

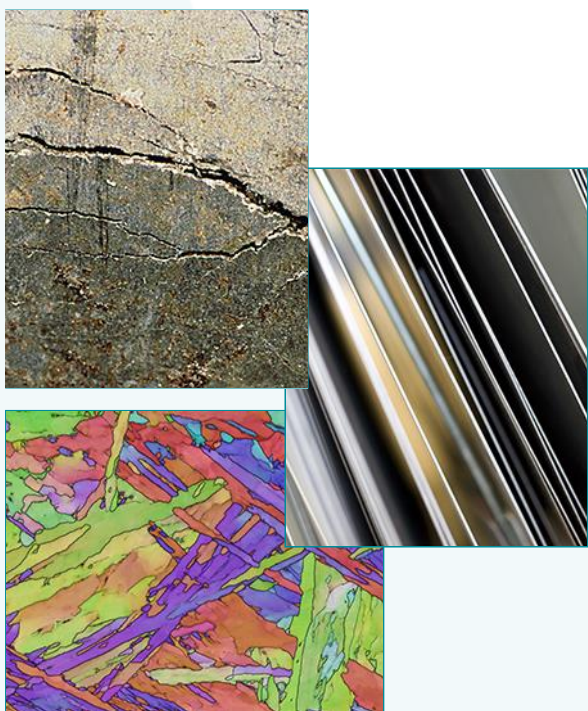
PÅLKOMMISSIONEN

Teknisk PM 1:2021

Utveckling av mätmetod för att bestämma risken för midjebildning på pålar

Utförd av

Jonas Engblom, RISE KIMAB AB



Forskningsrapport
[Öppen]

Utveckling av mätmetod för att bestämma risken för midjebildning på pålar

Jonas Engblom

Rapportnummer: 12408

Titel	Utveckling av mätmetod för att bestämma risken för midjebildning på pålar
Författare	Jonas Engblom
Publiceringsdatum	2020-12-14
Rapportnummer	12408
Status	[Öppen]
Projektnummer	14768
Avdelning	Korrosion
Godkänd av	2020-12-16

X



Signerat av: Bertil Sandberg
Senior specialist

Projektkommitté

Thorulf Hamfors
Antti Perälä
Lillemor Carlshem
Olle Båtelsson

Pålkommisionen
Scandia Steel
SSAB
Svenska kraftnät
Trafikverket

Utveckling av mätmetod för att bestämma risken för midjebildning på pålar

Jonas Engblom

Rapportnummer: 12408

Abstract

Resultat från 33 år långa exponeringsstudier har visat att den största korrosionen på pålar ofta inträffar strax under grundvattenytan. Detta har förklarats av att det uppstår en galvanisk cell där den del av pålen som är under grundvattenytan blir anodisk på grund av den syrefattigare miljön och korroderar således med en ökad hastighet jämfört med den del av pålen som är i den mer syrerika miljön ovan grundvattenytan.

Denna kraftigt förhöjda korrosion kallas vardagligt för midjebildning. För att på ett lämpligt sätt kunna dimensionera rostmånen eller korrosionsskyddet för en påle, givet en given plats, vore det intressant att kunna bedöma risken för att kraftig midjebildning ska uppstå. Genom att utveckla sonder som mäter de galvaniska strömmar som går mellan olika områden på en påle och exponera sönerna på samma platser som exponeringsstudier har utförts på, kunde resultaten från sönerna jämföras med resultaten från exponeringsstudien.

De erhållna resultaten tyder på att de värden på korrosionen som sonden ger överensstämmer relativt väl med korrosionsvärdena från exponeringsstudien, både gällande storlek och placering.

Det har dock under studien noterats att metoden lätt påverkas av nederbörd/smältande snö, varför det är viktigt att ta mätvärden kontinuerligt och under en längre tid.

För att underlätta vidare användning av metoden bör mätningen automatiseras och mätvärdena överföras digitalt.

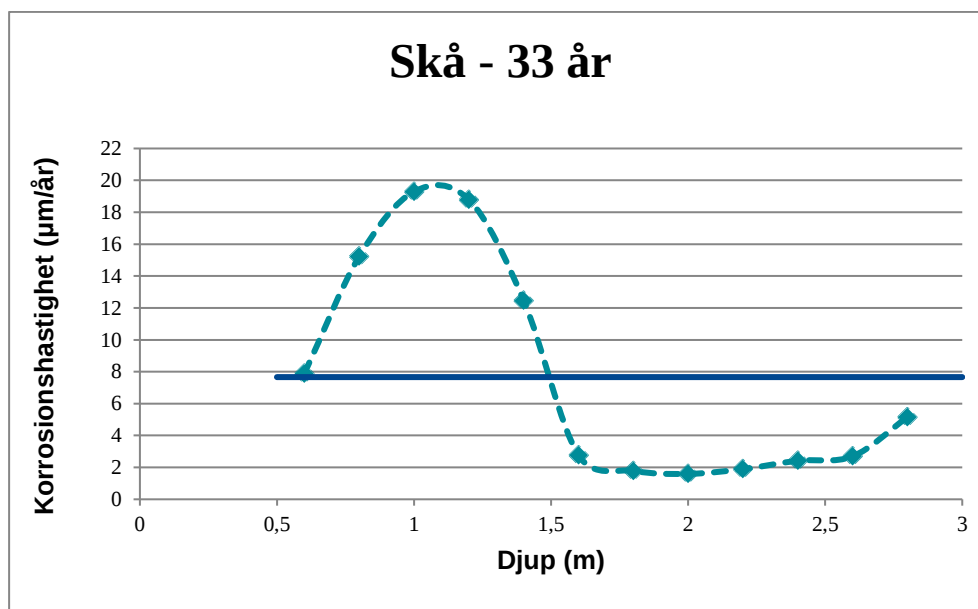
Innehållsförteckning

1	Inledning	1
2	Utförande	4
3	Resultat	5
3.1	Skå	5
3.2	Ryda	7
3.3	Näset	9
4	Diskussion.....	11
4.1	Utvecklingsmöjligheter	12
5	Slutsatser	12
6	Tillkännagivanden	12
7	Referenser	13

