillnad mellan gammal och ny betong.

Zinkanoderna ger fortfarande skyddsström till armeringen efter 9 års drift.

## 5.2 BOGNES FÄRJEKAJ

### 5.2.1 Bakgrund

I samband med elektrifieringen (2021) av färjetrafiken på sträckorna Bognes – Skarberget och Drag – Kjøpsvik i Norge skulle kajerna renoveras och moderniseras för att underlätta för trafiken med färjor drivna av elektricitet, **Figur 40**.



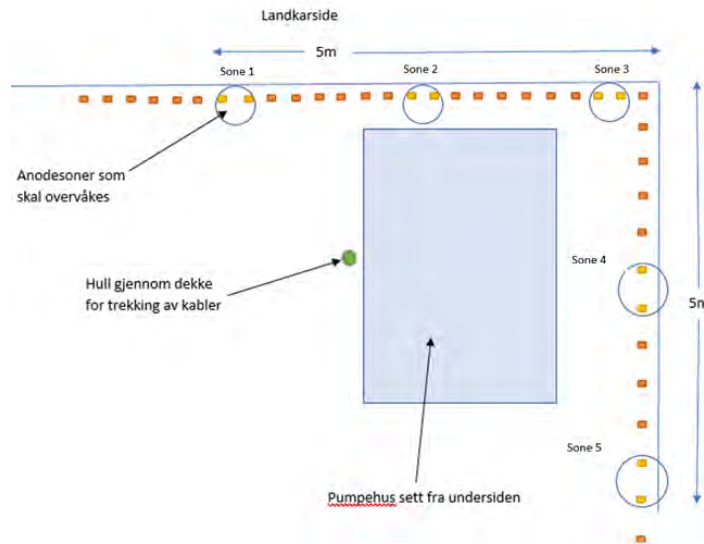
Figur 40. Färjeläger vid Bognes kaj (Statens vegvesen)

För kajen i Bognes och Drag uppmättes höga kloridhalter och betongskador orsakade av armeringskorrosion i betongkajens undersida. Utförda mätningar av kloridhalten i det täckande betongskiktet visade på mycket höga kloridhalter (ca 2 % klorider per cementvikt vid armeringsnivå). För att undvika framtida korrosionsproblem ersattes det kloridhaltiga betongskiktet med ett nytt täckande betongskikt och ett galvaniskt katodiskt skydd med offeranoder av zink ingjutet i ett cementbruk innehållande litiumhydroxid (Galvashield XP 4), Figur 42.



Figur 42. Monterade offeranoder av zink (Galvashield XP 4)

Det katodiska skyddet delades in i fem separata skydds-zoner, **Figur 43**.

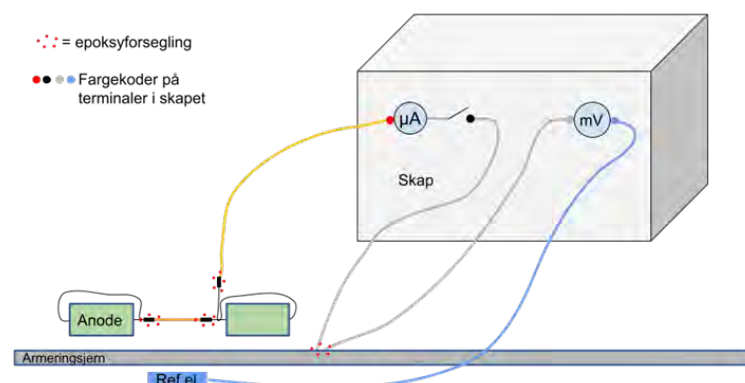


Figur 43. Schematisk skiss av installasjon av det katodiske skyddet med zinkanoder.

Det katodiske skyddet delades i fem separata skyddszoner (Statens vegvesen). I varje skyddszon installerades med möjligheter att kontinuerligt mäta skyddspotentialer och strömavgivning från två anoder i varje skyddszon.

Vid installationen av det galvaniska katodiska skyddet installerades även ett övervakningssystem för att kontinuerligt bestämma offeranodernas skyddande förmåga, **Figur 44**.

Overvåking av galvaniske anoder, Bogenes kai



Figur 44. Schematisk skiss av overvåkingssystem for måtningar av skyddspotentialer og avgiven skyddsstrøm från offeranoder (Statens vegvesen).

Vid de kontinuerliga mätningarna registrerades armeringens elektrokemiska potential med ingjutna referenselektroder av typen  $MnO_2/Mn_2O_3$ . Zinkanodernas strömavgivning i varje enskild skyddszon bestämdes genom att mäta strömavgivningen från två zinkanoder till den ingjutna stålarmingen i varje skyddszon från **Figur 45**.



