



Företagsintern

Rapport

DokumentID 1091935	Version 2.0	Status Godkänt	Reg nr	Sida 1 (71)
Författare Rolf Sandström			Datum 2007-12-14	
Granskad av Thomas Karlsson PLU-teknik			Granskad datum 2008-02-11	
Godkänd av Torbjörn Hugo-Persson			Godkänd datum 2008-02-12	

## Korrosionsutredning slutrapport

# UTREDNING KORROSIONSPROBLEM OCH JORDSTRÖMMAR I BORRHÅL INOM PLATSUNDERSÖKNINGEN I FORSMARK OCH OSKARSHAMN

1. MEDFÖRFATTARE:
2. JOHAN NISSEN MALÅ GC
3. CLAES TAXEN KIMAB

JAN-OLOV SJÖDIN VATTENFALL POWER CONSULTANT AB

ANDERS ERIKSSON KORROSIONSKONSULT AB

## 4. Sammanfattning

Kraftig spalt- och gropkorrosion har uppstått på kort tid på mätutrustningar i borrhål i Forsmark såväl som i Oskarshamn. Förloppet har varit mycket snabbt. På kort tid har stor avverkning av material skett på utrustningar som varit placerad i olika borrhål både i Forsmark och Oskarshamn. Därför måste något slags yttre påverkan ha förekommit.

Vattenkemin i dessa borrhål skiljer sig inte från andra borrhål i områdena utan misstankar om att elektriska fält i marken kan vara orsaken till korrosionen är påtagliga med tanke på närheten till kraftverken både i Forsmark och i Oskarshamn. De borrhål som hittills har påvisade korrosionsangrepp på mätutrustningar är KFM04A, KFM08A i Forsmark och KLX03, KLX08 och KLX10 i Laxemar.

Mät kors har lagts ut på båda platserna. Dessa består av icke-polariserande elektroder som placerats ut i nord-sydlig och öst-västlig riktning med 100 m avstånd. Mätvärden från dessa har sedan loggats under en längre tid. Tolkning av mätvärdena har gett en indikation om i vilken riktning spänningarna i markytan utbreder sig.

En genomgång av varje mätsystems möjliga påverkan av elektriska spänningar har också gjorts. De system som mäter med givare som står i direkt kontakt med borrhålsvattnet bedöms ha den största risken för påverkan. I första hand är det kemisystemen som i Forsmark har visat ostabilare värden vid mätningar i randzonen än mätningarna i den tektoniska linsen. Vidare har Mätningar med PSS i enstaka fall visat onormala värden. Störningar vid mätning med PFL har också noterats.

I Laxemarområdet får man tills vidare utgå från att kraftledningarna är orsak till potentialsättningen av marken och därmed till problemen med korrosion. En HVDC- överföring till Gotland kan ge likström i marken. Överföringen till Gotland är till motsats mot överföringen till Finland bipolär. Det betyder att man normalt använder två kablar för överföringen och därför ingen eller liten spänningssättning av marken sker. Endast vid problem med eller service av överföringen används monopolär drift. Att likström transporteras via jordlinor och andra ledande strukturer från HVDC-överföringens jordtag till borrhålplatserna har visats vid undersökningar i Forsmarksområdet. Fortsatta utredningar krävs dock för att få full visshet.

I Forsmark har en detaljerad korrosionspotentialmätning gjorts i borrhål KFM04A och i KFM08A. Vid dessa borrhål har ett system för kontinuerlig loggning av spänningen mellan utrustning och en referensanod installerats. I dessa två borrhål bedöms risken för korrosion på mätutrustningarna vara störst och bör därför kunna användas som referenser till de övriga. Mätningar som gjorts i borrhål i den tektoniska linsen tyder på att markströmmar inte förekommer här i samma utsträckning.