1 Inledning

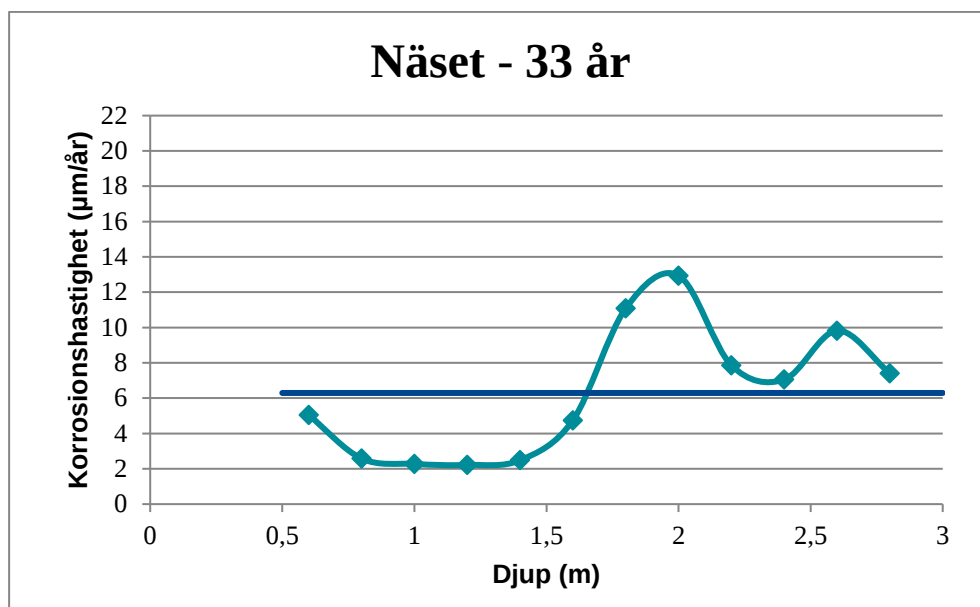
Varje år används ett stort antal pålar inom grundläggning för hus, vägar och annan typ av infrastruktur. Bara under 2019 används drygt 1 000 000 meter stålplålar. [1] Stålplålar har flera fördelar då de kräver liten plats jämfört med betongplålar, vilket gör dem mer lämpliga för tätbebyggda områden. En nackdel, däremot, är deras inneboende benägenhet att korrodera då de exponeras för jord eller vatten. Och i takt med att pålen korroderar, minskar också dess lastbärande förmåga. Den vanligaste sättet att motverka en för stor förlust i lastbärande förmåga är att helt enkelt använda tjockare stålplålar än vad som behövs från ett mekaniskt perspektiv. Att lägga till stål på detta sätt kallas för ”rostmån”. Rostmånerna som används i standarder idag är baserade på olika empiriska värden på korrosionshastigheter i olika miljöer. Värdena för rostmånerna är sedan extrapolerade för att uppskatta korrosionshastigheten efter ett visst antal år. [2] [3]

År 1978, påbörjade RISE KIMAB (dåvarande Korrosionsinstitutet), en långtidsexponering av stålplålar i olika typer av jord runt om i Sverige. Pålarna trycktes ner i orörd jord. Vid den senaste utvärderingen hade pålarna varit exponerade i 33 år. Resultaten från denna utvärdering påvisade att den genomsnittliga korrosionen på pålarna var låg, som mest 8 $\mu\text{m}/\text{år}$. Efter undersökning av olika sektioner av pålen, kunde det konstateras att medelkorrosionshastigheten ibland varierade stort längs med pålen. Under grundvattenytan var korrosionshastigheterna låga, ofta under 10 $\mu\text{m}/\text{år}$. De högsta korrosionshastigheterna påträffades kring eller en bit under grundvattenytan, varav den högsta var för 19 $\mu\text{m}/\text{år}$. Denna påle hade varit exponerad vid Skå, en provplats med organisk lera. Se Figur 1. [4]



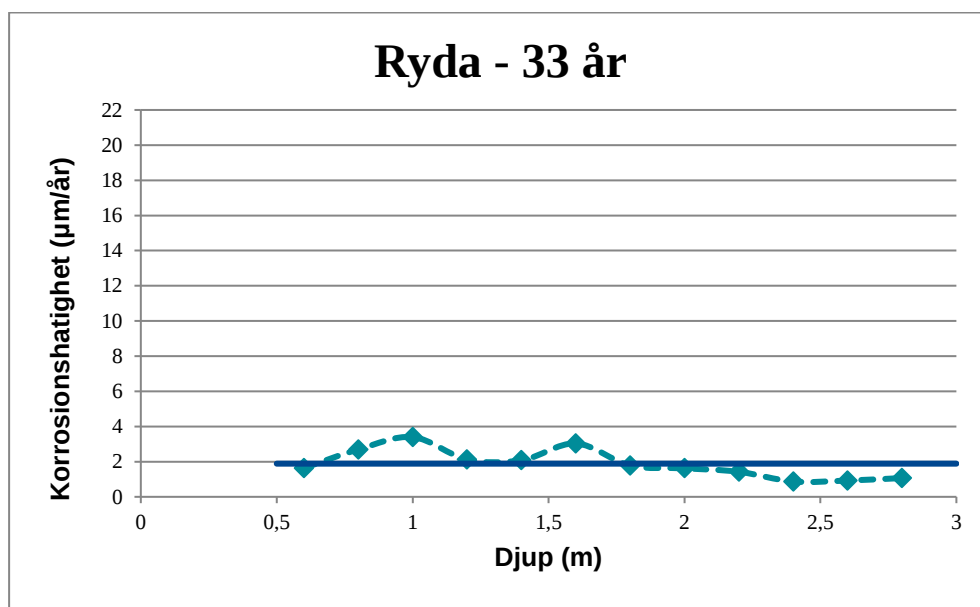
Figur 1: Genomsnittlig korrosion på sektioner av pålen (punkter) och genomsnittlig korrosion på hela pålen (heldragen) efter exponering i organisk lera i 33 år.

Denna fördelning av korrosion var snarlik den som återfanns på de andra provplatserna med liknande jordart, så som Näset, se Figur 2. [4]



Figur 2: Genomsnittlig korrosion på sektioner av pålen (punkter) och genomsnittlig korrosion på hela pålen (heldragen) efter exponering i organisk lera i 33 år.