Figur 45. Två monterade Galvashield XP 4 anoder och en referenselektrod av  $MnO_2/Mn_2O_3$  (Statens vegvesen)

### 5.2.2 Resultat och diskussion

Från resultaten av de kontinuerliga mätningarna som utförts av Statens vegvesen under 2024 och 2025 av armeringens elektrokemiska potential med ingjutna referenselektroder av  $MnO_2/Mn_2O_3$  i de olika skyddszonerna visade att skyddsförmågan i samtliga skyddszoner var dålig vid de flesta mättillfällena enligt SS EN ISO 12696:2022.

För att erhålla god skyddsförmåga vid katodisk skydd av stålarmering i betong enligt SS EN ISO 12696:2022 ska potentialavklingningen (depolarisationen) efter 24 timmars frånslag vara  $\geq 100$  mV eller att den IR-fria potentialen vid frånslag ska ligga mellan mellan -884 och -1264 mV relativt  $MnO_2/Mn_2O_3$ .

I skyddszon 1 och 2 var skyddsförmågan god vid 1 av 17 mättillfällen. I skyddszon 3 var skyddsförmågan god vid 3 av 17 mättillfällen. I skyddszon 4 var skyddsförmågan god vid 4 av 17 mättillfällen. I skyddszon 5 var skyddsförmågan god vid 2 av 17 mättillfällen. Det

konstaterades vidare att strömvärdet varierade i skyddszon 1 mellan 0,21 och 2,23 mA, skyddszon 2 mellan 0,21 och 2,99 mA, skyddszon 3 mellan 0,19 och 2,19, skyddszon 4 mellan 0,18 och 2,06 mA samt i skyddszon 5 mellan 0,15 och 3,03 mA.

Där skyddsförmågan var god uppmättes vid ett mättillfälle en strömvärdet från anoderna av 2,23 mA i skyddszon 1. I skyddszon 2 uppmättes vid tre mättillfällen en god skyddsförmåga vid en strömvärdet från anoderna av 1,60, 1,89 och 2,19 mA. I skyddszon 3 uppmättes fyra mättillfällen en god skyddsförmåga vid en strömvärdet från anoderna av 1,61 mA (2 mättillfällen), 1,66 mA och 2,06 mA. I skyddszon 4 uppmättes en god skyddsförmåga vid en strömvärdet från anoderna av 2,27 och 3,03 mA.

Sammanfattningsvis kan sägas att kontinuerligt mäta skyddsförmågan hos offeranoder ingjutna i betongkonstruktioner fungerar bra. Däremot är det svårt att dimensionera ett offeranodsystem så att ett fullgott katodiskt skydd kan fås enligt SS EN ISO 12696:2022.

När samtliga zinkanoder inte kan brytas samtidigt finns det risk att de anoder som fortfarande är anslutna påverkar de anoder som används vid kontroll av det katodiska skyddets skyddsförmåga. De offeranoder som fortfarande är anslutna vid kontrollmätningarna kan påverka mätresultatet negativt eftersom samtliga anoder måste vara fränslagna vid bestämning av skyddsförmågan.

Det bör dock påpekas att undersökningar med katodiskt skydd utförda på Ölandsbron kantbalkar framgick det att en potentialavklingning (depolarisation) av 25 mV efter 24 timmas fränslag sänkte armeringens korrosionshastigheten med 79 % (Ref 8).

### 5.3 ÖLANDSBRON, PARTIELLA REPARATIONER AV UNDERSIDA BRO

#### 5.3.1 Bakgrund

På uppdrag av Vägverket konstruerade och byggde AB Skånska Cementgjuteriet (numera SKANSKA) Ölandsbron åren 1968 – 1972, **Figur 46**. Ölandsbron är en betongbalkbro i 155 spann med en total längd av 6072 m, bredd 12,8 m och ca 78 300 m<sup>2</sup> (78 321) broyta.



Figur 46 Ölandsbron (bild från Trafikverket)

Bron kan delas in i tre konstruktiva delar:

En 801 meter lång lågbro (balkbro) med 23 spann över Svinö.

En högbro (lådabalkbro) över Kalmarsunds djupränna med 8 spann och längden 901 meter

En 4361 meter lång lågbro (balkbro) med 124 spann mellan Skallö och Öland

Bron har 19 st övergångskonstruktioner och 340 st upplagsanordningar. Brons högsta höjd över medelvattenytan är 41,6 m och lägsta är 6,6 m. Segelfri höjd i farleden är 36 m på en bredd av 80 m.

Ölandsbron har genomgått fem större reparationsåtgärder och en sjuätte reparationsåtgärd påbörjades 2025.

