

ARMERINGSKORROSION I KYLVATTENVÄGAR INOM KÄRNKRAFTEN – ETAPP II

RAPPORT 2018:510



BETONGTEKNIK
KÄRNKRAFT

BETONGTEKNISKT PROGRAM
KÄRNKRAFT



Energiforsk

Armeringskorrosion i kylvattenvägar inom kärnkraften – Etapp II

Dolda korrosionsangrepp av oväntad omfattning

BROR SEDERHOLM, JOHAN AHLSTRÖM, JOHNNY NYBERG

ISBN 978-91-7673-510-7 | © Energiforsk juli 2018 | Foto: OKG AB

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

I kylvattenvägarna vid Oskarshamns och Ringhals kärnkraftverk har mycket lokala korrosionsangrepp hittats på den ingjutna armeringen. Dessa skador har uppstått oväntat snabbt, och ett projekt initierades därför för att undersöka bakgrunden till skadorna. Målet har varit att undersöka orsaken till skadorna samt identifiera en eller flera lämpliga skyddsmetoder.

Projektet har genomförts i två etapper, och i denna rapport redovisas resultaten från den andra delen. Resultat från det föregående arbetet finns i Energiforsk rapport 2017:343.

Detta projekt ingår i Energiforsk Betongtekniskt program kärnkraft, som driver forskning kring betongkonstruktioner inom kärnkraftverk. Det övergripande målet med det betongtekniska programmet är att säkerställa avsedd livslängd och hög tillgänglighet för svenska kärnkraftverk med bibehållen säkerhet och för att kunna driva en effektiv förvaltning. Intressenterna bakom Betongtekniskt program kärnkraft är Vattenfall, Uniper, Fortum, Teollisuuden Voima Oy (TVO) i Finland, Skellefteå Kraft, Karlstads Energi samt Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM).

Sammanfattning

Under senare år har omfattande korrosionsangrepp på stålarmering i olika delar av kylvattenvägarna i Oskarshamn kärnkraftverk och Ringhals kärnkraftverk konstaterats. I detta projekt (omfattar etapp I och II) har orsakerna till de omfattande korrosionsskadorna på den ingjutna stålarmeringen i kylvattenvägarna inom kärnkraften fastställts. I projektet har lämpliga åtgärder för att hindra fortsatt korrosion föreslagits och provats i Oskarshamn 3 med ett mycket gott resultat.

Från undersökningar utförda i projektet har det framgått att rostutfällningar på betongytor i kylvattenkanaler beror på omfattande korrosionsangrepp på armeringsstålet i blottlagda defekter i betongen såsom genomgående sprickor och håligheter. Bakom de synliga rostutfällningarna på betongytan var i vissa fall armeringen helt oskadad och i andra fall kraftigt korroderade. Anledning till att armeringen är helt oskadad bakom rostutfällningarna är att de bildade järnjonerna vid den korroderande armeringen har fällts ut där den genomgående sprickan mynnar ut i vattnet. Sprickans mynning med rostkrusta behöver inte vara placerad direkt framför angreppsstället utan kan vara placerad i radiell riktning med ett visst avstånd ifrån armeringens angreppsställe.

Kontaktmätningar, utförda vid installationen av katodiskt skydd i kylvattenkanalen i utloppet till Oskarshamn 3, mellan rostfria luckor och ingjuten stålarmering visade att rostfria luckorna i kylvattenkanalerna och titanrören från kondensorn har elektrisk kontakt med stålarmeringen (2).

Kontinuerliga mätningar av armeringens elektrokemiska potential i kylvattenvägarna i Oskarshamn 3 och Ringhals 3 visade att den ingjutna armeringen hade onormalt ädla potentialer. De ädla elektrokemiska potentialerna som kontinuerligt registrerats hos armeringen under ca två år i Oskarshamn 3 och ca ett år Ringhals 3 beror på att stålarmeringen har elektrisk kontakt (avsiktlig potentialutjämning) med rostfria luckor/titanrör från kondensorn.

Vid genomgående sprickor i betongen blir areaförhållandet mellan blottlagda armeringsytor (små anodytor) och de ädla metallerna såsom rostfritt stål (stora katodytor) mycket gynnsam för galvanisk korrosion på stålarmeringen i de genomgående och vattenfyllda sprickorna. Den lokala korrosionshastigheten i blottlagda stálytor kommer sålunda vara mycket hög.

De höga korrosionshastigheterna som konstaterats lokalt på stålarmeringen i både in- och utloppsdelarna till kylvattenkanalerna är med stor sannolikhet orsakad av galvanisk korrosion.

Inga läckströmmar har konstaterats vid de kontinuerliga mätningarna av potentialgradienten mellan två referenselektroder och av armeringens elektrokemiska potential i kylvattenkanalerna i Oskarshamn 3. Vid mätning av förekomst av läckströmmar utanför Oskarshamn kärnkraftverk uppmättes en spänningsskillnad i mark av 0,3 volt/km. Det kan dock konstateras att spänningsskillnaden i mark är betydligt mindre än vad som har uppmätts vid ett tidigare mättillfälle vid Forsmark kärnkraftverk av 1,5 volt/km(4).

De genomförda laboratorieundersökningarna (utförda både i etapp I och II) visade att den största galvaniska inverkan på korrosionen hos ingjuten kolstål är orsakad av rostfritt stål som exponeras i vatten och som är elektriskt ihopkopplad med ingjuten stålarmering. Även en galvanisk påverkan från titan på det ingjutna kolstålet kunde konstateras. Korrosionsangreppen på armeringen är endast lokaliserade till genomgående defekter (blottlagda stålytor) i betongen.

Vid ihopkoppling av kolstål som exponerats i kloridhaltigt vatten ihopkopplat med ingjutet kolstål framgick det att korrosionshastigheten i vatten ökade med en faktor 2,5 jämfört med okopplat kolstål i kloridhaltigt vatten. Ingen inverkan på korrosionshastigheten hos ingjutet kolstål p.g.a. skillnader i betongens fukthalt (syrekonzentration) kunde konstateras vid utförda laboratorieundersökningar.

För att sänka korrosionshastigheten hos blottlagda armeringsytor har katodiskt skydd med påtryckt ström installerats i utloppet i en kylvattenkanal i Oskarshamn 3. Kontrollmätningar av skyddsförmågan hos det installerade katodiska skyddet som utförts av 3C (Corrosion Control Company) AB samt Swerea KIMAB visade att armeringens elektrokemiska potential kan sänkas ned till skyddspotential. Detta innebär att den galvaniska påverkan från rostfria luckor/titanrör kan kraftigt minskas på armeringen.

Vid användning av katodiskt skydd med påtryckt ström i kylvattenkanalens utlopp till Oskarshamn 3 utförs idag kontinuerlig datainsamling av potentialvärden. Om framtida läckströmmar av någon anledning skulle uppkomma så kan detta konstateras enkelt genom avläsning av de kontinuerligt insamlade potentialvärdena och lämpliga åtgärder kan vidtas.

Summary

In recent years extensive corrosion attack has been observed on steel reinforcement in various parts of the cooling water intakes in the Oskarshamn nuclear power plant and the Ringhals nuclear power plant. In this project (including phases I and II) the causes of the extensive corrosion damage on the steel reinforcement in cast concrete in the cooling water intakes of the nuclear power plants have been established. Appropriate measures for preventing continued corrosion have been proposed and tested in Oskarshamn 3 with very good results.

Studies conducted in the project have shown that rust deposits on concrete surfaces in coolant water channels are due to extensive corrosion attack on the steel reinforcement in exposed defects, such as through cracks and holes, in the concrete. Under the visible rust deposits on the concrete surface the reinforcement was in some cases completely free of damage, while in other cases it was heavily corroded. That the reinforcement is completely undamaged under the rust deposits is explained by the fact that iron ions, formed on the corroded steel reinforcement, have been deposited where the crack opens out into the water. The crack opening may be located in a radial direction with a certain distance from the point at which the corrosive attack occurs.

Contact measurements, taken during installation of cathodic protection in the coolant channel outlet at Oskarshamn 3, between the stainless steel hatches/titanium tubes from the condenser and the embedded reinforcement, showed that electric contact has been created between the steel reinforcement in cast concrete and stainless steel hatches (2).

Measurements of the electrochemical potential of reinforcement in the walls of coolant water channels at Oskarshamn 3 taken thus far have shown that the embedded reinforcement had abnormally high noble potentials. The noble electrochemical potentials that were continuously registered in the reinforcement over a period of two years in Oskarshamn 3 and over one year in Ringhals 3 are due to the fact that the steel reinforcement has electrical contact (intentional potential equalization) with the stainless steel hatches.