<b>1. Medförfattare:</b> .....	1
<b>2. Johan nissen Malå GC:</b> .....	1
<b>3. Claes taxen kimab:</b> .....	1
<b>Jan-olov sjödin vattenfall power consultant ab:</b> .....	1
<b>Anders Eriksson korrosionskonsult ab:</b> .....	1
<b>4. Sammanfattning:</b> .....	2
<b>0. Inledning:</b> .....	4
<b>0. Bakgrund:</b> .....	4
<b>0. Kartläggning av förekomsten av elektriska fält i marken och dess uppkomst:</b> .....	5
0. Mätors i Forsmark.....	5
Mätors i Oskarshamn.....	7
0. Mätningar i borrhål.....	8
0. Identifiering av "riskborrhål".....	9
<b>0. Installation av utrustning för korrosionsskydd av HMS-systemet:</b> .....	9
<b>0. Genomgång av mätsystem med avseende på påverkan av jordströmmar:</b> .....	10
<b>0. Slutsatser och rekommendationer:</b> .....	10
0. Laxemar.....	10
0. Forsmark.....	12
<b>Appendix 1:</b> .....	14
<b>1. Bakgrund:</b> .....	14
<b>2. Vilka mätmetoder kan tänka påverkas av jordströmmar?:</b> .....	15
2.1 Flyg, mark- och borrhålsgeofysiska mätningar.....	15
2.2 Geohydrologiska mätningar.....	16
2.3 Hydrogeokemiska mätningar.....	16
2.4 Utspädningssonden.....	16
2.5 Övrigt.....	16
<b>3. Diskussion – actionpunkter:</b> .....	17
<b>4. Diskussion om hur frågan om jordströmmar ska hanteras fortsättningsvis:</b> .....	17
<b>5. Appendix 2:</b> .....	18
Självpotentialmätningar vid Borrplats 4.....	18
<b>Appendix 3:</b> .....	22
0. Förutsättningar.....	23
Mätningar.....	23
Resultat och diskussion.....	23
7. Slutsatser.....	24
<b>Appendix- Mätningar:</b> .....	25
<b>8. Appendix 4:</b> .....	26
<b>9. Appendix 5:</b> .....	28
<b>Appendix 6:</b> .....	47
<b>10. Appendix 7:</b> .....	48
Korrosion på mätutrustningar i Laxemar.....	48
<b>Appendix 8:</b> .....	56
Comparison of independent temperature and electrical conductivity measurements	56

## 0. Inledning

SKB bedriver platsundersökning för ett framtida djupförvar för använt kärnbränsle i Forsmark och Oskarshamn. Undersökningarnas genomförande styrs i grunden av ett generellt program (SKB 2001) och platsspecifika program för Forsmark och Oskarshamn (SKB 2001). Mer detaljerad styrning av undersökningarnas genomförande och omfattning ges i den årligen uppdaterade verksamhetsplanen för Forsmark och Oskarshamn. Redovisade aktiviteter refererar inte till något WBS-nummer i Forsmarks eller Oskarshamns verksamhetsplaner för undersökningarna.

## 0. Bakgrund

Kraftig spalt- och gropkorrosion har uppstått efter mycket kort tid på ”rostfria” mätutrustningar i borrhål i Forsmark såväl som i Oskarshamn. Förloppet har varit mycket snabbt. På kort tid har stor avverkning av material skett på utrustningar som varit placerad i olika borrhål både i Forsmark och Oskarshamn. Därför finns skäl att antaga att något slags av yttre påverkan måste ha förekommit. Vattenkemin i dessa borrhål skiljer sig inte från andra borrhål i området utan misstankar om att elektriska fält i marken är orsaken till korrosionen är påtagliga med tanke på närheten till kraftverken både i Forsmark och i Oskarshamn. Ett metallföremål som befinner sig i ett spänningsfält läcker in strömmen som elektroner där potentialen är störst och läcker ut strömmen som joner där potentialen är lägst. Detta medför att korrosion uppträder. (SKB P-05-256)

De borrhål som hittills har påvisade korrosionsangrepp på mätutrustningar är KFM04A, KFM08A i Forsmark och KLX03, KLX08 och KLX10 i Laxemar.

Med anledning av detta startades ett projekt med syfte att identifiera orsaken till korrosionen och förhindra att mätutrustningar i framtiden förstörs. Projektet syftade också till att utreda förekomsten av elektriska fält i mark i och omkring borrhål både i Forsmark och i Oskarshamn (AP PU 400-06-001).

Arbetet har bedrivits av en projektgrupp bestående av Rolf Sandström, Johan Nissen, och Thomas Karlsson samt vid olika tillfällen inkallade experter.

Projektet har bestått av tre delar:

1 Kartläggning av förekomsten av elektriska fält i marken och dess uppkomst.

2 Identifiering av ”riskborrhål”.

3 Installation av utrustning för korrosionsskydd av HMS-systemet.

Vidare har ett ”Möte 2007-04-11 om jordströmmars eventuella inverkan på mätresultat från mark- och borrhålsundersökningar vid platsundersökningarna i Laxemar och Forsmark” hållits (Appendix 1). Insamlade mätdata från olika mätmetoder har granskats och jämförts med varandra för att identifiera eventuellt påverkade mätvärden.

Arbetet med de olika delarna har bedrivits parallellt på båda platserna (AP PU 400-06-002 Oskarshamn och AP PU 400-06-003 Forsmark).

## 0. Kartläggning av förekomsten av elektriska fält i marken och dess uppkomst.

Mätors har lagts ut på båda platserna. Dessa består av icke-polariserande elektroder som placerats ut i nord-sydlig och öst-västlig riktning med 100 m avstånd. Mätning av spänning i N-S och O-V har sedan loggats under en längre tid. Mätningarna har gett en indikation om i vilken riktning de elektriska fälten i markytan utbreder sig och storleken på dessa.