**1990-1994** byggdes 112 av lågbrons pelare om. Den tekniska lösningen var att ett 500 mm tjockt, hårt armerat, betongskal försågs runt de ursprungliga pelarna. Den nya skalkonstruktionen konstruerades att ta över bärförmågan från den gamla pelaren.

**1997-2000** vidtogs åtgärder på högbrodelens pelare samt på pelare till anslutande lågbrodelar (16-40). Den tekniska lösningen var den samma som för lågbrodelens pelare 1990-1994 förutom att den inte omfattande hela pelaren i höjdlid utan endast cirka halva höjden, beroende på att dessa pelare är betydligt högre. För att kunna

överföra lasterna från den övre delen till skalkonstruktionen konstruerades övergången som lastfördelande krage.

**2003-2005** ersattes samtliga 19 övergångskonstruktioner och 8 pendellager samt 2 500 m kantbalk. Läckage av vatten och klorider kring övergångskonstruktionerna gav upphov till skador i underliggande betong och armering vilket föranledde ett behov av omfattande betongreparationer. För att undvika stora trafikstörningar under tiden för utbytet av övergångskonstruktioner användes tillfälliga överfartsbroar.

**2009-2011** reparerades 7 800 m kantbalk och samtliga lager (40 st) under övergångs-konstruktioner byttes ut.

**2016-2019** reparerades högbrons kantbalkar (1 800 m), resterande rörliga lager (210 st) och högbrons tätskikt (11 650 m<sup>2</sup>) byttes ut.

**2025-2027** partiella reparationer huvudbalkar och tvärbalkar .

### 5.3.2 Utförande

Under 2025 påbörjades första etappen av partiella reparationer av täckande betongskikt på huvudbalkar, tvärbalkar och brobanepatta för brospann 38-51. Även utbyte av stuprör och infästningar genomfördes under den första etappen. I den andra etappen ingår partiella reparationer av huvudbalkar, tvärbalkar och brobanepatta samt komplettering av stuprör och infästningar för brospann 1-24,, 32-37 och 52-57, 58-155. De partiella reparationerna under den andra etappen kommer att påbörjas under 2027 och avslutas 2029.

De betongskador (oftast spjälkning av betongytor) som uppkommit på huvudbalkar och tvärbalkar kan härledas till armeringskorrosion orsakad av klorider och karbonatisering i kombination med allt för tunna täckande betongskikt, **Figur 47**.



Figur 47. Exempel på partiella betongskador (spjälkning) på grund av korrosions-angrepp på armeringsstål i kombination med för tunna täckande betongskikt (se röd pil).

Inledningsvis utfördes en vattenbilning av betongen som hade spjälkats och därmed hade dålig vidhäftning mot armeringen. Innan vattenbilningen påbörjades fastställdes bilningsgränser genom att såga ett spår med djupet av 10 mm, **Figur 48**



Figur 48. Korrosionsskadad stålarmering som tidigare reparerats. Markeringsgränser för vattenbilning visas med blå färg.

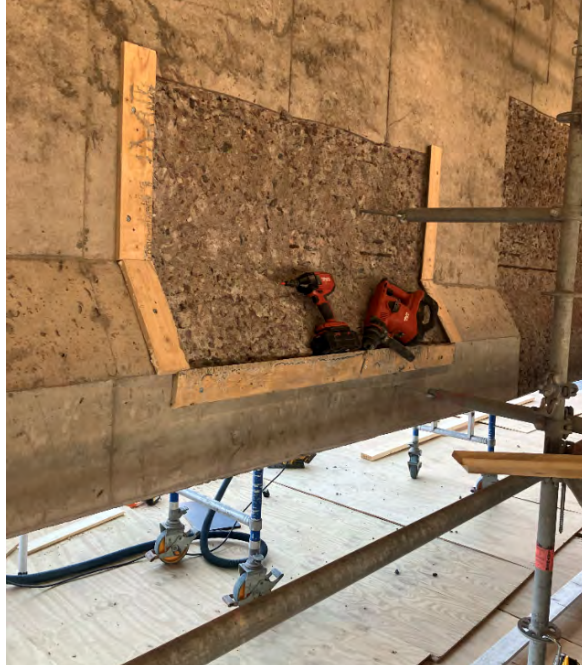
Den frilagda stålarmeringen efter vattenbilning ska vara fri från pågående korrosion. Om stålarmeringen är korrosionsangripen med partiella korrosionsangrepp som resulterat i minskning av armeringens tvärsnittsytta kompletterades denna om:

1. Areaförlusten är större än 10 % för armering som har beräkningsmässig betydelse för bärförmågan.
2. Areaförlusten är större än 20 % för övrig armering.