In the case of through cracks in concrete the surface area ratio between exposed reinforcement surfaces (small anode surfaces) and the noble metals such as stainless steel (large cathode surfaces) is very conducive to galvanic corrosion on steel reinforcement in the through cracks that are filled with water. The local corrosion rate in exposed steel surfaces is therefore very high.

It is highly probable that the high rates of corrosion noted locally in steel reinforcement in both the intake and outlet sections of the coolant channels are due to galvanic corrosion.

Continuous measurements of the potential gradient between two reference electrodes and of the electrochemical potential of the reinforcement in coolant water channels at Oskarshamn 3 have revealed no stray currents. When measuring the occurrence of stray currents outside the Oskarshamn nuclear power plant the earth potential difference per kilometer was measured at 0.3 V. However, the

ground potential difference is much less than 1.5 volt/km, measured on a previous occasion at Forsmark nuclear power plant (4).

The laboratory studies (conducted in both phases I and II) showed that the greatest galvanic impact on corrosion in carbon steel cast in concrete is caused by stainless steel that has been exposed to water and is electrically connected with embedded steel reinforcement. A galvanic influence of titanium on the embedded carbon steel could also be noted in laboratory studies. Corrosion attack on reinforcement is only localized to exposed defects (steel surfaces) in concrete.

When carbon steel exposed to chloride-bearing water was connected with embedded carbon steel it was evident that the corrosion rate increased by a factor of 2.5 compared with unconnected carbon steel in chloride-bearing water. No impact on corrosion rate in embedded carbon steel due to differences in moisture content in the concrete (oxygen concentration) could be observed in the laboratory studies conducted.

To reduce the corrosion rate on exposed reinforcement surfaces, impressed current cathodic protection has been installed in the outlet of a coolant channel in Oskarshamn 3. Measurements of the protective capacity of the installed cathodic protection performed by 3C (Corrosion Control Company) AB and Swerea KIMAB showed that the electrochemical potential of the reinforcement can be reduced to protective potential. This means that galvanic corrosion on reinforcement due to the presence of stainless steel hatches/tubes of titanium to condenser can be significantly reduced.

Now that impressed current cathodic protection has been installed in the outlet of the coolant channel in Oskarshamn 3, potential values are continuously recorded. If, for some reason, stray current should occur in future, this can be readily seen in the logged potential values and appropriate corrective measures can be taken.

Innehåll

1	Bakgrund	9
2	Syfte och mål	11
3	Metodik och utförande	12
3.1	Undersökningar utförda vid Oskarshamn 3	12
3.1.1	Mätningar av armeringens elektrokemiska potential och läckströmmar vid utlopp av kylvattenkanal	12
3.1.2	Katodiskt skydd av stålarmoring i utlopp till kylvattenkanal, Oskarshamn 3	13
3.1.3	Läckströmsmätningar i kylvattenkanal till utlopp för Oskarshamn 3	14
3.1.4	Läckströmsmätningar utförda vid Oskarshamn kärnkraftverk	15
3.2	Undersökningar utförda vid Ringhals 3	15
3.3	Laboratorieundersökning av inverkan luftningsceller	16
4	Resultat och diskussion	19
4.1	Undersökningar utförda vid Oskarshamn 3	19
4.1.1	Mätningar av armeringens elektrokemiska potential vid drift av katodiskt skydd samt potentialgradienten mellan referenselektrod P1 och P6 respektive P7	19
4.1.2	Mätning av förekomst av läckströmmar utanför Oskarshamn kärnkraftverk	20
4.1.3	Utvärdering av provinstallation av katodiskt skydd med påtryckt ström i kylvattenkanal till utlopp för Oskarshamn 3	22
4.1.4	Fullskalig installation av katodiskt skydd med påtryckt ström i Oskarshamn 3	22
4.2	Undersökningar utförda vid Ringhals 3	23
4.2.1	Mätningar av armeringens elektrokemiska potential vid drift av katodiskt skydd i Ringhals 3	23
4.3	Laboratorieundersökningar av inverkan av luftningceller på kolstål	24
5	Slutsatser och rekommendationer	27
6	Referenser	28

1 Bakgrund

I projektets etapp I som avslutades i december 2016 har en kartläggning gjorts av de omfattande lokala korrosionsangrepp som påträffades vid tillståndsbedömningar av betongytor i olika delar av kylvattenvägarna i Oskarshamn 3 och Ringhals 3 (1).

Undersökningarna från etapp I visade att rostutfällningar på betongytor i kylvattenkanaler beror på omfattande korrosionsangrepp på armeringsstålet. Bakom de synliga rostutfällningarna på betongytan var i vissa fall armeringen helt oskadad och i andra fall helt bortkorroderad. Anledning till att armeringen är helt oskadad under rostutfällningarna är att de bildade järnjoner vid den korroderande armeringen har fällts ut där den genomgående sprickan mynnar ut i vattnet. Sprickans mynning kan sålunda vara placerad långt ifrån armeringens angreppställe. I de flesta fall är dock angreppen lokaliserade direkt bakom rostutfällningarna(1).



Figur 1. Exempel på utseendet av korrosionsskador hos frambildad stålarmering i kylvattenvägar (1)

De höga korrosionshastigheterna som konstaterats lokalt på stålarmeringen i både in- och utloppsdelarna till kylvattenkanalerna är med stor sannolikhet orsakade av galvanisk korrosion eller av läckströmmar. Inga mätningar av läckströmmar gjordes i etapp I vilket innebar att de fortsatta undersökningarna i etapp II var inriktade på att undersöka förekomst läckströmmar i kylvattenvägarna. Resultaten från potentialmätningarna av armeringens elektrokemiska potential i kylvattenvägarna i Oskarshamn 3 visade att den ingjutna armeringen hade onormalt ädla potentialer. De ädla elektrokemiska potentialerna som kontinuerligt registrerats hos armeringen under ett år beror med stor sannolikhet på att stålarmeringen har elektrisk kontakt (avsiktlig potentialutjämning) med rostfria luckor(1).

De omfattande korrosionsangreppen är alltid lokaliserade vid sprickor och defekter som blottlägger armeringen i betongen vilket innebär ett ogynnsamt areaförhållande mellan blottlagda armeringsytor (små anodytor) och de ädla metallerna såsom rostfritt stål och titan (stora katodytor). Detta är mycket gynnsamt för uppkomsten av omfattande galvanisk korrosion på stålarmeringen i de genomgående och vattenfyllda sprickorna. Den lokala korrosionshastigheten i blottlagda ståltytor är sålunda mycket hög (1).

I etapp I utfördes också kontrollerade laboratorieförsök för att fastställa den galvaniska inverkan av rostfritt stål och titan i kloridhaltigt vatten på ingjutet armeringsstål. Resultaten från undersökningarna visade att korrosionshastigheten hos ingjutet kolstål ökade med en faktor 10 vid en ihopkoppling med titan jämfört med okopplad ingjutet kolstål i betong. Vid i hopkoppling av ingjutet kolstål med rostfritt stål i kloridhaltigt vatten ökade korrosionshastigheten hos ingjutet kolstål med en faktor 20 jämfört med okopplat kolstål i betong (1).

Från resultaten i etapp I av de hittills registrerade armeringspotentialerna i kylvattenkanalerna går det inte att fastställa om armeringen är påverkad av läckströmmar.

En provinstallation av katodiskt skydd har gjorts med påtryckt ström för att skydda stålarmeringen mot framtida korrosionsangrepp i kylvattenkanalerna i Oskarshamn 3 genomförts i projektet etapp I. Provinstallationen utfördes av 3C (Corrosion Control Company) AB. Resultaten från de inledande undersökningarna i etapp I visade att armeringens elektrokemiska potential kan sänkas ned till skyddspotential, vilket innebär en sänkning av korrosionshastigheten.

De korrosionsprodukter som hade fällts ut på betongytan (troligtvis $\text{Fe}(\text{OH})_2$) hade både en svart och mörkbrun nyans, där den svarta korrosionsprodukten dominerade. När svart- och brunfärgade korrosionsprodukter bildas på armeringsytan innebär det i de flesta fall att syrehalten har varit låg vid armeringen, vilket oftast resulterat i en låg korrosionshastighet hos armeringen. Eftersom de undersökta betongytorna i kylvattenvägarna har varit placerade under vattenytan torde betongen vara vattenmättad med en låg syrehalt vid armeringen. Den låga syrehalten vid armeringen borde i normalfallet innebära en låg korrosionshastighet även vid höga kloridhalter vid armeringen.