### 0. Mätors i Forsmark

Ett mätors vid KFM01 i Forsmark är i drift och ger kontinuerligt data. HVDC överföringen (Fenno-Skan) har under tiden 2006-12-02 till 2007-02-11 varit ur drift och data är därför under den tiden intressanta för att ge information om det finns andra källor till elektriska fält i marken i Forsmark. Vi har hittills konstaterat att:

- Det finns spänningar på -3 till +3 V/km i området.
- Tydlig samvariation med belastningen på Fenno-Skan. Se fig. 1:1.
- Det finns också tydlig korrelation med geomagnetiska fältet. (solstorm). Se fig. 1:2 och 1:3

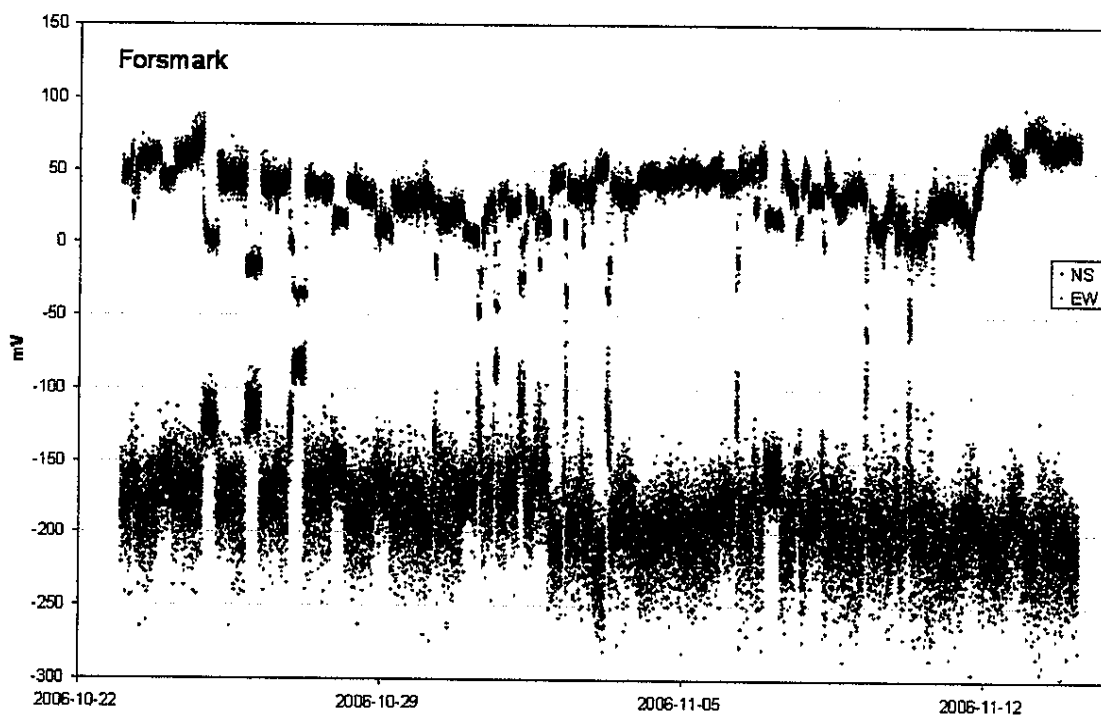


Fig. 1:1 Loggningsresultat för nov från mätors Forsmark. Tidsintervallen med lägre värden korrelerar med variationer i belastning på Fenno-Skan.