Ny armering skarvades med befintlig armering eller gjöts fast i hål borrarade i befintlig betong.

Vid reparationerna användes Mapefill N-LH som är ett hydrauliskt bruk (R4-CC).

I **Figur 49** visas delvis montering av gjutform på huvudbalkens insida.



Figur 49. Montering av gjutform

I **Figur 50** visas en färdigmonterad gjutform



Figur 50. Färdig monterad gjutform

I **Figur 51** visas en lokalt reparerad betongyta efter att gjutformen tagits bort.



Figur 51. Lokalt reparerad betongyta med ett ökat täckande betongskikt av ca 15 mm.

## 5.4 ÄLVSBORGSBRON, PARTIELLA REPARATIONER AV UNDERSIDA BRO

### 5.4.1 Bakgrund

Älvsborgsbron är en hängbro över hamninloppet i Göteborg, vid Götaälvs mynning. Den sträcker sig mellan Sjöbergen i Sandarna på fastlandssidan och Färjenäs i Färjestaden på Hisingen. Bron har en totallängd på ca 900 meter och ett spann med ca 418 meters spannvidd och den togs i trafik 1966, **Figur 52**.



Figur 52. Älvsborgsbron

Älvsborgsbron är en markförankrad hängbro i ett spann med tillfartsviadukter utförda som pelarunderstödda betongkonstruktioner, **Figur 53**.



Figur 53. Älvsborgsbron

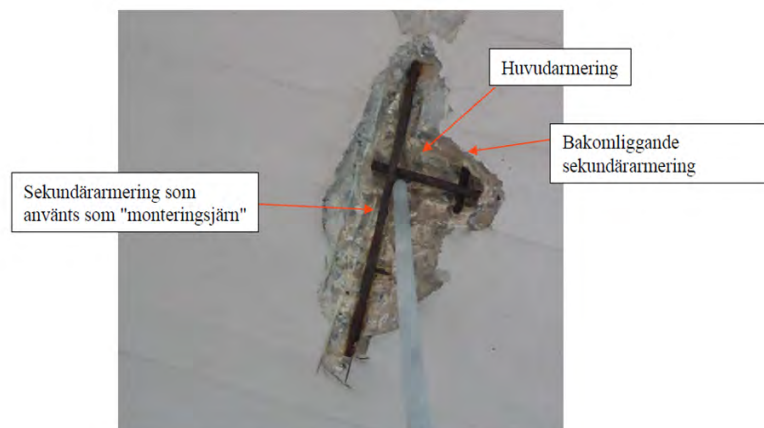
Älvsborgsbrons brobaneplatta har en lång historik av korrosionsskador på armering med tillhörande rostsprängning av täckande betongskikt. Brobaneplattan har under en lång period skrotats regelbundet pga. löst sittande betong, orsakad av armeringskorrosion.

Vid brobaneplattans byggnation användes distansklossar av bristfällig betongkvalitet. Distansklossarna var av en typ som normalt används vid husbyggnad, men som ej är lämplig för anläggningsprojekt. Dessa distansklossar har med tiden karbonatiserats. Vidare har armeringen i skadeområdena ett bristfälligt täckande betongskikt.

Skadad armering har nästan uteslutande varit i armeringen i brons längdriktning, dvs. sekundärarmering, **Figur 54**. Efterforskning har påvisat att två sekundärarmeringsstänger i varje fack har lyfts ned under huvudarmeringen. Detta har gjorts för att sekundärarmeringen på dessa ställen skulle kunna nyttjas som monteringsarmering.

Undersidan av brobaneplattan är målad med en spricköverbryggande färg från Sto Scandinavia AB. Färgens primära syfte är att hindra CO<sub>2</sub> från att tränga in i betongen och därmed orsaka karbonatisering. Ytbehandlingen utfördes pga. det bristfälliga täckande betongskiktet, som lett till korrosion på monteringsarmering.

Brobaneplattan har bristfälligt täckande betongskikt på 10-14 mm in till monteringsarmeringen med korrosionsproblematik på dessa som följd.



Figur 54. Korrosionsskador på undersida broplatta, Älvsborgsbron

#### 5.4.2 Utförandet

Inledningsvis utfördes en vattenbilning av betong med dålig vidhäftning mot armeringen. Innan vattenbilningen påbörjades fastställdes bilningsgränser genom att såga ett spår med djupet av 10 mm.

Vid upphandling av reparationerna gällde Trafikverkets tekniska beskrivning, för brönderhåll.