Vid tömning av kylvattenvägarna på vatten så omvandlades de svartfärgade korrosionsprodukterna till rödfärgade korrosionsprodukter. Detta tyder också på att de svartfärgade korrosionsprodukterna består av $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Denna korrosionsprodukt är instabil och reagerar med syre och bildar rödrost (FeOOH).

2 Syfte och mål

Syftet med projektets etapp II är att fastställa hur stor inverkan eventuella läckströmmar och luftningsceller har på de omfattande lokala korrosionsangreppen som konstaterats vid i olika delar av kylvattenkanalerna i Oskarshamn 3 och Ringhals 3. Målet med etapp II är avsevärt minska pågående armeringskorrosion i kylvattenkanalerna genom att använda katodiskt skydd med påtryckt ström.

3 Metodik och utförande

För att fastställa korrosionsorsaken till de omfattande korrosionsangreppen hos kylvattenvägarna utfördes korrosionsundersökningar i både Oskarshamn 3 och Ringhals 3 samt korrosionsprovningar på laboratorium i Swerea KIMAB.

I etapp II har fortsatta kontinuerliga potentialmätningar utförts vid en av kylvattenkanalens utlopp i Oskarshamn 3 och i ett betongschakt i anslutning till utloppet till kondensorn vid Ringhals 3.

En utvärdering av skyddseffektiviteten och robustheten efter ca ett års drift av provinstallationen av katodiskt skydd med påtryckt ström har genomförts (2). Under etapp II har även en fullskalig installation av katodiskt skydd med påtryckt ström genomförts på en kylkanalsvägg på utloppssidan i Oskarshamn 3.

I etapp II har även kontrollerade laboratorieförsök genomförts i avsikt att undersöka inverkan av luftningsceller i betongkonstruktioner med olika syrehalt i betongen.

3.1 UNDERSÖKNINGAR UTFÖRDA VID OSKARSHAMN 3

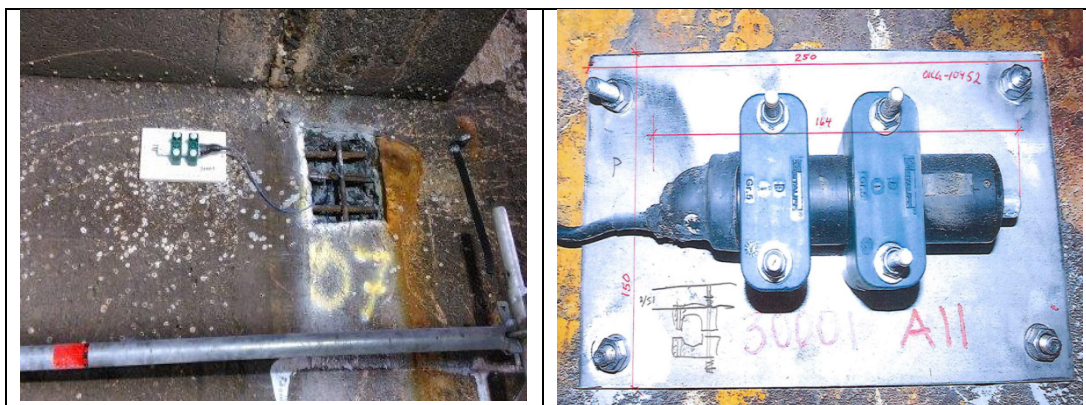
3.1.1 Mätningar av armeringens elektrokemiska potential och läckströmmar vid utlopp av kylvattenkanal

För att fastställa om korrosionsorsaken till de omfattande korrosionsangreppen hos Oskarshamn 3:s kylvattenkanalsväggar beror på galvanisk korrosion eller av läckströmskorrosion utfördes kontinuerliga mätningar av den ingjutna stålarmeringens elektrokemiska potential (korrosionspotential).

Potentialmätningarna genomfördes under drift i utloppet vid en kylvattenkanal i Oskarshamn 3 med sju referenselektroder av zink monterade av 3C (Corrosion Control Company). Referenselektroderna placerades på olika avstånd från kondensorn. De potentialvärden som uppmättes med de sju referenselektroder från 3C registrerades kontinuerligt (varannan timme) i en datalogger som är placerat på den torra sidan av kylvattenvägen. Fördelen med detta insamlingssystem är att potentialvärdena kan avläsas momentant. I samma kylvattenkanal, fast på motsatt väggsida som 3C (Corrosion Control Company) AB har installerat sina referenselektroder av zink, har Oskarshamn 3 installerat åtta potentialloggrar märkta med D1 upptill D8, **figur 2**. Potentialloggrarna har kontinuerligt registrerat potentialvärden varannan timme från den 14 juni 2016 fram till den 29 augusti 2017.

För de sju referenselektroder av zink som installerats av 3C (Corrosion Control Company) AB gjordes kontinuerliga potentialmätningar under mätperioden från 21 september 2016 till 24 januari 2017. Under denna mätperiod mättes både den armeringens elektrokemiska potential och potentialgradienten mellan referenselektrod P1 och P6 samt referenselektrod P1 och P7. Dessa referenselektroder var placerade så långt ifrån varandra som möjligt. Syftet med potentialgradientmätningarna var att undersöka förekomsten av läckströmmar i kylvattenkanalens utloppsdel.

I **figur 2** visas en av åtta potentialloggrarna som placerats i utloppet till en kylvattenkanal i Oskarshamn 3



Figur 2. Exempel på en monterad potentiallogger med inbygg referenselektrod av zink. Potentialloggrarna är monterade på utloppssidan i en kylvattenkanal till Oskarshamn 3.

3.1.2 Katodiskt skydd av stålarmering i utlopp till kylvattenkanal, Oskarshamn 3

Före installationen av det katodiska skyddet gjordes en kontroll av armeringskontinuitet och elektrisk kontakt med rostfria luckor, pumpar, etc. Det konstaterades att samtliga rostfria detaljer och titanrör till kondensorn var i elektrisk kontakt med den ingjutna armeringen.

Eftersom det inte är möjligt att bryta den elektriska kontakten och därmed eliminera den galvaniska korrosionsströmmens väg från blottlagda stálytor i betongen in till kondensorns titanrör, rostfria pumparna/luckorna/galler utfördes en provinstallation av katodiskt skydd med påtryckt ström. Efter att provinstallationen hade utvärderats med avseende på skyddsförmåga och robusthet (3) utfördes en fullskalig installation av katodiskt skydd med påtryckt ström (i etapp II). Provinstallationen gjordes av 3 C (Corrosion Control Company AB) och är beskrivet i en förstudierapport som lämnats till Oskarshamn kärnkraftverk i augusti 2016 (2).

I juni-augusti 2017 gjordes en fullskalig installation av katodiskt skydd med påtryckt ström av en kylvattenkanalsvägg till utloppet för Oskarshamn 3. Denna installation är kort beskriven i förstudierapporten (2).

Vid den fullskaliga installationen av det katodiska skyddet med påtryckt ström används titanband belagda med MMO (mixed metal oxide). Strömutmatningen från likriktarna är potentialstyrd, vilket innebär att strömutmatningen bestäms av armeringens skyddspotential som kontinuerligt mäts med hjälp av zinkreferenselektroder. Samtliga likriktare är placerade i ett mätskåp som ligger i ett utrymme på utsidan av kylvattenkanalen.

Vid den fullskaliga katodiska skyddsinstallationen skyddas i princip hela kylvattenkanalens utlopp mot armeringskorrosion. I den fullskaliga installationen ingår totalt:

- 74 st titanbandanoder (MMO) (ca 1 meter långa monterade med plastskruvar på en plastskiva som i sin tur är monterad på betongväggen).
- 26 st referenselektroder av zink (används för att kontrollera skyddsförmågan).
- 8 st nätanslutna likriktar- och transformatorenheter (Strömutmatningen från likriktarna är potentialstyrda).
- Anod- och katodkablar är placerade i skyddsrör av plats (skyddsröret används för att hindra nötningsskador på anod- och katodkablarna).