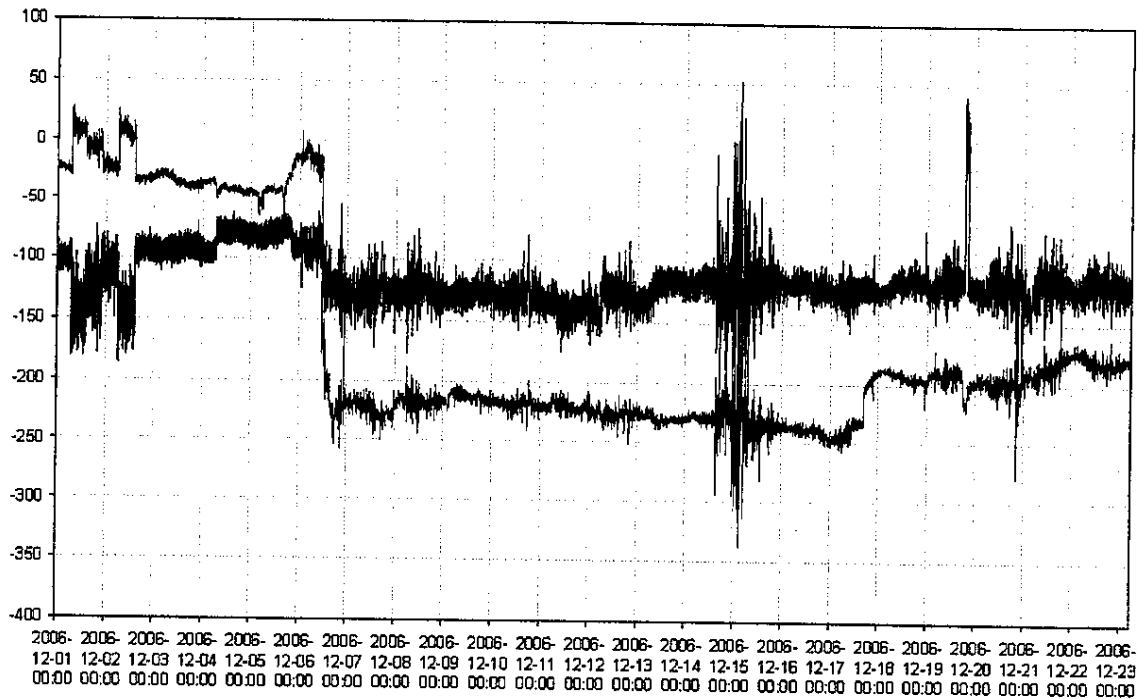


Fig. 1:2 Loggningsresultat för dec från mätkors Forsmark. Fenno-Skan avstängd från 2006-12-02. Orsaken till nivåförändringe 2006-12-06 är okänd. Anomalin runt 2006-12-15 beror på solstorm, se fig 1:3.

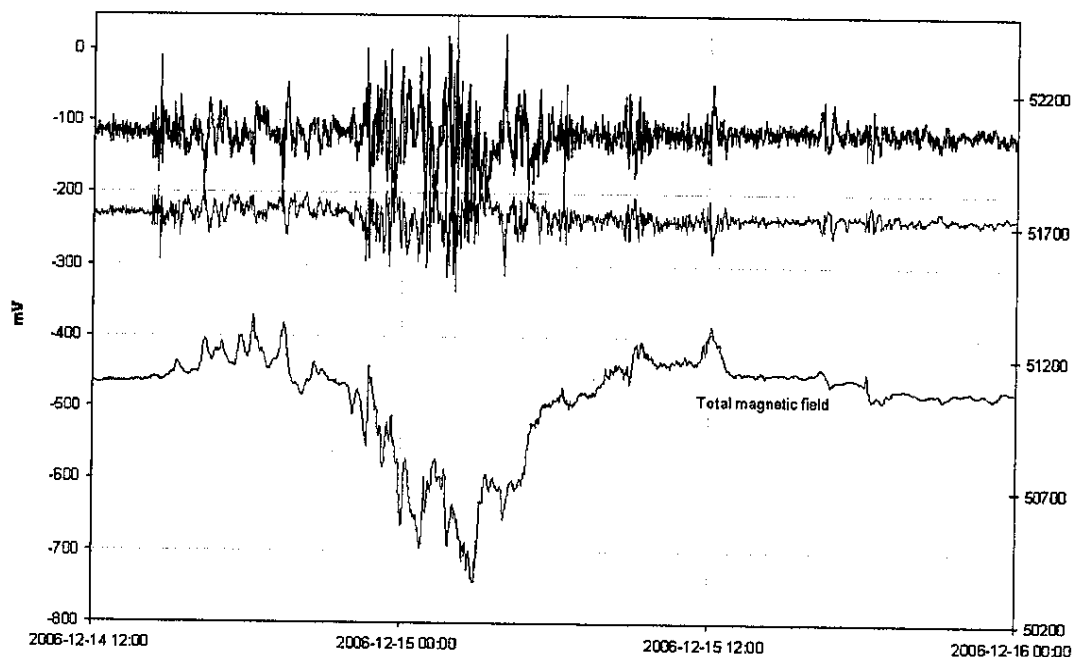


Fig. 1:3 Detalj ur fig. 1:2 som visar korrelationen mellan spänningvariationerna och det geomagnetiska fältet registrerat i Uppsala.

En detaljerad utredning om förekomsten av elektriska fält i marken i och omkring KFM04A har gjorts. Utredningen har påvisat kraftiga anomalier kring borrhålet (se Appendix 2).

## Mät Kors i Oskarshamn

Ett mät kors var utlagt vid KLX08 och gav kontinuerligt data under drifttiden. Se fig. 2:2 och 2:3  
Ett avbrott noterades mellan den 5 och 15 dec möjligen beroende på strömvabrott vid demonteringen av stängslet kring borrhalsen.

Mät korset är sedan juni 2007 taget ur drift på grund av åsknedslag som gjorde utrustningen obrukbar.