På en annan provplats däremot, uppvisade korrosionen en annan fördelning. Denna provplats, Ryda, består även den av lerig jord, men med en lägre organisk del. Alla tre provplatser har en grundvattennivå kring en meter och uppvisar låga resistiviteter. Trots detta uppvisade pålen som varit exponerad på Ryda väldigt svag midjebildning. [4]



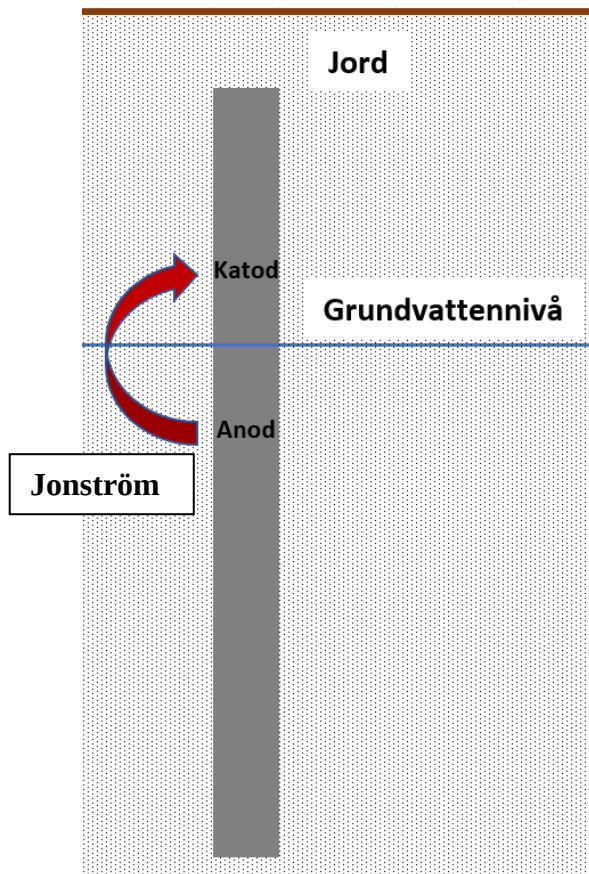
Figur 3: Genomsnittlig korrosion på sektioner av pålen (punkter) och genomsnittlig korrosion på hela pålen (heldragen) efter exponering i organisk lera i 33 år.

Fenomenet med midjebildning har en stor påverkan på den slutliga dimensioneringen av pålar, och tvingar upp storleken på korrosionsmånerna då dessa måste dimensioneras efter den högsta förväntade genomsnittliga korrosionshastigheten, även om utbredningen av detta korrosionsangrepp på pålen är begränsad. Metoden med korrosionsmån är självklart en trubbig metod, men det skulle inte vara försvarbart att anpassa varje del av varje påle. Något

som skulle kunna göras är däremot att, med någon metod, skydda den övre delen av pålen och välja en lägre rostmån på de nedre delarna. Vidare tyder svenska långtidsexponeringar på att även jordar som är snarlika utifrån en grundläggande resistivitetsmätning, i själva verket kan uppvisa stora skillnader i tendens för midjebildning.

Vidare så har de standardiserade rostmånen en nackdel då de är baserade på extrapolerade värden från fältextponeringar i naturliga orörda jordar, något som idag blir mindre vanligt då fler och fler pålar slås i olika typer av fyllning. Det är således inte helt jämförbart och då det inte är realistiskt att initiera ytterligare en 30-årsexponering, vore det intressant med en metod som kan uppskatta risken för att midjebildning uppstår.

Midjebildning har noterats i flertalet exponeringsstudier utförda i olika länder. Generellt påtalas det i dessa studier att korrosionshastigheten är låg en bit under grundvattenytan, ofta mellan 2 och 10 $\mu\text{m}/\text{år}$. Detta med undantaget för att midjebildning ibland har noterats kring eller strax under grundvattennivån. Midjebildning har förklarats som ett resultat av syrekonsentrationskillnader mellan jorden ovanför grundvattennivån och jorden nedanför grundvattennivån. Området ovan grundvattennivån är relativt syrerikt vilket ger stålet en högre korrosionspotential (ädel). Området under grundvattennivån är mindre syrerikt vilket ger stålet en lägre korrosionspotential (oädel). Då dessa två ytor är elektriskt sammankopplade via pålen och elektrolytiskt sammankopplade via den våta jorden, kan en galvanisk cell uppstå. I en galvanisk cell går ström ut i elektrolyten från objektet vid anoden, vilket ger upphov till korrosion. se Figur 4. [5]



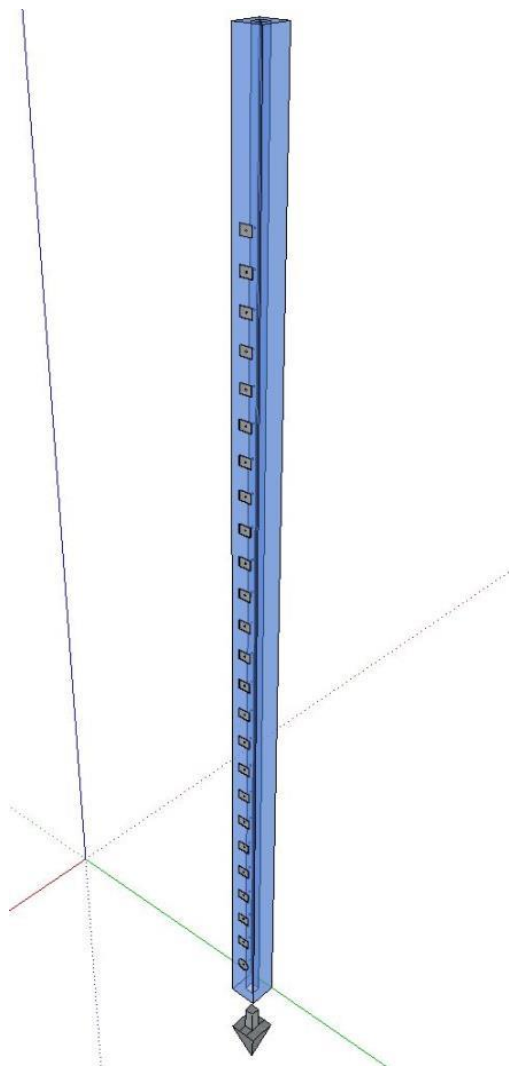
Figur 4: Syrekonzentrationscell. Ström går ur pålen under grundvattenytan vilket ger korrosion.

Givet den galvaniska cellen kommer omfattningen av midjebildningen sannolikt att bero på en rad parametrar, däribland resistivitet, vattenhalt, placering av grundvattennivån och grundvattennivåns fluktuation.