Vid katodiskt skydd av konstruktioner i vatten tillämpas nästan uteslutande ett fast värde hos konstruktionens elektropotential, så kallad skyddspotential, som kriterium för ett fullständigt skydd har uppnåtts. Vilken skyddspotential som skall tillämpas för skydd av betongkonstruktioner i vatten anges i svensk standard SS-EN 12954. Skyddspotentialen måste mätas enligt en viss procedur för att man ska kunna undvika att det uppstår ett speciellt mätfel, som förfalskar det avlästa potentialvärdet. Mätfelet, det så kallade IR-fallet, är ett elektriskt spänningsfall i vatten eller i vattenmättad betong som orsakas av flödet av katodiskt skyddsström (I) och betongens resistans (R). Mäts skyddspotentialen under det att skyddsströmmen flyter adderas IR-fallet till den egentliga skyddspotentialen. Vid mätning måste därför IR-fallet elimineras så att man mäter en IR-fri skyddspotential, (E_{off}). Ett vanligt sätt att mättekniskt eliminera IR-fallet är att bryta skyddsströmmen tillfälligt och registrera potentialen inom en bråkdel av en sekund efter den tillfälliga strömbrytningen. IR-fallet upphör omedelbart efter brytningen, och man mäter en IR fri och sann potential. Man får dock inte vänta med potentialregistreringarna flera sekunder efter strömbrytning. Då hinner nämligen potentialen stiga mot mindre negativa värden, vilket ger en felaktig skyddspotential. Hur IR-fallet ska elimineras från uppmätt skyddspotential beskrivs i svensk standard SS-EN 13509. För att uppnå ett fullgott katodiskt skydd bör den IR-fria potentialen (E_{off}) ligga mellan 0 och 250 mV relativt zinkelektroden. Kontrollmätningar av skyddsförmågan hos det katodiska skyddet görs av personal från Oskarshamn 3 inom kärnkraftverkets område. Kontrollmätningar får inte göras via dator från utsidan av kärnkraftverkets område.

3.1.3 Läckströmsmätningar i kylvattenkanal till utlopp för Oskarshamn 3

När det gäller att undersöka om en vattenmättad betongkonstruktion är utsatt för läckströmmar görs ofta kontinuerliga mätningar av armeringens elektrokemiska potential vid på och avstängning av likströmskällor. I detta fall är det inte möjligt att reglera den eventuella strömkällan.

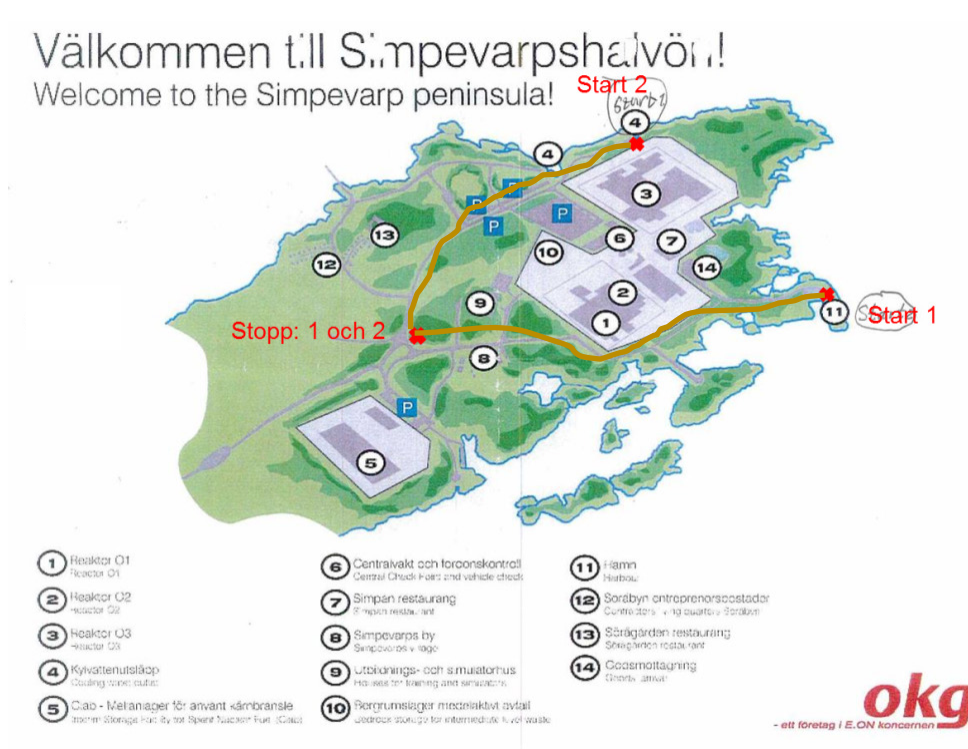
Om det förekommer stora läckströmmar i kylvattenkanalerna är det möjligt att mäta dessa genom att mäta potentialgradienten mellan två referenselektroder under drift av kärnkraftverket. En sådan mätning har genomförts i en kylvattenkanal till utloppet till Oskarshamn 3 under perioden 11 november 2016 till den 24 januari 2017.

Vid stora förändringar av armeringens elektrokemiska potential eller stora skillnader i potentialgradient mellan två referenselektroder i kylvattenkanalen innebär det att konstruktionen är utsatt för läckströmmar. Vid förekomst av

läckströmmar sker de största potentialförändringarna i in- och utläkningsområden (t ex defekter i betongen som blottlägger armeringsstålet).

3.1.4 Läckströmsmätningar utförda vid Oskarshamn kärnkraftverk

För att undersöka om det förekommer läckströmmar i nära anslutning till Oskarshamn kärnkraftverk utfördes potentialgradientsmätningar på båda sidor om kärnkraftverket. Genom att manuellt mäta potentialskillnaden mellan två referenselektroder av mättad Cu/CuSO₄ som trycks mot markytan och som förflyttas längs med kärnkraftverket kan eventuellt förekomst av läckströmmar konstateras, **figur 3**. Om det inte förekommer läckströmmar under markytan kommer potentialskillnaden mellan två elektroder vara ca 0 mV. Avståndet mellan elektroderna var ca 50 meter och mätsträckan var ca 1100 meter längs med kärnkraftverket. Mätningarna utfördes på två sidor om Oskarshamn kärnkraftverk, **figur 3**.



Figur 3. Två mätsträckor för mätningar av potentialgradienten mellan två referenselektroder av mättad Cu/CuSO₄ utesluter Oskarshamn kärnkraftverk.

3.2 UNDERSÖKNINGAR UTFÖRDA VID RINGHALS 3

Två potentialloggrar installerades i Ringhals 3 med dykare under september månad 2016. Loggrarna registrerar kontinuerligt varannan timme armeringens elektrokemiska potential. Loggrarna (logger 1 och 2) är placerade i turbinbyggnaden i ett dränageschakt i anslutning till utloppet till kondensorn. Installationen av potentialloggrarna gjordes med dykare under september månad

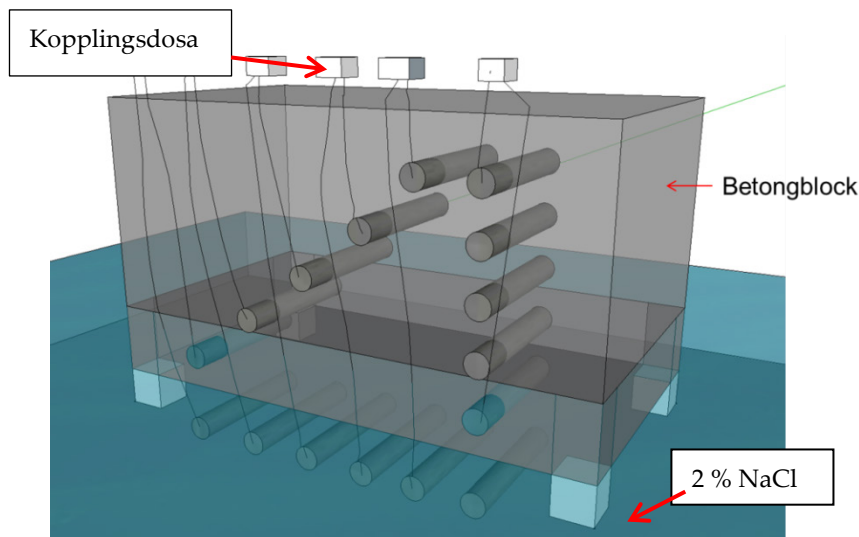
2016 varvid mätningarna påbörjades den 21 september och avslutades den 12 juni 2017.