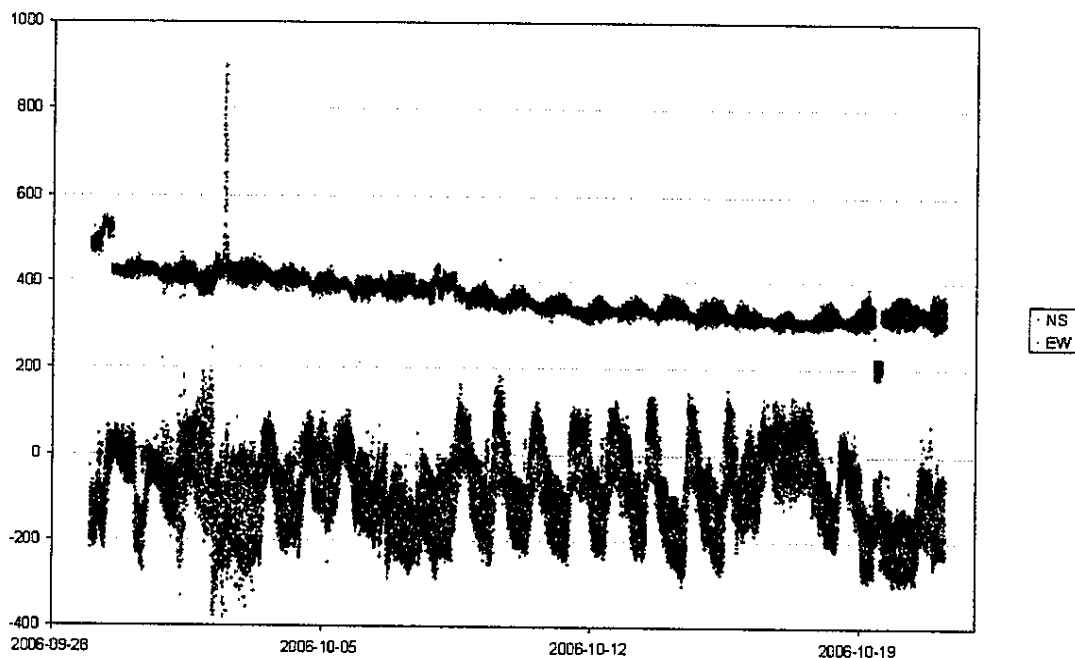


Fig. 1:4 Registrering från mät kors i Laxemar. Utpräglade dygnsvariationer på c:a 500 mV observeras. En kraftig anomali syns vid 2006-10-02, se fig. 2:3.

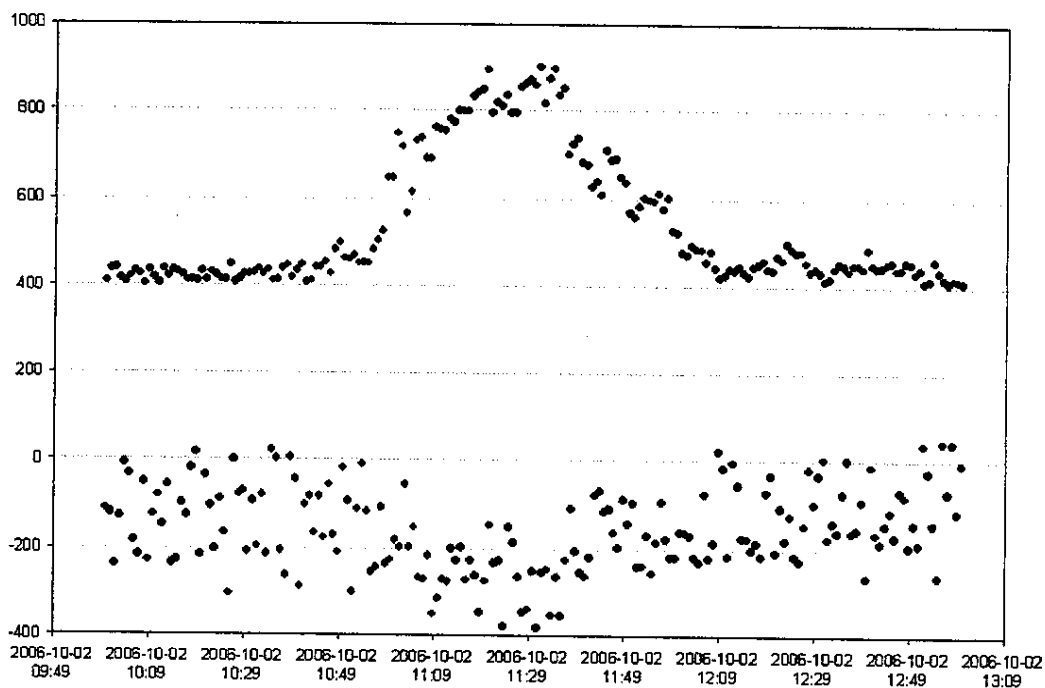


Fig. 1:5 Detaljbild som visar anomalin i öst-västlig riktning 2006-10-02. Spänningen har vid tillfället varit upp till 900 mV

Man kan konstatera att det finns spänningar på -2 till + 2 V/km i området.