Målsättningen med detta projekt är att utveckla en sond, som redan efter en begränsad tid i fält, kan ge en indikation på risken för att midjebildning på pålar ska uppstå. I förlängningen innebär detta möjligheten att bättre kunna anpassa korrosionsskyddet på en given plats och nivå, så att korrosiva platser förses med adekvat korrosionsskydd utan att för den sakens skull överdimensionera mindre korrosiva platser.

2 Utförande

Sonder tillverkades av GAP-fyrkantströr och försågs med 25 stålkuponger med kabelanslutningar. Kablarna anslöts sedan till en ”hubb”, vilket gör att stålkupongerna simulerar en intakt påle. Sonden fungerar genom att möta de små likströmmar som uppstår vid galvanisk korrosion.



Figur 5: Skiss av den tillverkade sonden.

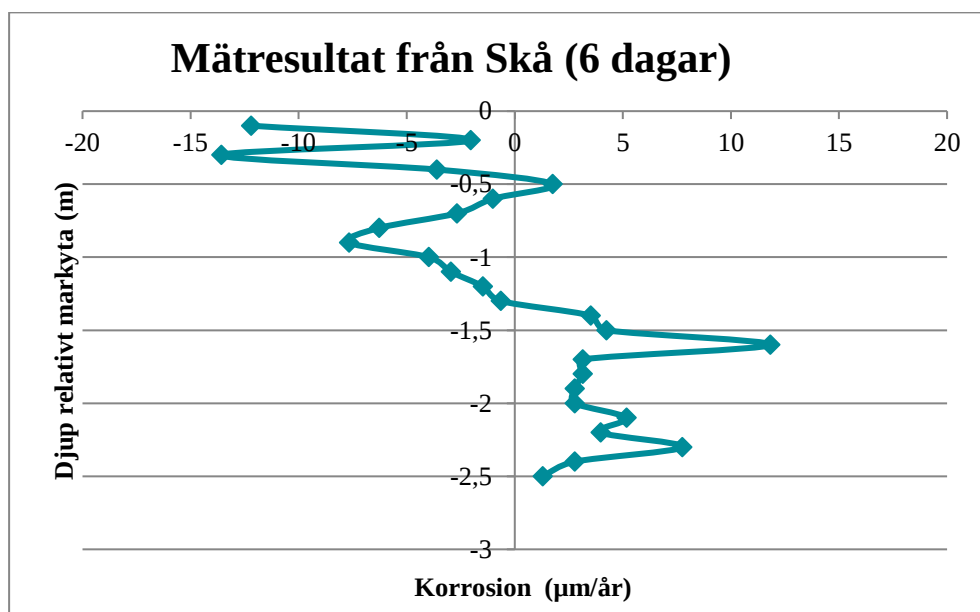
Sonderna installerades sedan på några av de provplatser på vilka långtidsexponeringar tidigare utförts. Genom att mäta nettolikströmmen mellan varje kupong och hubben går det att ta reda på om kupongerna är anodiskt eller katodiskt påverkade av resten av ”pålen”. Givet arean på kupongerna kunde sedan strömdensiteten beräknas. Från strömdensiteten beräknades sedan korrosionshastigheten, uttryckt som $\mu\text{m}/\text{år}$.

3 Resultat

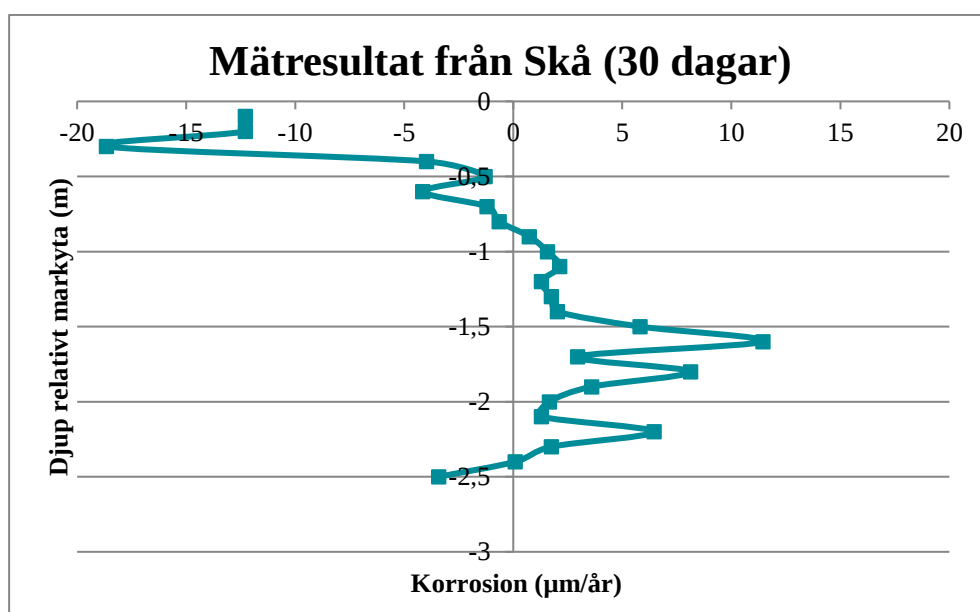
3.1 Skå

Provplats Skå ligger på en ö utanför Stockholm. Den består av organisk lera och har en hög grundvattennivå. Som ses i Figur 6 och Figur 7, indikerar sonden en midjebildning på 11–12 $\mu\text{m}/\text{år}$ på 1,5 meters djup, samt en på 6–7 $\mu\text{m}/\text{år}$ på 2,3 meter djup. Detta inställdes sig redan vid mätningen efter sex dagar. Den övre av de två midjebildningarna är jämförbar med resultaten från den 33-åriga exponeringsstudien som visade på en midjebildning på 18 $\mu\text{m}/\text{år}$