3.3 LABORATORIEUNDERSÖKNING AV INVERKAN LUFTNINGSCELLER

Normalt är korrosionshastigheten för stål högre i miljöer med god syretillgång. I en luftningscell korroderar emellertid stålytan med en lägre syrehalt i första hand. En koncentrationscell kan bildas t ex för ett armeringsstål ingjutet i betong som står delvis i vatten och delvis i luft (t ex kylvattenkanalvägg). Den skillnad i potential som uppkommer mellan armeringsytan med god syretillgång i välluftad betong (katod) och armeringsytan med mindre god syretillgång i vattenmättad betong(anod) kan ge upphov till en luftningscell. På armeringsstålet leder den uppkomna luftningscellen till en minskning av korrosionshastigheten på katodytan (hög syrehalt) och en ökning av korrosionshastigheten i vattenmättad betong (låg syrehalt). Luftningsceller kan även förekomma i håligheter i betong som delvis fylls med vatten p.g.a. lokala syrekonzentrationsceller som bildas omkring vätskemenisken i håligheten.

För att undersöka inverkan av luftningsceller på korrosionshastigheten hos kolstål ingjutet i betong genomfördes kontrollerade provningar på laboratorium vid en temperatur av ca 20-22 °C och en relativ fuktighet som varierar mellan 30 och 45 %. Vid provningarna simulerades faktiska förhållanden genom att koppla ihop provstänger av kolstål ingjutna i betong med olika avstånd från vattenytan (olika syrehalt, dvs olika korrosionspotentialer) med provstänger av kolstål i vatten eller i betong med hög fukthalt. Vid låga korrosionspotentialer hos passiverade provstänger av kolstål innebär det att syrehalten är låg vid provstängerna och vid mer positiva potentialer så ökar syrehalten vid provstängerna i betongen. Vid ihopkoppling mellan olika provstänger exponerade i vatten och ingjutna i betong med olika avstånd från vattenytan uppkommer troligtvis luftningsceller som ger upphov till en korrosionsström. Korrosionsströmmen mättes ca en gång i veckan med en nollresistansamperemeter och omräknades till en korrosionshastighet uttryckt i $\mu\text{m}/\text{år}$.

I **figur 4** visas en schematisk beskrivning av försöksuppställningen innan mätning av korrosionsström görs med en nollresistansamperemätare.



Figur 4. Schematisk skiss av provuppställning för undersökning av luftningsceller mellan ingjutet kolstål och kolstål i vatten samt mellan ingjutet kolstål med olika avstånd från vattenytan.

Som provstänger användes rundstång av kolstål av stålqualiteten S235JR från Ståldepån AB. Provstängernas har en diameter av 12 mm och en längd av 280 mm. I **tabell 1** visas den kemiska sammansättningen hos provstängerna.

Tabell 1. Kemisk sammansättning av provstänger av kolstål (mass-%)

C	Mn	P	S	N	Cu
0,17	1,40	0,035	0,035	0,12	0,55

Vid tillverkning av betongblocket med ingjutna provstänger av kolstål användes anläggningscement från Weber Saint-Gobain. I **tabell 2** visas sammansättningen hos 10 kg betongblandning.

Tabell 2. Sammansättning av 10 kg betongblandning vid ett vct av 0,45

Innehåll	Massa i kg
Anläggningscement OPC C45/55 (CEM I)	1,75
Ballast	
Sand 0-0,5 mm	2,5
Sand 0,5-1,0 mm	0,6
Sand 1,0-2,0 mm	1,125
Sand 2,0-4,0 mm	4,0
Blandvatten	0,7875

Den korrosionsström (makrocellström) som uppkommer dels mellan ihopkopplade betongingjutna provstänger med olika fukthalt och provstänger av kolstål helt nedsänkta i vatten mättes med en nollresistansamperemeter.

Mätningar av korrosionsström mellan två ingjutna provstänger med olika avstånd från vattenytan har också genomförts.

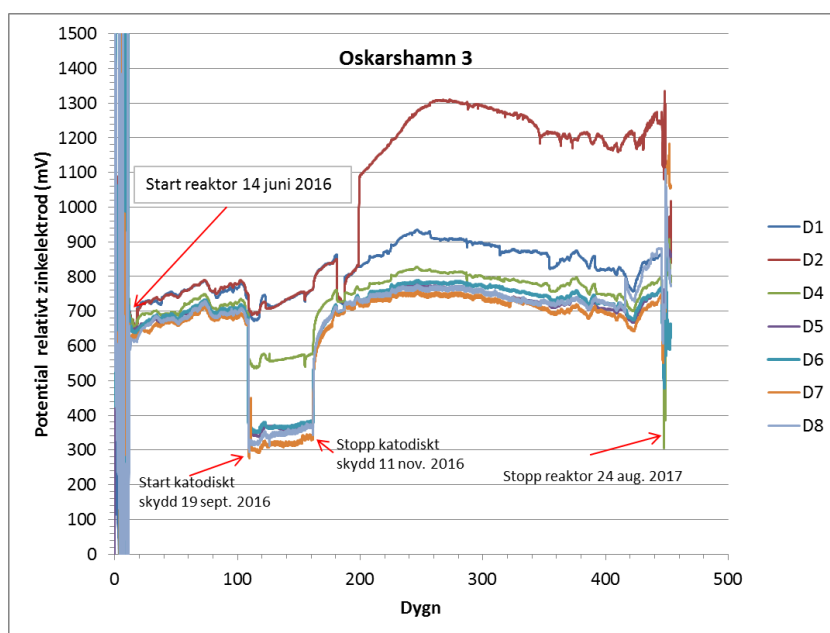
Efter 99 dygns exponering slogs betongblocket isär och provstängernas korrosionsutseende och korrosionshastighet utvärderades. Korrosionshastigheten utvärderades genom massförlustbestämning. Massminskningen (massförlusten) på grund av korrosionen bestämdes genom att provstängerna vägdes före exponeringen och vid exponeringens slut, efter det att provstängerna rengjorts från korrosionsprodukter och betongrester. Detta görs genom en upprepad betning i Clarks lösning (20g/l Sb_2O_3 och 60 g/l $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ i koncentrerad HCl) vid rumstemperatur. Vid beräkning av kolstålstängernas korrosionshastighet användes densiteten 7800 kg/m³.

4 Resultat och diskussion

4.1 UNDERSÖKNINGAR UTFÖRDA VID OSKARSHAMN 3

4.1.1 Mätningar av armeringens elektrokemiska potential vid drift av katodiskt skydd samt potentialgradienten mellan referenselektrod P1 och P6 respektive P7

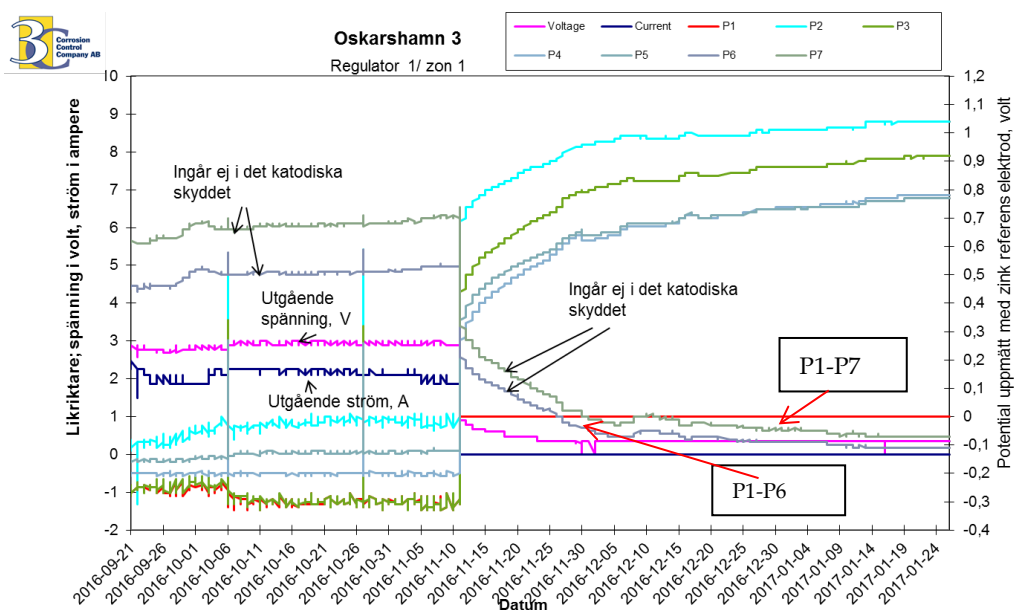
I **figur 5** visas resultaten från de kontinuerliga mätningarna av armeringens elektrokemiska potential uppmätt med sju potentialloggrar placerade på utloppssidan i en kylvattenkanal i Oskarshamn 3 som funktion av tiden. Potentiallogger D3 hade slutat att fungera och inga mätvärden hade registrerats. Under perioden 2016-09-19 och 2016-11-11 var provinstallationen av det katodiska skyddet i drift. Det framgår att armeringens elektrokemiska potential sjönk kraftigt vid potentialloggrarna D4-D8. Potentialloggrarna D1 och D2 påverkades inte av det katodiska skyddet. Anledningen till detta var att potentialloggrarna D1 och D2 var placerade högt upp i det vertikala schaktet i närheten av att av utloppen till kondensorrören. Denna placering innebar allt för stort avstånd till den närmast belägna strömutmatande anoden. I den senare utförda fullskaliga installationen placerades en anod i schaktet i närheten av kondensorrören.