Driftdata från Svenska Kraftnät på den närmaste kraftledningen i Laxemar har jämförts med data från mätkorset för att eventuell hitta samband. De dygnsvariationer som noteras på data från mätkorset korrelerar dock inte med dygnsvariationerna i belastningen på kraftledningen. Orsaken till detta kan finnas att hämta i en samverkan av belastningarna i olika kraftledningar. Närheten till ställverket vid OKG kan också ge en annan variation av spänningen i jordlinorna än belastningen i respektive kraftledning. En obalans i faslinorna beroende på olika induktans mellan ledarna orsakar en spänning i topplinorna som kan uppgå till c:a 100 V DC. Denna spänning leds sedan ner i marken via stolpar och kortslutna gnistgap. Parallellt med 400 kV ledningen går en 130 kV ledning som tillhör Eon. 130 kV ledningen har topplinorna direkt anslutna till jordlinan utan gnistgap. (Appendix 6) Höga växelspanningar har också noterats vid arbeten med olika mätsystem i flera borrhål i Laxemar.

## 0. Mätningar i borrhål

### 0. Forsmark

En specialutrustning för att mäta förekomsten av likspänning i borrhål har tillverkats. Utrustningen bestod av en manschett med mätelektroder i vardera änden. Elektroden var anslutna till en intern logger som kontinuerligt loggade spänningen mellan dessa. Genom att spänna manschetten isolerades borrhålsvattnet ovanför och under manschetten från varandra. Denna utrustning har sedan använts på olika djup i borrhål KFM04A, KFM07A och KFM08A. De största spänningarna har mätts upp där borrhålet korsar Randzonen. Stora likströmmar har också uppmätts i jordlinorna som parallellt med kraftförsörjningen förbinder borrhålsplatserna. En tydlig korrelation med uppmätta värden och driften av Fenoskan-kabeln har konstaterats (SKB P-05-256). Detaljerade korrosionspotentialmätningar har också utförts i KFM04A (Appendix 3) och KFM08A (Appendix 4). Mätningar har också gjorts i KFM02A som befinner sig i den tektoniska linsen. Här överensstämmer värdena med dom teoretiska värdena för rostfritt stål och magnesium.

### 0. Oskarshamn

I Laxemar är orsaken till problemen av en mer komplex natur. Här är det växelströmmen som dominerar, men även växelström kan enligt vissa studier (Appendix 5) ge upphov till korrosion. Även likström på upp till 100 V förekommer i jordlinor anslutna till stora kraftledningar. En HVDC-överföring till Gotland kan också ge spänningssättning av marken. Avståndet till HVDC-överföringens jordtag är ungefär desamma som avståndet till motsvarande i Forsmark (c:a 30 km). Överföringen till Gotland är dock i motsats till överföringen till Finland bipolär. Det betyder att man använder två kablar för överföringen och därför sker normalt ingen eller mycket liten spänningssättning av marken. Endast vid problem med eller service av HVDC-överföringen används monopolar drift. Strömmen kan i dessa fall uppgå till c:a 1000 A



I vissa borrhål (KLX08, KLX09, KLX10 och KLX12) har spänningar på upp till 36 V AC uppmätts mellan mätutrustningar i borrhålet och markytan. I KLX09A,

som inte har anslutning till elnätet, uppmättes 24 V AC mellan mätutrustningen som är installerad i borrhålet och offeranoderna placerade på marken vid sidan av borrhålets plats. Dessa har därför inte kunnat kopplas in förrän orsaken till spänningen har eliminerats. En uppmätning av spänningen i markytan runt borrhålet redovisas i en rapport (Appendix 6 A). Vid en kontroll av en närbelägen kraftledning visade det sig att ett gnistgap mellan topplinor/stolpe och jordlinan var kortslutet. Detta medförde att spänningen från topplinorna leddes ner i marken via jordlinan. När kortslutningen i gnistgapet togs bort minskade spänningen i KLX09A till c:a 7 V AC. Detta är dock fortfarande för hög nivå för att korrosionsskyddet skall fungera. Troligtvis är flera gnistgap kortslutna. En fortsatt utredning är därför nödvändig.

Efter ett kraftigt korrosionsangrepp på PSS utrustningen i KLX10 gjordes en detaljerad mätning och provinstallation av offeranoder av zink vid borrhålet. Resultatet redovisas i (Appendix 7). En 500 m lång stång av rostfritt stål installerades i borrhålet. Genom att ansluta offeranoderna som var placerade på markytan omkring 50 meter från borrhålet sänktes stångens potential med omkring 500 mV.

## 0. Identifiering av "riskborrhål"

Med ledning av insamlade data har vissa borrhål bedömts som mer utsatta än andra. I dessa borrhål har ytterligare mätningar utförts. I Forsmark är det KFM04A som passerar genom Randzonen in i den tektoniska linsen och KFM08A som passerar inifrån linsen och ut som bedömts som riskhål. I dessa hål har utrustning för monitorering av strömmen till offeranoderna och referensanoder installerats.

I Oskarhamn har KLX03, KLX08, KLX09, KLX10 och KLX12 bedömts som riskhål. I dessa har vid flera olika tillfällen höga elektriska potentialer uppmätts.