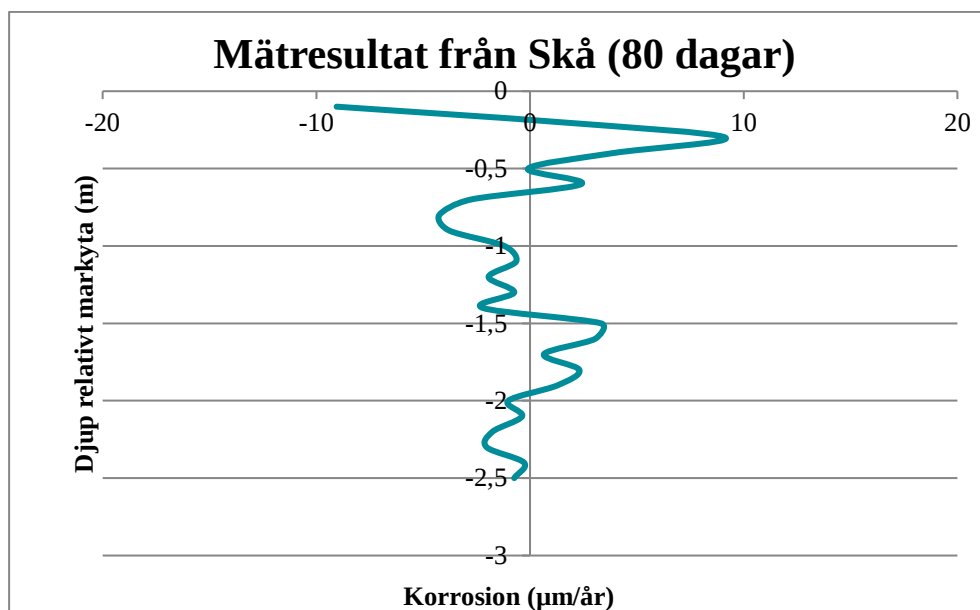
på en meters djup, se Figur 1. Vid mätningen efter ca 80 dagar indikerades midjebildning vid 0,3 m med 9 $\mu\text{m}/\text{år}$. Detta beror sannolikt på blöt mark på grund av nederbörd, vilket tillfälligt orsakat låg syrehalt strax under markytan. Korrosionshastigheten för midjebildningen som tidigare observerats vid 1,5 m var då endast 3 $\mu\text{m}/\text{år}$, se Figur 8. Vid mätningen efter ca 110 dagar var återigen midjebildningen vid 1,5 m störst med 7 $\mu\text{m}/\text{år}$. Nedan för denna påträffades två midjebildningar, vid 1,8 och 2,2, med korrosionshastigheter på 5 och 4 $\mu\text{m}/\text{år}$, respektive. Se Figur 9.



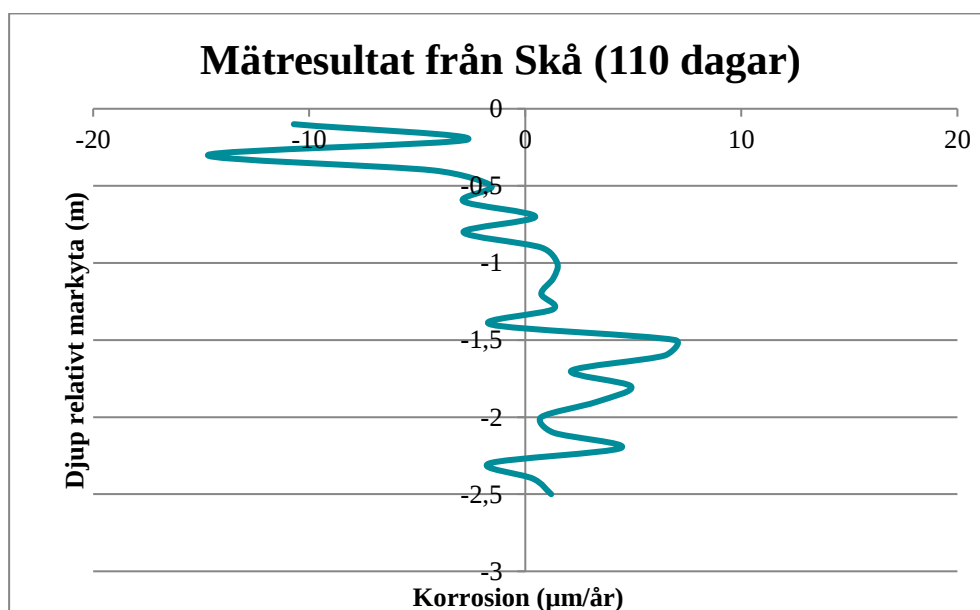
Figur 6: Mätresultat från Skå efter 6 dagar. (Negativa värden är inte negativ korrosion, utan en indikation på katodiska områden).



Figur 7: Mätresultat från Skå efter 30 dagar. (Negativa värden är inte negativ korrosion, utan en indikation på katodiska områden).



Figur 8: Mätresultat från Skå efter 80 dagar. (Negativa värden är inte negativ korrosion, utan en indikation på katodiska områden).

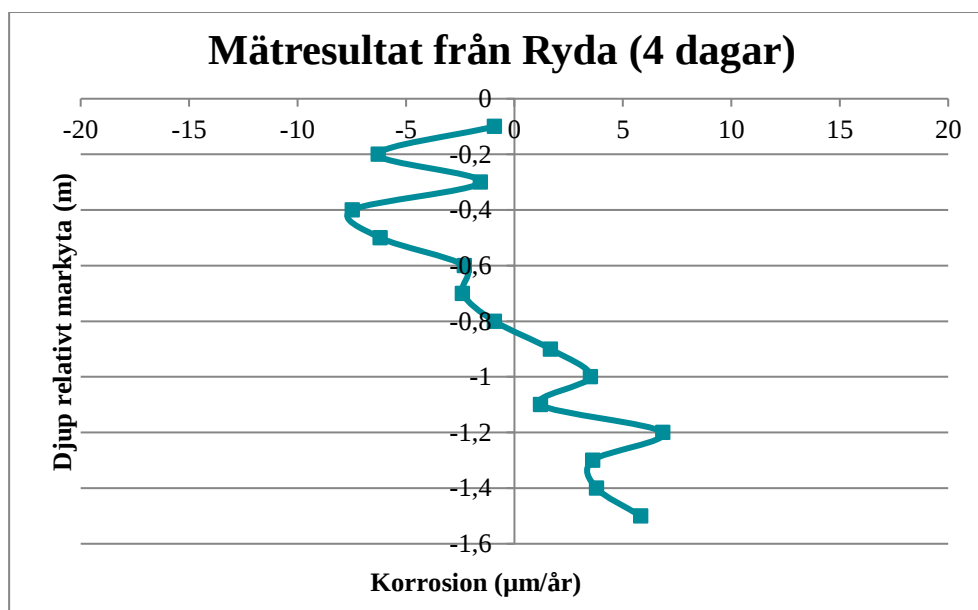


Figur 9: Mätresultat från Skå efter 110 dagar. (Negativa värden är inte negativ korrosion, utan en indikation på katodiska områden).