Figur 5. Resultat från kontinuerliga mätningar av armeringens elektrokemiska potential relativt som funktion av tiden vid utloppsidan i en av kylvattenkanalerna i Oskarshamn 3.

I samband med avstängningen av det katodiska skyddet påbörjades kontinuerliga mätningar av potentialgradienterna mellan zinkreferenselektroden P1 och P6 samt P1 och P7. Syftet med mätningarna var att undersöka förekomsten av läckströmmar i utloppet hos kylvattenkanalerna. Läckströmsmätningarna påbörjades när det katodiska skyddet stängdes av den 11 november 2016. I **figur 6**

visas resultaten från mätningarna av potentialgradienterna mellan P1 och P6 respektive P1 och P7 efter avstängning av det katodiska skyddet. Som framgår av **figur 6** uppmättes inga större potentialskillnader mellan P1 och P6 samt mellan P1 och P7, vilket innebär att inga läckströmmar kunde konstateras i utloppet i kylvattenkanalerna. Vid avstängning av det katodiska skyddet 11 november 2016 steg den elektrokemiska potentialen långsamt mot mera positiva värden (P2-P5). Inga snabba potentialförändringar kunde konstateras efter avstängningen. Den utmatade strömmen (utgående ström) var ca 2 ampere vid drift av det katodiska skyddet och likriktarens utmatade spänning (utgående spänning) var ca 3 volt.



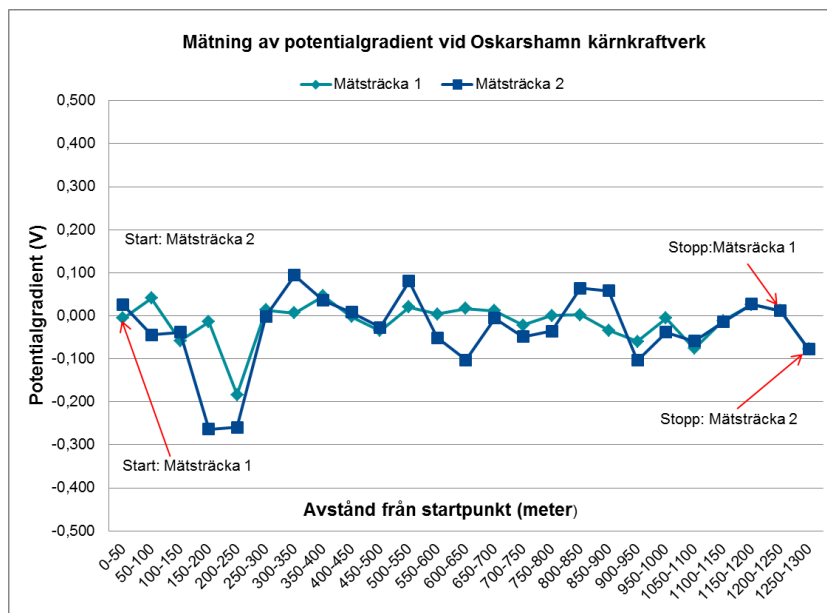
Figur 6. Resultat från kontinuerliga mätningar av den ingjutna stålarmeringens elektrokemiska potential (med och utan strömutmätning) och potentialgradienten mellan referenselektroderna P1-P6 och P1-P7 som funktion av tiden i utloppssidan i en av kylvattenkanalerna i Oskarshamn 3.

4.1.2 Mätning av förekomst av läckströmmar utanför Oskarshamn kärnkraftverk

I **figur 7** visas resultat från mätningar av potentialgradienterna i mark som genomförts utanför Oskarshamns kärnkraftverk. Mätningarna genomfördes den 29 augusti 2017 med två referenselektroder av mättad Cu/CuSO₄ med ett avstånd av 50 meter. För mätsträcka 1 startade mätningarna i hamnen och för mätsträcka 2 startade mätningarna vid utloppet av Oskarshamn 3. De båda mätsträckornas längd var ca 1200 meter lång.

Från potentialgradientmätningarna i mark i nära anslutning till Oskarshamn kärnkraftverk beräknades potentialgradienten genom att summera alla potentialgradienter för en sträcka av 50 meter. Summan av samtliga uppmätta potentialgradienterna i mark per 50 meterslängd i mark beräknades till ca 0,3 V/km. Vid t ex Forsmark kärnkraftverk uppmättes en potentialgradient i mark till 1,5 V/km, vilket är betydligt högre än vad som uppmätts vid Oskarshamn kärnkraftverk (4). Detta betyder att vid detta måttillfälle var inverkan från

eventuellt främmande likströmmar betydligt mindre vid Oskarshamn kärnkraftverk än vid Forsmark kärnkraftverk.



Figur 7. Resultat från mätningar av potentialgradienten som funktion av mätsträcka utanför Oskarshamn kärnkraftverk

Det svårt att fastställa var ifrån dessa uppmätta potentialgradients i mark kommer ifrån. En möjlig förklaring skulle kunna vara en inverkan från likströmsöverföringen (Gotlandskabeln) mellan Västervik och Gotland. Idag är denna likströmsöverföring dock bipolär vilket innebär en betydligt mindre påverkan än om den hade varit monopolär (1). Vid reparationer och vid andra störningar av likströmsöverföringen kan dock likströmsöverföringen användas under kortare tider monopolärt, vilket skulle kunna innebära en större påverkan. När det gäller likströmsöverföringen mellan Sverige och Finland som är placerad ca 25 km från Forsmark kärnkraftverk har denna likströmsöverföring under vissa perioder använts monopolärt, vilket inneburit en större påverkan på Forsmark kärnkraftverk. Vid normaldrift är sålunda de båda likströmsöverföringarna bipolära, vilket innebär en liten eller en försumbar påverkan på de båda kärnkraftverken.

Det bör dock poängteras att inga läckströmmar har konstaterats i utloppet till kylvattenkanalen i Oskarshamn 3.

Eftersom det installerade katodiskt skyddet i Oskarshamn 3 är potentialstyrt och mätvärden registreras kontinuerligt innebär det att om det skulle förekomma framtida stora läckströmmar så kommer likriktarna att anpassa strömutmatningen till eventuella läckströmmar. Eftersom samtliga potentialvärden mäts kontinuerligt och sparas i ett datainsamlingssystem är det möjligt att kontrollera eventuell förekomst av läckströmmar och därefter vidta lämpliga åtgärder.

4.1.3 Utvärdering av provinstallation av katodiskt skydd med påtryckt ström i kylvattenkanal till utlopp för Oskarshamn 3

Vid inspektion och bedömning av robustheten hos provinstallationen med katodiskt skydd av olika delar efter ca tre månaders drift i en kylvattenkanal till utloppet för Oskarshamn 3 framgick det att samtliga anoder, referenselektroder och kabelskyddsror var fastsatta, men en viss rörlighet konstaterades hos de kabelskyddsror (skyddar anod- och katodkablar mot mekanisk påverkan) som var placerade närmast kondensorn. På de delar av den dubbelisolerade gummikabeln som inte var skyddad av kabelskyddsroren (kabelskarvar) utan i direktkontakt med det rinnande vattnet konstaterades små nötningsskador på ytterhöljet. Några plastmuttrar för fastsättning av kabelskyddsror, anoder, referenselektroder hade delvis förlorat spännkraften. Inga rostutfällningar kunde konstateras på den katodiskt skyddade betongväggen (3).

4.1.4 Fullskalig installation av katodiskt skydd med påtryckt ström i Oskarshamn 3

Efter att provinstallationen robusthet utvärderats utfördes en fullskalig installation av katodiskt skydd med påtryckt ström i en kylvattenkanal till ett utlopp i Oskarshamn 3.