## 0. Installation av utrustning för korrosionsskydd av HMS-systemet.

För att förebygga att långtidsmonitoreringsutrustningen som installeras i borrhålen efter platsundersökningarna korroderar, har olika metoder studerats. En metod är inkoppling av ett katodiskt skydd bestående av offeranoder av zink eller magnesium. Detta är en enkel metod som kräver minimal tillsyn. Nackdelen med metoden är att man endast kommer åt att ansluta utrustningen i den övre änden men detta underlättar å andra sidan kontrollen och utbyte av anoderna. Anslutning till två stycken offeranoder av zink placerade på markytan omkring 50 meter från borrhålet sänker utrustningens potential med omkring 500 mV. Trots att zink visat sig lämplig som offermetall rekommenderas ändå att magnesium används som offermetall. Magnesium ger en större drivande spänning c:a, 1500 mV och ger därför ett kraftigare katodiskt skydd som lämpar sig för olika markförhållanden som dessutom växlar med väder och årstider. En annan och mer komplicerad metod är installation av ett "aktivt" katodiskt skydd. Detta består av påtryckt ström till utrustningen via en likriktare. Denna metod kräver dock en mer omfattande tillsyn och att elförsörjningen är permanent installerad till borrhålet.

Som en generell metod för skydd av HMS-systemet har den första metoden med magnesium som offeranoder valts. Denna metod räcker i de flesta fall till för att ge en tillräckligt stor skyddsspänning till monitoringsutrustningen. Den övre änden på den rostfria stång som bär upp monitoringsutrustningen har kopplats till två Mg-elektroder som placerats på en lämplig och fuktig plats intill borrhålets plats. Arean på anslutningskablarna har valts till minst 10 mm<sup>2</sup> för att undvika spänningsfall. Vid installationen har spänning och ström i kablarna mätts och bokförts. Elektroderna skall vara inkopplade så länge monitoringsutrustningen befinner sig i borrhålet, och bör kontrolleras regelbundet. En beräknad livslängd för elektroderna tas fram med hjälp av den uppmätta strömmen. Inom den beräknade tiden bör sedan elektroderna bytas ut. Genom teflonisering av stängerna ner till syrefritt djup har man ytterligare ökat skyddet för korrosionsangrepp.

I Forsmark vid borrhålets platserna KFM04 och KFM08 har system för kontinuerlig övervakning installerats. I KFM04A har en mätelektrod av zink monterats på monitoringsutrustningen vid 235m borrhålsdjup. Borrhålsdjupet har valts där borrhålet passerar Randzonen. Vid båda borrhålen har en referenselektrod av Cu/CuSO<sub>4</sub> grävts ner intill borrhålets plats. Spänningen från mätelektroden mäts mot referenselektroden och loggas kontinuerligt av HMS-systemet. Även strömmen i kablarna till offeranoderna loggas på samma sätt. Meningen med installationen är att kontinuerligt övervaka jordströmmarna i området.

## **0. Genomgång av mätsystem med avseende på påverkan av jordströmmar**

En genomgång av varje mätsystems möjliga påverkan av elektriska markspänningar har gjorts. De system som mäter med elektroder som står i direkt kontakt med borrhålsvattnet bedöms som möjligen påverkbara. I första hand är detta kemisystemen som i Forsmark har visat ostabilare värden vid mätningar i randzonen än mätningarna i linsen. Krökningsmätningar med vissa metoder påvisar också onormala värden ner till c:a 300 m. Andra mätsystem som kan ha påverkats är vissa tryckmätningar med PSS som visat onormala värden vid spänningsförande sektioner bl:a i KFM04A. Dessa värden har rensats bort vid leverans till SICADA. En jämförelse mellan temperaturloggningar och konduktivitetsloggningar med två olika typer av mätutrustningar (hydro och geofysik) har gjorts (Appendix 8). Som det framgår stämmer dessa temperaturloggningar överens inom någon tiondel grad mellan metoderna, vilket kan anses som mycket bra, och ett tecken på att dessa mätningar inte är påverkade av eventuella elektriska fält.

## **0. Slutsatser och rekommendationer**

### **0. Laxemar**

I Laxemarområdet får man tills vidare utgå från att högspänningsledningarna som passerar genom området är orsak till spänningssättning av marken och därmed till problemen med korrosion på mätutrustningar. HVDC-överföringen till Gottland kan också ge spänningssättning av marken. Avståndet till HVDC-överföringens jordtag är ungefär desamma som avståndet till motsvarande i Forsmark (c:a 30 km). Överföringen till Gottland är dock till motsats mot överföringen till Finnland bipolär. Det betyder att man använder två kablar och därför sker ingen eller mycket liten spänningssättning av marken vid normal drift.

Endast vid problem med eller service av HVDC-överföringen används monopolär drift. Strömmen i marken kan vid dessa tillfällen vara upp till 1000 A. Att likström transporteras via jordlinor och andra ledande strukturer från HVDC-överföringens jordtag till borrplatserna har visats vid mätningarna i Forsmarksområdet.