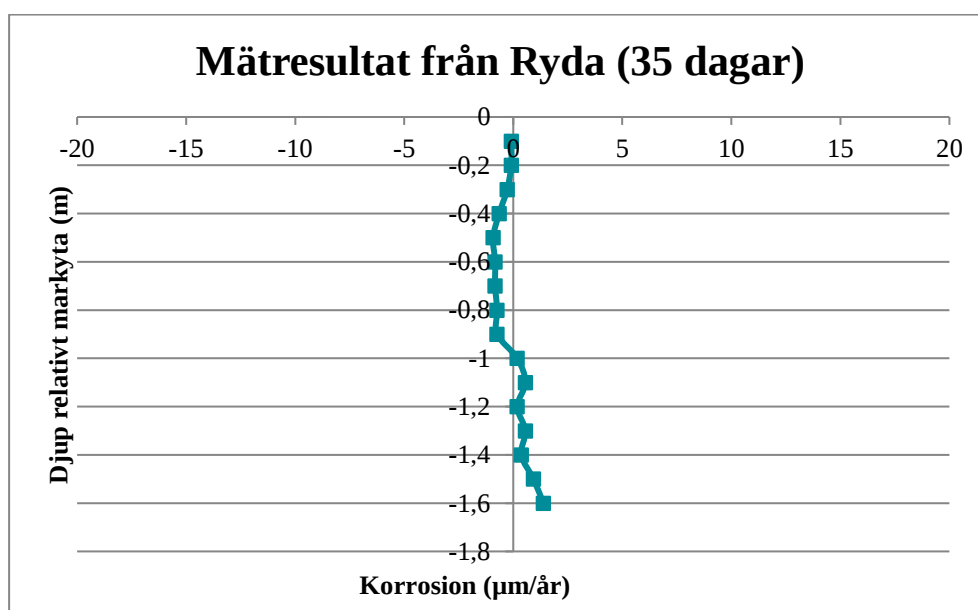
3.2 Ryda

Provplats Ryda ligger en bit utanför Enköping. Den består utav tät lera och har högt grundvatten. Till skillnad från mätvärdena från Skå så varierar mätvärdena från Ryda över tid. Initialt uppmättes en midjebildning vid 1,2 meters djup på ca $7 \mu\text{m}/\text{år}$, se Figur 10. Efter en dryg månad var denna korrosionshastighet reducerad till ca $1 \mu\text{m}/\text{år}$ och uppmätta värden tydde på väldigt låg galvanisk aktivitet, se Figur 11. Den senare mätningen stämmer bra överens med resultaten från 33-åriga exponeringsstudien, i vilken väldigt låg midjebildning

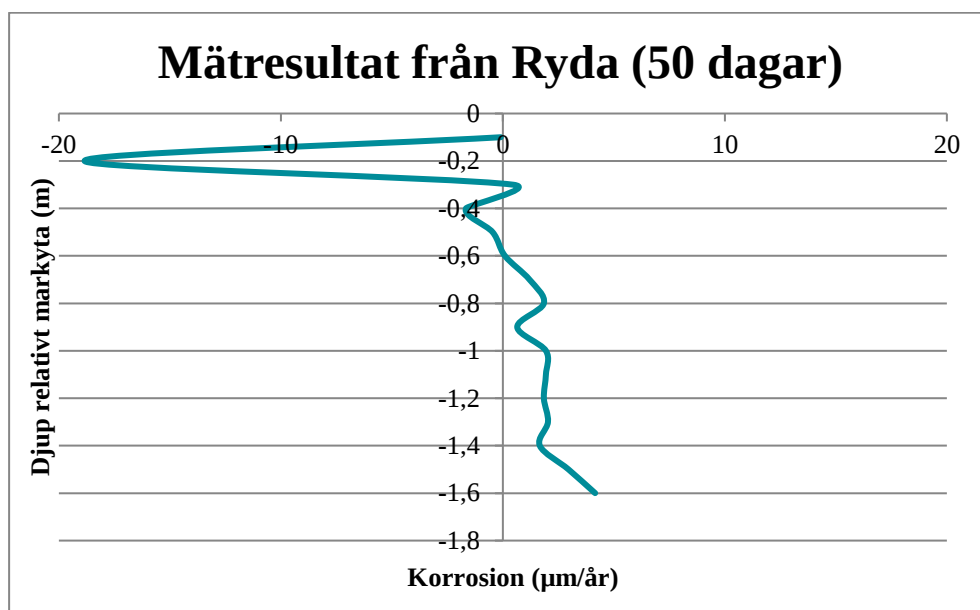
kunde ses, se Figur 3. Vid den sista genomförda mätningen, efter 50 dagar, se Figur 12, noterades en svagare indikation på ökad korrosion längst ner på pålen, med en korrosion på 5 $\mu\text{m}/\text{år}$. Denna ökning av korrosion beror på att området kring 0,2 m blev starkt katodiskt, vilket skulle kunna bero på ökad syresättning. Som framgår i graferna gick det ej att installera sonden lika djupt i Ryda som de två andra platserna. Det bildades dessutom en liten luftspalt kring den övre delen av sonden, vilket kan ha syresatt området kring den översta provkuponen och således gett denna en mer katodisk potential än vad den annars skulle ha. Försök till ominstallation gjordes under senare delen av projektet, men misslyckades då sonden gick sönder.



Figur 10: Mätresultat från Ryda efter 4 dagar. (Negativa värden är inte negativ korrosion, utan en indikation på katodiska områden).