Efter ca tre månaders drift gjordes en kontrollmätning av det katodiska skyddets skyddsförmåga. I **tabell 3** visas resultat från mätningar av likriktarnas utmatade spänningar och strömmar samt skyddsförmågan efter tre månaders drift av det katodiska skyddet.

Vid en god skyddsförmåga bör den IR-fria potential, Eoff (skyddspotential) ligga mellan 0 och 0,25 volt relativt zinkelektroden. Det framgår av resultaten i **tabell 3** att 12 av 23 uppmätta mätvärden av de IR-fria potentialerna (Eoff) är mer positiva än 0,25 volt relativt zinkelektroden och sex mätvärden är mer negativa än 0 volt relativt zinkelektroden. Vid mätvärden > 0,25 volt relativt zinkelektroden innebär en något minskad skyddsförmåga. Vid mätvärden < 0 volt relativt zinkelektroden innebär att strömutmatningen är något för hög och bör justerats nedåt. Efter kontrollmätningen efter tre månaders drift av det katodiska skyddet utfördes en finjustering av strömutmatningen. Efter ytterligare 3 månaders drift görs en kontroll av skyddsförmågan. Idag kontrolleras kontinuerligt det katodiska skyddet av personal från Oskarshamn 3. Vid varje kontroll görs, om det behövs, en finjustering av strömutmatningen.

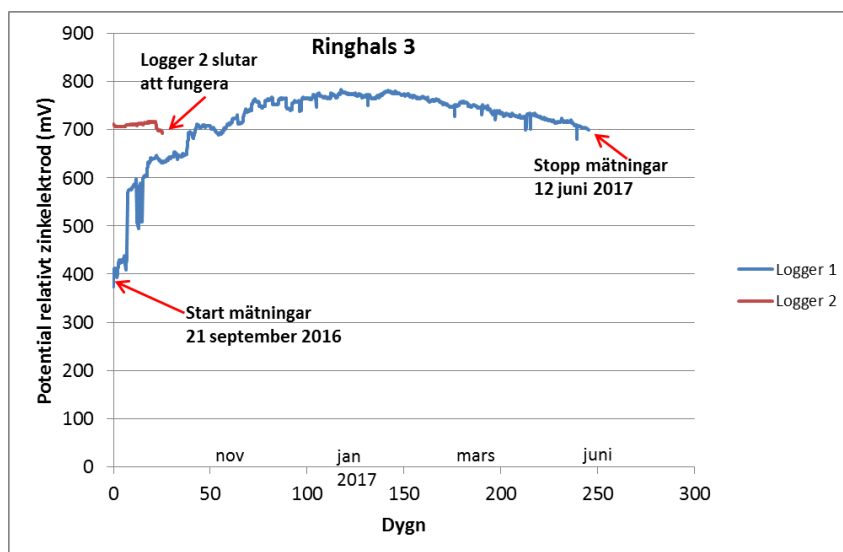
Tabell 3. Kontrollmätning av skyddsförmågan hos det fullskaliga katodiska skyddet i utloppet hos kylvattenkanalen i Oskarshamn 3

Likriktare	Utmatad ström från likriktare	Utmatad spänning	Potential rel. Zn-elektrod, Eon	Potential rel. Zn-elektrod, Eoff
(nr.)	(ampere)	(volt)	(volt)	(volt)
1	2,5	5,5	-0,51 -0,51	0,31 0,31
2	2,7	5,5	-0,50 -0,51	0,32 0,24
3	2,3	5,4	-0,51 -0,51	0,30 0,29
4	2,6	5,6	-0,50 -0,51	0,28 0,28
5	2,7	5,8	-0,50 -0,50	0,28 0,28
6	2,1	3,6	-0,50 -0,21 -0,49	0,14 0,39 0,15
7	1,1	2,2	-0,24 -0,22 -0,20 -0,13 -0,13 -0,13	-0,04 -0,06 -0,06 -0,02 -0,02 0
8	13,2	3,6	-0,14 0,10 0,22 -0,20	-0,2 0,31 0,44 0,20

4.2 UNDERSÖKNINGAR UTFÖRDA VID RINGHALS 3

4.2.1 Mätningar av armeringens elektrokemiska potential vid drift av katodiskt skydd i Ringhals 3

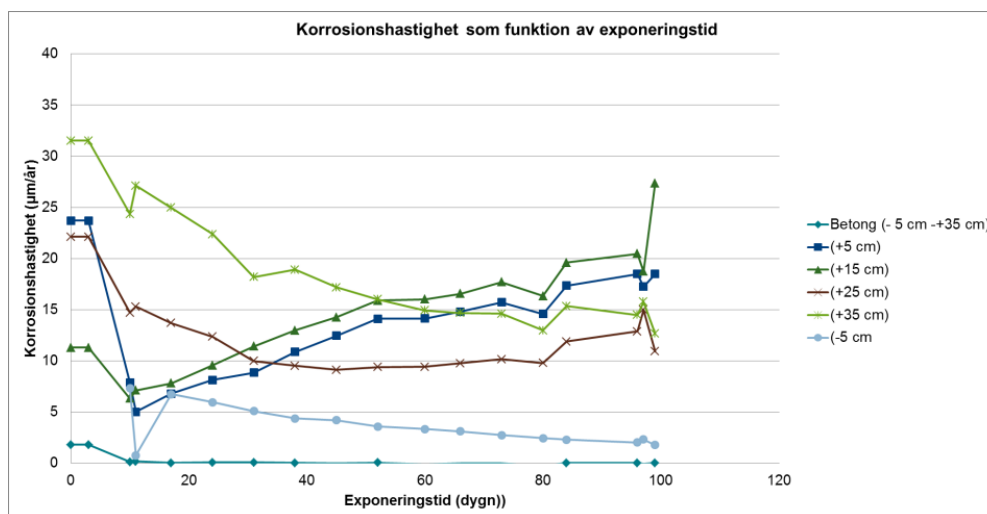
I **figur 8** visas resultat från kontinuerliga mätningarna av elektrokemisk potential mellan 21 september 2016 och 12 juni 2017. Det framgår av resultaten i **figur 8** att logger 2 slutade fungera den 16 oktober 2016. Logger 1 som är placerad närmast kondensorn hade fungerat under hela exponeringstiden. Placeringen av loggrarna i dränageschaktet kan ses i figur 3. Det framgick vidare av resultaten från potentialvärdena att dessa är relativt ädla under exponeringstiden. Uppmätta potentialvärden relativt zinkelektroden varierade från ca 400 mV upp till ca 750 mV under mätperioden. Normala potentialvärden för ingjuten armering i vattenmättad betong är ca 500 mV relativt zinkelektroden. Den positiva potentialen som uppmäts är med stor sannolikhet orsakad av att armeringen är ihopkopplad med rostfria pumpar/luckor och titanrör till kondensorn.



Figur 8. Resultat från kontinuerliga mätningar av elektrochemisk potential mellan 21 september 2016 och 12 juni 2017 i Ringhals 3.

4.3 LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR AV INVERKAN AV LUFTNINGCELLER PÅ KOLSTÅL

I figur 9 visas kontinuerliga mätningar av korrosionsströmmen utförda med en nollresistansmätare, mellan provstänger av kolstål i kloridhaltigt vatten som är ihopkopplade med provstänger av kolstål i betong. Den uppmätta korrosionsströmmen är omräknad till en korrosionshastighet uttryckt i $\mu\text{m}/\text{år}$. I figur 9 visas även resultat från kontinuerliga mätningar av korrosionsströmmen med en nollresistansmätare mellan en provstång av kolstål som är placerad i betong 5 cm under vattenytan och en provstång placerad i betong 35 cm ovanför vatten ytan. Den uppmätta korrosionsströmmen är omräknad till en korrosionshastighet uttryckt i $\mu\text{m}/\text{år}$.



Figur 9. Resultat från mätningar korrosionshastighet mellan provstänger i vatten och ingjutna provstänger av kolstål som är placerade på olika höjd från vattenytan.