Efter vattenbilningen ska den frilagda stålarmeringen vara fri från pågående korrosion. Om korrosionsskador upptäckts på stålarmeringen efter vattenbilningen och om det förekommer partiella korrosionsangrepp som resulterat i minskning av armeringens tvärsnitt så kompletterades armeringen om:

1. Areaförlusten är större än 10 % för armering som har beräkningsmässig betydelse för bärförmågan.
2. Areaförlusten är större än 20 % för övrig armering.

Ny armering ska antingen skarvas med befintlig armering eller gjutas fast i hål borrade i befintlig betong.

Korrosionstillståndet för armering som inte är frilagd bestämdes genom potentialkartering.

Vid reparationen användes Weber EXM 725 till i princip alla gjutningar. Vid de första gjutningarna användes Weber EXM 703 men det bruket blev "för trögt" och det blev problem med luftfickor samt problem med slangarna och gjutformen.

Hållfasthetsklass: C40/50

vctekv max: 0,40

Täckande betongskikt 1,5Ø = 15 mm bef. armering / 18 mm ersättningsarmering

Krav på största kornstorlek: 8 mm

Täckande betongskikt > 15 mm innebär pågjutning

Om betong som ska motgutas är urlakad, vittrad eller spjälkad i sådan omfattning att en bedömning att konstruktionens funktion är nedsatt ska beställarens konstruktör kontaktas. Bedömning ska

utföras av en sakkunnig person som både ska ha provbilat och bomknackat.

Erforderlig betonghållfasthet vid rivning av brädform = 70% av betongens kubhållfastheten och vid rivning av stödjande form = 15 MPa, dock tidigast efter 15 dygn.

## 5.5 SMÖGENBRON

### 5.5.1 Bakgrund

Smögenbron är en drygt 400 meter lång och 35 meter hög betongbro, som förbinder ön Smögen med Kungshamn på fastlandssidan. Bron började byggas den 23 september 1968, och stod färdig den 25 december 1970, **Figur 55**.



Figur 55. Smögenbron

Både brolåda och ett flertal bropelare har utsatts för partiella betongskador (spjälkning) som orsakats av kloridinitierad korrosion i samband med karbonatisering samt tunna täckande betongskikt, **Figur 56** och **57**. Korrosionsangreppen är ofta lokaliserade på betongytor med ett tunt täckande betongskikt.



Figur 56. Betongskador på brolåda orsakad av kloridinditerad armeringskorrosion i karbonatiserad betong med ett tunt täckande betongskikt.



Figur 57. Betongskador på bropelare orsakad av kloridinditerad armeringskorrosion i karbonatiserad betong med ett tunt täckande betongskikt.

### 5.5.2 Utförande

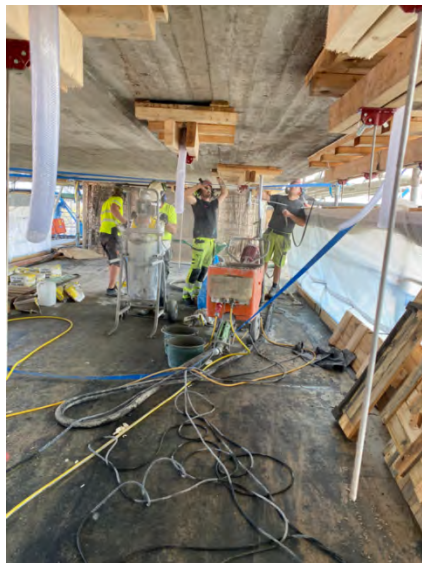
Under åren 2022 och 2024 utfördes partiella reparationer av bropelare, och utsidan av lådbalken. Dessutom installerades katodiskt skydd med påtryckt ström på två bropelare som är placerade delvis i havsvatten.

De partiella betongreparationer av brons lådbalk och bropelare innefattar följande moment:

- Vattenbilning betongytor med skador.
- Utbyte av skadad armering vid behov
- Pågjutning av reparationsbetong

Den betongkvalitet som användes vid reparationerna är Weber EXM 703 Expander Grov.

Efter vattenbilning av lådbalkens botten, som är endast 150 mm tjock, återstår ca 80 mm. För att minska risken för genomslag inne i lådbalken har vattenbilning utförts med lågt tryck. Vid upptäckt av kraftigt skadad eller avrostad armering har denna bytts ut. I Figur 58 visas arbetet med montering av gjutform för att partiellt reparera en betongskada på lådbalkens undersida. Betongen pumpas igenom förborrade hål från lådbalkens insida.



Figur 58. Montering av gjutform på lådbalkens undersida.

I **Figur 59** visas utseendet av en färdig utförd partiell reparation av en betongskada. Det befintligt täckande betongskiktet ökades upp till 20 mm.



Figur 59. Lokalt reparerad betongyta med kloridiniterad korrosion på stålarmning. Det täckande betongskiktet har ökats med ca 20 mm.