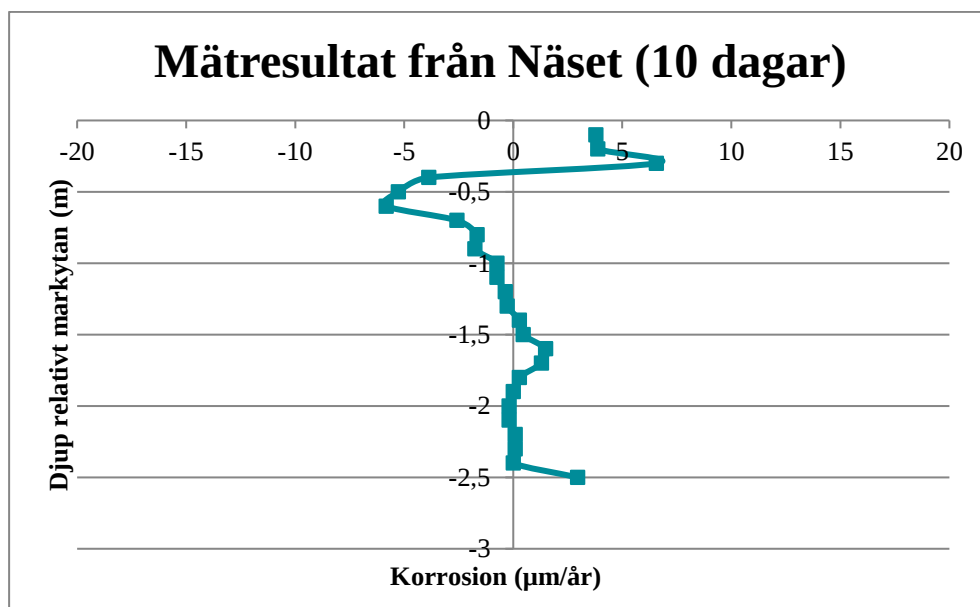
Figur 11: Mätresultat från Ryda efter 35 dagar. (Negativa värden är inte negativ korrosion, utan en indikation på katodiska områden).



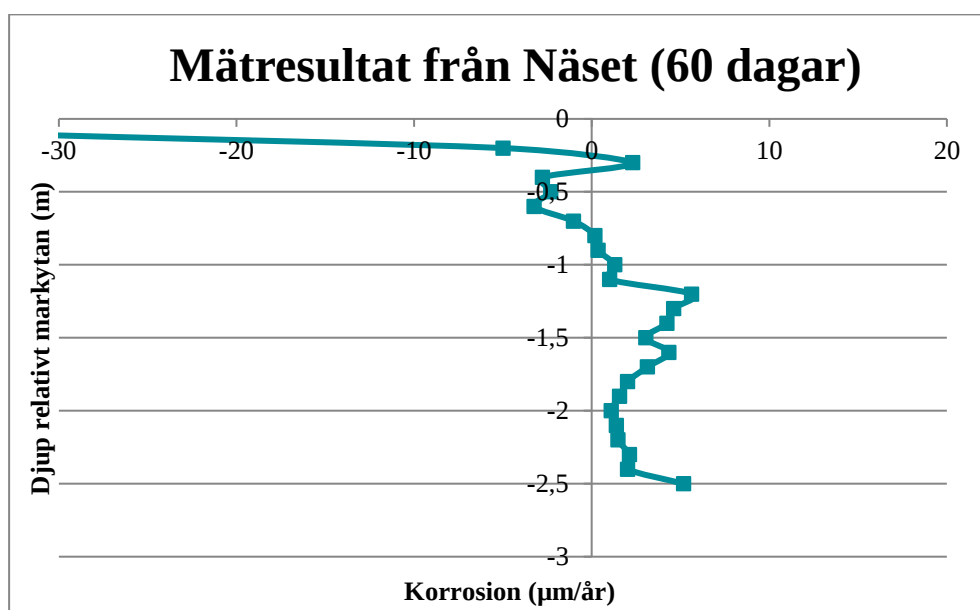
Figur 12: Mätresultat från Ryda efter 50 dagar. (Negativa värden är inte negativ korrosion, utan en indikation på katodiska områden).

3.3 Näset

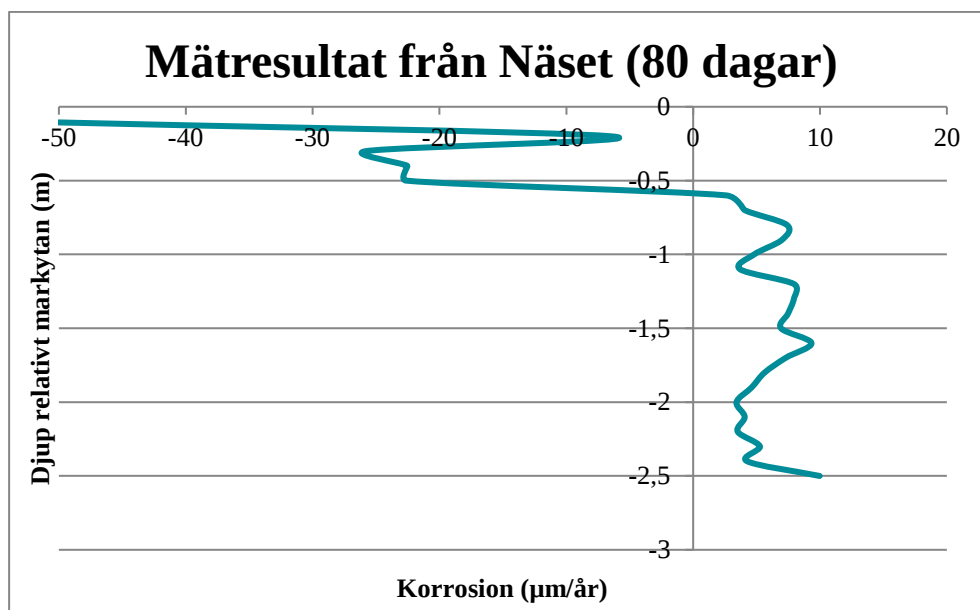
Provplatsen Näset ligger nära havet i Göteborg. Den består av organisk lera och har väldigt högt grundvatten. Som ses i Figur 13, visade de första mätningarna en korrosion 6 µm/år precis under markytan. En månad senare var korrosionshastigheten ungefär samma, men nu placerad på 1,2, 1,6 och 2,5 meter djup. Området direkt under markytan var då mycket katodiskt, se Figur 14. De anodiska så väl som de katodiska områdena blir sedan förstärkta efter ytterligare 20 dagar, där korrosionshastigheterna på 1,2, 1,6 och 2,5 meters djup uppgick till 8, 9 och 10 µm/år, respektive, se Figur 15. Detta kan jämföras med resultaten från 33-årsexponeringen vilka visade på en midjebildning vid 2 meter, med en korrosionshastighet på 13 µm/år, och en mindre midjebildning vid 2,6 m med en korrosionshastighet på 10 µm/år, se Figur 2. En möjlig förklaring till de avvikande initiala värdena är frekvent nederbörd och som följd stora förändringar i grundvattennivå och vattenhalt. Vid den första mätningen var marken påtagligt blöt, medan den var torr i de senare.