Som framgår av resultaten i **figur 9** så är det inte möjligt att mäta en korrosionsström uttryckt i $\mu\text{m}/\text{år}$ mellan ingjutna provstänger som är placerade 5 cm under vattenytan och 35 cm ovanför vattenytan. Detta innebär att skillnaden i syrehalt i betongen mellan de båda provstängerna inte är tillräckligt stor för att bilda en effektiv luftningscell i betongen

Däremot uppmättes en relativ hög korrosionsström mellan provstänger av kolstål exponerade i vatten och som är ihopkopplade med ingjutna provstänger av kolstål med olika avstånd från vattenytan. Det framgår av resultaten i **figur 11** att den högsta uppmätta korrosionshastigheten mellan provstänger i vatten och provstänger ingjutna i betong var på provstänger av kolstål i vatten som är ihopkopplade med ingjutna provstänger med ett avstånd av 35 cm från vattenytan (ca $32 \mu\text{m}/\text{år}$). Den lägsta korrosionshastigheten uppmättes mellan provstänger i vatten och ingjutna provstänger som var placerade under vattenytan (ca $4 \mu\text{m}/\text{år}$).

I **tabell 4** visas korrosionshastigheten hos provstänger av kolstål som exponeras i vatten ihopkopplade med ingjutna provstänger som är placerade på olika avstånd från vattenytan. Korrosionshastigheten har bestämts efter avslutad exponering genom att avlägsna de bildade korrosionsprodukterna genom betning. Den uppkomna massförlusten efter betning ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$) omräknades till en korrosionshastighet uttryckt i $\mu\text{m}/\text{år}$.

Korrosionshastigheterna hos de två okopplade provstänger av kolstål exponerade i kloridhaltigt vatten uppmättes till 28,4 respektive 27,8 $\mu\text{m}/\text{år}$. Vid ihopkoppling av provstänger av kolstål exponerade i 99 dygn i kloridhaltigt vatten med ingjutna provstänger med olika höjd från vattenytan uppmättes en maximal korrosionshastighet av 70 $\mu\text{m}/\text{år}$, **tabell 4**. Detta innebär en ökning av korrosionshastigheten med en faktor på ca 2,5 vid ihopkoppling av provstänger av kolstål i kloridhaltigt vatten med betongingjutna provstänger av kolstål med ett avstånd från vattenytan av 35 cm.

Tabell 4. Korrosionshastigheten hos både ihopkopplade och icke ihopkopplade provstänger av kolstål ingjutet i ett betongblock nedsänkt delvis i vatten i 99 dygn

Avstånd från vattenyta	Korrosionshastigheten hos ingjutna provstänger av kolstål som är ej ihopkopplade	Korrosionshastigheten hos provstänger av kolstål ingjutna i betong och ihopkopplad med provstänger exponerade i kloridhaltigt vatten	Provstänger exponerade i vatten ihopkopplade med ingjutna provstänger med olika avstånd från vattenytan
(cm)	($\mu\text{m}/\text{år}$)	($\mu\text{m}/\text{år}$)	($\mu\text{m}/\text{år}$)
35	0	0,1	70,0
25	0	0	65,9
15	0	0	44,4
5	0	0,3	59,6
-5*	3,8	1,2	42,3

*Den ingjutna provstången exponeras 5 cm under vattenytan

Sammanfattningsvis kan sägas att laboratorieundersökningarna visade att den skillnad som uppkommer i syrekonzentration i betongen (luftningsceller i betong) p.g.a. av olika syrehalt i betongen inte nämnvärt påverkar korrosionshastigheten hos väl ingjutna provstänger av kolstål. Resistansen mellan provstänger som är väl ingjutna i betong med olika syrehalt (fukthalt) är alldeles för stor för att en korrosionsström skall kunna bildas mellan två provstänger väl ingjutna i betong med olika syrehalt (fukthalt).

Om däremot om en ingjuten armeringstång av kolstål som är i kontakt med ett kloridhaltigt vatten via en genomgående spricka eller i en hålighet fylld med kloridhaltigt vatten och ihopkopplad med en armering som är väl ingjutet i en välluftad betong kan korrosionshastigheten öka med en faktor upp till 2,5 på den del av armeringen som är i kontakt med kloridhaltigt vatten. Denna korrosionshastighetsökning är dock betydligt mindre än vad som fås om stora rostfria stålytor i kloridhaltigt vatten kopplas ihop med ingjuten kolstål som är i kontakt med kloridhaltigt vatten som transporterats in via öppna sprickor och defekter.

5 Slutsatser och rekommendationer

Från resultaten av genomförda undersökningar i både etapp I och II på betongarmerade kylvattenkanaler i både Oskarshamn 3 och i Ringhals 3 samt genom kontrollerade undersökningar på laboratorium kan följande slutsatser dras:

- De ädla elektrokemiska potentialerna som kontinuerligt registrerats hos armeringen i Oskarshamn 3 under två år och ca ett år i Ringhals 3 beror på att stålarmeringen har elektrisk kontakt med framför allt rostfria luckor/galler/titanrör i kondensorn som exponeras i kylvattnet.
- De höga korrosionshastigheterna som konstaterats lokalt på stålarmeringen i både in- och utloppsdelarna till kylvattenkanaler beror med stor sannolikhet på galvanisk korrosion på grund av elektrisk kontakt med rostfria luckor/galler/titanrör i kondensorn som exponeras i kylvattnet.
- Inga läckströmmar har kunnat konstateras i kylvattenkanalerna i Oskarshamn 3.
- Omfattande korrosionsskador har endast konstaterats på den ingjutna stålarmeringen där genomgående defekter i betongen såsom sprickor och håligheter runt armeringen förekommer.
- Eftersom areaförhållandet mellan blottlagda armeringsytor (små anodytor) och de ädla metallerna såsom rostfritt stål (stora katodytor) är mycket gynnsam för galvanisk korrosion på de blottlagda och vattenfyllda armeringsytorna kommer den lokala korrosionshastigheten vara mycket hög på blottlagda stålytor.
- Både en prov- och en fullskalig installation med katodiskt skydd med påtryckt ström i Oskarshamn 3 visade att stålarmeringens elektrokemiska potential kan sänkas ned till skyddspotential. Även potentialskillnaden mellan ingjuten stålarmering och rostfria luckor kan minskas, vilket leder till en kraftig sänkning av den galvaniska korrosionsströmmen hos blottlagt armeringsstål.
- Vid användning av katodiskt skydd med påtryckt ström i Oskarshamn 3 utförs för närvarande insamling av potentialvärden. Om framtida läckströmmar av någon anledning skulle förekomma så kan detta fastställas genom avläsning av sparade och loggade potentialvärden, varvid lämpliga åtgärder kan vidtas.
- De genomförda laboratorieundersökningarna visade att den största galvaniska inverkan på korrosionen hos ingjutet kolstål är orsakad av rostfritt stål som exponeras i vatten och som är elektriskt ihopkopplad med ingjuten stålarmering. Korrosionsangreppen på armeringen är endast lokaliserade till genomgående defekter (blottlagda stålytor, sprickor) i betongen.

6 Referenser

1. Sederholm, B & Ahlström J: Armeringskorrosion i kylvattenvägar inom kärnkraften – Dolda korrosionsangrepp av oväntad omfattning. Energiforskrapport 2017-342, Energiforsk.
2. Nyberg, J: Potentialmätning och provpolarisering av O3 kylvattenvägar. Rapport nr. 803-46-RE-A26. 3C (Corrosion Control Company) AB 2016.
3. Sederholm, B: PM -Katodiskt skydd vid utloppet till kylvattenkanaler 441.L18 och 441.L13. Uppdragsrapport 123 98, Swerea KIMAB (Rapporten är konfidentiell).
4. Sandberg, B, Ahlström, J, Tidblad, j, Sederholm, B. Korrosion på stål i betong i kylvattenvägar. – Delprojekt 3 – Korrosion på stål i vattenmättad betong. Elforsk rapport 10:84 (2009).

ARMERINGSKORROSION I KYLVATTENVÄGAR INOM KÄRNKRAFTEN – ETAPP II

Under senare år har omfattande korrosionsangrepp på stålarmering i olika delar av kylvattenvägarna i kärnkraftverken i Oskarshamn och Ringhals konstaterats.

I det här projektets båda etapper har orsakerna till de omfattande korrosionsskadorna på den ingjutna stålarmeringen i kylvattenvägarna inom kärnkraften fastställts. Resultaten visar att den ingjutna stålarmeringen har skadats på grund av krav på potentialutjämning vilket har skapat en elektrisk kontakt med framför allt rostfria luckor, galler och titanrör till kondensorn som exponeras i kylvattnet. Detta har resulterat i en galvanisk påverkan på den ingjutna armeringen i blottlagda defekter i betongen.

Genom att installera katodiskt skydd med påtryckt ström kan den galvaniska påverkan från rostfria luckor, galler och titanrör kraftigt minskas. Det innebär minskade underhållskostnader och att kylvattenvägarna får en längre livslängd.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se