För att hindra att klorider tränger in till stålarmningen har både partiellt reparerade betongpelare och lådbalken förstärkts med en efterbehandling av de reparerade ytorna med djuphydrofobering och applicering av ett yttre färgskikt. Det befintliga och oskadade betongytorna förstärktes med en djuphydrofobering, en polymerförstärkt cementslamma och av ett yttre färgskikt.

### 5.5.3 Resultat

Vid en inspektion utförd i juni 2024 konstaterades färgsläpp på ej reparerade betongytor som behandlats med en djuphydrofobering, polymerförstärkt cementslamma och ett yttre färgskikt (Ref 9), **Figur 60**.



*Figur 60. Färgen hade flagat i stora sjok på nordvästra sidan av brolådan*

Inga färgsläpp kunde konstateras på de partiellt reparerade betongytorna där ingen cementslamma hade använts, **Figur 60.**



Figur 61. Partiellt reparerad betongskada med en djuphydrofobering och applicerat färgskikt. Inget färgsläpp har konstaterats vid den okulära besiktningen.

Sammanfattningsvis kan sägas att djuphydrofobering är en metod där man behandlar betongytan med ett hydrofoberingsmedel som ger betongytan en vattenfrånstötande karaktär som minskar vätning av betongen och därmed också upptag av kloridhaltigt vatten. Djuphydrofoberingen tränger ofta djupt in i betongens porsystem.

Om dessa behandlingar kan hindra vatten och klorider från att tränga in i betongen innebär i sin tur minskning av uttorkningshastigheten av fuktig betong (Ref 9).

Som framgår av den okulära inspektionen konstaterades färgskador i form av flagnande färg som indikerar att viss inkompatibilitet/defekter i systemet kan förekomma. Enligt de tekniska databladerna för använda produkter kan man kombinera cementslamman och färgen eller djuphydrofobering och färgen. Att cementslamman skulle vara kompatibel med djuphydrofobering finns däremot inget stöd för. Rekommenderad förbehandling för använd cementslamma är att ytskiktet på gammal betong ska blåstras, alternativt högtryckstvättas. Denna förbehandling bör underlätta för cementslamman att binda till den gamla betongen genom att cementen i slamman reagerar kemiskt med cementen i betongen.

En aspekt som förmodligen blir betydelsefull om en djuphydrofobad betong behandlas med en vattenburen cementslamma är att tork/ härdningstiden för cementslamman kan bli väsentligt förlängd. Detta eftersom ett djuphydrofobrat substrat troligtvis har väsentligt mycket lägre vattenabsorption jämfört med en nyblästrad hydrofil betongyta. Detta påverkar i så fall den erforderliga övermålningsstiden innan cementslamman kan målas över med färg. Om färgen målas på en yta som inte är tillräckligt torr kan det i sin tur utgöra en orsak till vidhäftningsförlust mellan cementslamma och färg.

## 6 Fortsatt arbete

I projektet har endast ett reparationsbruk med en korrosionsinhibitor undersökts. Undersökningarna både i fält och i laboratorium visade på mycket goda korrosionsskyddsegenskaper med korrosionsinhibitor. Resistiviteten var betydligt högre hos reparationsbruk med korrosionsinhibitor vilket bromsade korrosionshastigheten. Detta är mycket positivt för att minska risken för galvanisk korrosion på stålarmeringen i gammal betong. Därför föreslår vi att flera olika korrosionsinhibitorer undersöks med avseende på korrosionsskyddsegenskaperna. Ett sådant projekt skulle kunna utformas i samarbete med olika aktörer på marknaden tillsammans med Trafikverket och Energiforsk.

Eftersom laboratorieundersökningen med inträngning av omgivande klorider har misslyckats skulle en metodutveckling av provningsmetodiken vara relevant för framtida forskning. Inträngning av klorider simulerar mer verklighetstroga förhållanden jämfört med försök med ingjutna klorider.

Tidigare undersökningar med slagginblandningar i cement har visat på positiva resultat med avseende på korrosionshårdigheten hos i stål i betong (Ref 7). Det rekommenderas att undersöka möjligheten att använda reparationsbruk med tillsats av slagg.