Figur 13: Mätresultat från Näset efter 10 dagar. (Negativa värden är inte negativ korrosion, utan en indikation på katodiska områden).



Figur 14: Mätresultat från Näset efter 60 dagar. (Negativa värden är inte negativ korrosion, utan en indikation på katodiska områden).



Figur 15: Mätresultat från Näset efter 80 dagar. (Negativa värden är inte negativ korrosion, utan en indikation på katodiska områden).

4 Diskussion

De resultat som framkommit i denna studie pekar på att den midjebildning som observerats på pålar exponerade på samma provplatser sannolikt är åsamkad av en luftningscell. Resultaten tyder också på att den utvecklade metoden kan ge en god fingervisning om risken för att midjebildning, både dess placering och omfattning, uppstår på pålar. Det är dock viktigt att betona att den korrosion som indikeras av pålen endast är den korrosion som uppkommer på grund av galvaniska effekter, den totala korrosionen är den galvaniska korrosionen plus den ”fria” korrosionen på en viss nivå. Vidare ska det även tas i beaktning att resultaten från långtidsexponeringarna är medelvärde av exponeringstiden, alltså 33 år. Detta är sannolikt grund för en viss diskrepans beträffande storlek och placering av den galvaniska korrosionen vid jämförelse med mätvärdena från sonden som ger en ögonblicksbild. Det har även framkommit under studien att väder och tid på året ger viss påverkan. Detta betonar vikten av att mätvärden tas kontinuerligt och över en längre period. Den optimala mätperioden vid användandet av sonden skulle behövas utredas vidare. Detta till trots, om en serie mätningar över en tid används, torde en god indikation på risken för att midjebildning ska uppstå på en viss plats vara möjlig.

En möjlighet som sonden öppnar upp för är att närmare studera hur olika typer av fyllning påverkar risken för midjebildning. Den exponeringsstudie som denna studie stödjer sig på inkluderade endast naturliga, orörda jordar. Sondens erbjuder en möjlighet att studera midjebildningsfenomenet i olika typer av fyllning, utan att behöva påbörja en ny långtidsexponering. Detta skulle ge värdefull information då det är vanligt att pålning sker i olika typer av fyllning.

Ambitionen med detta projekt har varit att utveckla en metod för att bättre dimensionera rostmånen på pålar. Att dimensionera rostmånen för en hel påle efter en lokalt förhöjd korrosion inom ett område på någon meter ger ett onödigt materialanvändande. Genom att i

ett tidigt skede kunna identifiera korrosiva riskområden för en påle möjliggörs en säkrare dimensionering. Om risken för midjebildning bedöms vara hög inom ett visst område på pålen kan adekvata åtgärder planeras i ett tidigt skede. Givet dessa åtgärder, medges sedan låga korrosionsmånar för resten av pålen. Om korrosionsmån är det valda sättet att hantera korrosion skulle en högre rostmån kunna tillämpas för området en bit under grundvattenytan och upp, medan en låg rostmån, ex 1 mm/100 år, är tillräckligt för resten av pålen. Om det å andra sidan bedöms som osannolikt att midjebildning ska uppstå ger det stöd för att en lägre rostmån används över lag.

4.1 Utvecklingsmöjligheter

Så som sonden är designad i nuläget krävs det att mätningar utförs av en tekniker på plats, vilket begränsar mätfrekvensen. Skulle mätningarna automatiseras, och mätvärdena överföras via exempelvis mobilnätet, skulle mätfrekvensen kunna höjas markant. Detta skulle medge en högre säkerhet vid tolkning av resultat då enstaka extremvärden skulle vara lättare att identifiera. Det skulle även vara möjligt att ha en större mängd sonder installerade samtidigt, vilket skulle höja kvaliteten på framtida studier. Erhållna erfarenheter under projektets gång tyder på att automatiserad mätning och digital överföring av mätvärden krävs innan sonden kan komma till praktisk användning.

En annan förbättringsmöjlighet vore att minska tvärsnittet på sonden. Detta torde vara en enkel åtgärd som skulle kunna förenkla installation i grusiga jordar avsevärt.

5 Slutsatser

De erhållna mätvärdena tyder på att den presenterade metoden kan indikera närvaron av aktiva luftningsceller. Placering och storlek på de indikerade luftningscellerna liknade den midjebildning som observerats i en tidigare utförd 33-årig exponeringsstudie. Detta talar för att metoden skulle kunna användas för att undersöka risken för att midjebildning till följd av luftningsceller uppstår. Om så är fallet, skulle metoden i framtiden kunna användas för att med större noggrannhet kunna dimensionera korrosionsskyddet på pålar. Det möjliggör också studier av hur olika typer av fyllning påverkar midjebildningen på pålar. Det finns dock ett behov av att närmare utveckla både design och mätningsspecedur för att underlätta användning.

6 Tillkännagivanden

Vi tackar följande företag och personer för finansiering och givande diskussioner;

Pålkommisionen

Scandia Steel – Thorulf Hamfors

SSAB – Antti Perälä

Svenska kraftnät – Lillemor Carlshem

Trafikverket – Olle Båtelsson

7 Referenser

- [1] "Information 2020:1 - Pålstatistik för Sverige 2019," Pålkommisionen, Stockholm, 2020.
- [2] "Eurocode 3 - Design of steel structures," European Commission, Brussels, 2007.
- [3] Å. Bengtson, B. Berglars, S. Hultsjö och J. Romell, "Pålkommisionen - Rapport 98 - Dimensioneringsanvisningar för slagna slanka stålpålar.," Pålkommisionen, Stockholm, 2000.
- [4] J. Engblom, "Korrosion på stålpålar efter långtidsexponering i jord (KIMAB 2015-110)," Swerea KIMAB, Kista, 2015.
- [5] B. Sandberg, "Pålkommisionen - Tekniskt PM 4:2015 - Korrosion av stålkonstruktioner med lång förväntad livslängd - nulägesammanställning," Pålkommisionen, Stockholm, 2015.

RISE KIMAB AB
Box 7047, 164 07 Kista
Besöksadress: Isafjordsgatan 28 A, 164 40 Kista
08 440 48 00, risekimab@ri.se, www.ri.se