## 7 Slutsatser och rekommendationer

Från genomförda undersökningar kan följande slutsatser och rekommendationer ges :

### Laboratorieundersökningar

- Reparationsbruket med inhibitor (Mapegrout T60) visade bra resultat i den elektrokemiska provningen med ingjutna klorider tillsammans med referenserna Slite anläggningscement med flygaska och Skövde SH-cement.
- Den elektrokemiska provningsmetoden med insugna klorider i provkroppen misslyckades. Detta medförde korrosionsangrepp innan provningen startade. Faktorer som påverkade den snabba kloridinträngningen var för tunna täckskikt och kapillärsugning i stället för diffusion. Dessutom inträffade oönskad spaltkorrosion i gränsytan mellan reparationsbruket och provstängerna på grund av kloridmigration under epoxiskiktet på det nakna stålet.
- Mängden lösliga klorider från proven i undersökningen (2 % ingjutna Cl<sup>-</sup> per cementvikt) analyserades. Analyserna, som pågick tills det att jämvikt hade uppnåtts, visade att de lösliga kloriderna varierade mellan 0,8 upp till 1,4 % per cementvikt i de olika reparationsbruken. Den lägsta mängden lösliga klorider uppmättes i prover från Slite anläggningscement och Skövde SH. Det kan innebära att dessa cementtyper har positiva korrosionsskyddsegenskaper.
- En trolig förklaring till skillnader i korrosionshastigheten är att kloridkoncentrationen varierar vid stålytan på grund av olika förmåga att binda klorider vid ingjutning

### Fältundersökningar

- Efter ett års fältprovning med både ingjutna och insugna klorider visade resultaten att reparationsbruket med inhibitor (Mapegrout T60) hade mycket låg korrosionshastighet i båda undersökningarna. Reparationsbruken Weber 65+slamma och Weber 931 hade också mycket låga korrosionshastigheter med ingjutna klorider. Med insugna klorider hade

provstängerna i reparationsbruken i Weber 65+slamma, Sto TG och Mapei SR120 en mycket låg korrosionshastighet.

- Generellt var makrocellströmmarna låga mellan kloridhaltig betong och reparationsbruk. Det beror sannolikt på att reparationsbruket har en hög resistivitet och ett tätt kapillärporsystem.
- Reparationsbruk med mycket låga makrocellströmmar var Mapegrout T60, Mapei SR120, Weber 65 tillsammans referenserna Slite Anläggning med flygaska och Skövde SH.
- Reparationsbruket Mapegrout T60 med inhibitor visade på en mycket hög resistivitet vilket kan vara positivt för att undvika makrocellskorrosion på stålarmingen i en kloridhaltig betong.
- Skyddsförmågan hos zinknätanoden var bra, men det är viktigt att zinknätanoden ansluts till stålarmingen innan anoden omsluts av reparationsbruket. Zinknätanoden har en betydligt jämnare strömspridning jämfört med lokala zinkpunktanoder. Om inte anodnätet ansluts till den ingjutna stålarmingen före ingjutning av anoden finns en risk för vätgasutveckling på zinknätanoden vilket resulterar i en större förbrukning av anoden och risk för blåsbildning på reparationssskiktet.
- Katodiskt skydd med ingjutna offeranoder i verkliga konstruktion
- Katodiskt skydd med ingjutna offeranoder med zink i föringjutna i ett cementbruk innehållande litiumhydroxid har används i Bogens färjekaj i Norge och i ett parkeringsgarage i Stockholm. Enligt kravet för god skyddsförmåga i SS EN ISO 12696:2022 ( $\geq 100$  mV potentialavklingning efter 24 -timmars fränslag av det katodiska skyddet) uppnåddes inte. Tidigare undersökningar (Ref. 8) uppnås en sänkning av korrosionshastigheten med ca. 79 % vid en potentialavklingning av 25 mV.
- Vid Smögenbron konstaterades att det är viktigt att fukthalten måste vara låg innan ett skyddande färgskikt appliceras för att undvika avflagnig.

- Korrosionsskador på Ölandsbron, Smögenbron och Älvsborgsbron orsakades av allt för tunna täcksikt i kombination med karbonatisering och inträngning av klorider. Reparationsåtgärden var att öka betongens täcksikt där korrosionsskador hade uppstått. Innan pågjutning av täcksiktet vattenbilades skadeområdet så att armeringen frilades. Vid kraftig korrosion ersattes den med ny armering när areaförlusten var större än 20 % av tvärsnittsytan.

### Rekommendationer

Följande rekommendationer från erhållna resultat kan ges:

- Vid konventionella reparationer av betongkonstruktioner rekommenderas att använda reparationsbruk med hög resistivitet för att minska risken för makrocellskorrosion. Hög resistivitet uppnås i ett tätt kapillärporsystem som medger låg fukthalt i betongen. Baserat på RILEM och fib Model Code for concrete structures, 2010 rekommenderas värdet  $> 200 \Omega m$  för betongens resistivitet kopplat till låg risk för korrosion.
- Vid reparationer med katodiskt skydd rekommenderas att använda ett reparationsbruk som har en låg resistivitet.
- Resultaten från undersökningarna indikerar att inblandning av en korrosionsinhibitor ökar resistiviteten och minskar korrosionen signifikant hos det reparationsbruk som ingick i undersökningarna (Mapegrout T60). Det rekommenderas att fler provningar genomförs med tillsats av olika typer korrosionsinhibitorer i reparationsbruk för klarlägga den positiva egenskapen.
- Det är viktigt att partiella reparationer inte utförs med för tunna täckande betongskikt. Därför kommer den partiella reparationen ofta att vara påbyggd. Före reparation är det viktigt att utföra en täcksiktsmätning som bör ingå i en tillståndsanalys tillsammans med karbonatiseringsdjup och kloridanalys.

## 8 Referenslista

1. S Henning Helgestad & Ø Bjøntegaard & Eva Rodum. Reparationsmörters kloridmotstånd. Rapport Nr. 144. Statens vegvesen 2019.
2. Choorackal A.E et.al. Macrocell corrosion formation in concrete repairs – A laboratory study. Engineering Materials Vol. 711 pp 68-75, 2016 Schweiz.
3. Choorackal A. E & S Jones O Avirachan & O Nanayakkara & J Xia. 5<sup>th</sup> International Conference on durability of concrete structures. Jun 30-jul 1, 2016. Shenzhen University, Shenzhen, China.
4. P Ghoddousi & M Haghtalab & A.A.S Javid. Experimental a numerical investigation of repair dimensions effect on macro-cell corrosion induced by concrete slabs patch repair. International Journal of Civil Engineering. 19 april 2021. Iran University of Science and Technology, 19 april.
5. V Saraswathy & H-W Song. Evaluation of cementitious repair mortars for corrosion resistance. Portugaliae Electrochimica Acta, 26/5 (2008) pp 417-432.
6. P Skoglund & J Silfwerbrand & J Holmgren & J Trägårdh. Chloride redistribution and reinforcement corrosion in the interfacial region between substrate and repair concrete - A laboratory study. Materials and Structures, 41(6) pp.1001-1014.
7. B Sederholm, J Trägårdh, J Ahlström, L Andersson, Arezou Baba Ahmadi och Tang Luping. Bestämning av korrosionsskyddsförmågan för olika bindemedel samt förslag på alternativ till kloridtröskelvärde. RISE Rapport 2023: P102184
8. B Sederholm. Utomhusprovning av enkelt installerade anodsystem för katodiskt skydd av räcketständer och kantbalksarmering på Ölandsbron. KI Rapport 2002:2. Korrosionsinstitutet, 2002 Stockholm.
9. B Tidbeck. Uppdragsrapport - Undersökning av flagnande färg på Smögenbron. RISE 2024.

10. J Ahlström & B Sederholm. Bruk av offeranoder ved betongrehabilitering – Litteratur- och erfaringstudie. Rapport nr. 723 Statens vegvesen, 2021.
11. W Schwartz, A Pichlöter, A Honder, H Esteres. Mainenance and repair of steel reinforced concrete structures by galvanic corrosion protection. Presentation at ICCRR in Cape Town in 2018.
12. Yi-yan Lu, Ji-yue Hu, Shan Li\*, Wen-shui Tang. Active and passive protection of steel reinforcement in concretecolumn using carbon fibre reinforced polymer against corrosion. *Electrochimica Acta* 278 (2018) pp 124-136.

## Bestämning av korrosionsskydds- förmågan hos olika reparationsbruk vid partiella reparationer

## Bestämning av korrosionsskyddsförmågan för olika reparationsbruk vid partiella reparationer

Denna rapport sammanfattar resultaten från ett omfattande forsknings och utvecklingsprojekt genomfört bland annat inom Trafikverkets BBT program och Betongtekniskt program kärnkraft. Syfte var att utvärdera korrosionsskyddsegenskaperna hos olika reparationsbruk vid partiella betongreparationer. Bakgrunden är ett tydligt branschbehov där Trafikverket, Statens vegvesen och kärnkraftsindustrin upplever återkommande lokala betongskador orsakade av armeringskorrosion, särskilt i miljöer med kloridexponering såsom broar, tunnlar, kajkonstruktioner och kylvattenkanaler. Otillräckliga eller felaktigt utförda partiella reparationer har visat sig leda till snabba återkommande skador, vilket exempelvis tidigare reparationer på Ölandsbron tydligt visat.

Sammantaget visar projektet att materialval, reparationsbrukens resistivitet, inhibitoranvändning och korrekt installation är avgörande faktorer för långsiktigt hållbara partiella betongreparationer. Framtida forskning med avseende reparationsbruk rekommenderas kring korrosionsinhibitorer, slagg och andra alternativa bindemedel och förbättrad provningsmetodik för kloridinträngning.