### **Fortsatta undersökningar och frågeställningar som bör hanteras.**

1. Fortsatt övervakning av markspänningar med hjälp av mätkors enligt 1.2 rekommenderas. Även om något direkt samband mellan anomalier i mätkorsens registreringar och korrosionsskador inte hittills har påvisats, så är detta den enda framtida dokumentationen av den elektriska miljön i området. (Mätningarna med mätkors startade fört efter att korrosionsskadorna upptäcktes.) Registreringen av data sker idag i HMS-systemet och utgör därför ingen större extrakostnad. Omhändertagandet och analysen av dessa data bör dock göras regelbundet. Aktivitetsplan för detta arbete tas fram snarast. Registreringarna vid mätkorsen har vid minst ett tillfälle gett möjlighet att identifiera ett anomalt beteende i HVDC-överföringen, som först i efterhand har bekräftats av ledningsägaren.
2. Driftdata från HVDC-överföringen till Gottland korreleras med registreringar i mätkors och mätningar i jordlinor vid några borrplatser
3. Kontakt med Svenska Kraftnät och Eon tas för att påvisa behovet av översyn av kraftledningarna. Översynen bör omfatta gnistgap på samtliga kraftledningar till och från OKG. Installation av isolerade topplinor bör övervägas på 400 kV ledningarna samt installation av gnistgap på 130 kV ledningar. 130 kV ledningar har normalt inte gnistgap. Kontakten mellan stolpar och topplinor medför också att stolpfundamenten leder ner spänning i marken.
4. Mätning av spänningen över gnistgapen kan eventuellt ge en del information. På en sträcka med obruten lina bör störst spänningen uppträda i ändarna. På detta sett kan man sedan kartlägga spänningens utbredning i området.
5. Närheten från borrplats till marklinan kan vara orsak till höga markspänningar. Denna kan kanske lokaliseras med magnetfältsmätare? Stark signal – stor ström – hel lina. Alternativt kan metalldetektor användas.
6. Längre potentialkurvor bör tas upp kring KLX09. Dels bör en längre kurva tas mot väster, mot ledningen för att få en bättre bild av hur kraftledningarna spänningssätter omgivningen. Nära ledningarna kartlägger man markpotentialen detaljerat och mäter även mot ledningarnas jordlinor. Man bör därmed kunna fastställa störningsorsaken.
7. Vid KLX09 i riktning från kraftledningen, mot öster torde man finna en punkt där spänningen mellan borrhål och mark blir minimal och där offeranoderna eventuellt skulle kunna placeras och fungera. Detta är dock inte en säker metod då man inte kan verifiera strömmarnas utbredning i djupled.
8. Ställverket vid kärnkraftverket är ett ställe där en stor nettoström matas ned i marken därför att många ledningar slutar här. Den strömmen kan sedan ledas ut mot borrhålen via marklinorna.
9. Platser längs kraftledningarna där förhållanden ändras: skruvningspunkter, punkt där parallella ledningar viker av från varandra, etc. kan ge extra ström i marken.

## 0. Forsmark

### **Fortsatta undersökningar och frågeställningar som bör hanteras.**

I Forsmark har med säkerhet konstaterats att HVDC-överföringen till Finland är orsaken till spänningssättning av marken och bedöms därmed som orsak till problemen med korrosion av mätutrustning. Avståndet till HVDC-överföringens jordtag är c:a 28 km. Överföringen till Finland är i dag monopolär. Det betyder att man använder endast en kabel och vattnet som återledare. Därför sker en stor spänningssättning av marken vid normal drift. (1250 A) Att likström transporteras via jordlinor och andra ledande strukturer från HVDC-överföringens jordtag till borrhålplatserna har visats vid mätningarna.

En utbyggnad av HVDC-överföringen är planerad att ske med ytterligare en kabel. Driftstart var planerad till hösten 2010 men är nu senarelagd ett år. Vid normal drift balanseras strömmen i kablarna så att ingen eller liten spänningssättning i sker i marken. Max returström är beräknad till 320 A men vid service och driftavbrott på en kabel kan strömmen bli upp till 1650 A.

1. Fortsatt övervakning av markspänningar med hjälp av mätkors enligt 1.2 rekommenderas. Även om något direkt samband mellan anomalier i mätkorsens registreringar och korrosionsskador inte hittills har påvisats, så är detta tillsammans med mätningarna i KFM04A och KFM08A den enda framtida dokumentationen av den elektriska miljön i området. (Mätningarna med mätkors startades efter att korrosionsskadorna upptäcktes.)
2. Omhändertagandet och analysen av dessa data bör göras regelbundet. Aktivitetsplan för detta arbete tas fram snarast. Registreringarna vid mätkorsen har vid minst ett tillfälle gett möjlighet att identifiera ett anomalt beteende i HVDC-överföringen, som först i efterhand har bekräftats av ledningsägaren. Registreringen av data sker idag i HMS-systemet och utgör därför inge större extrakostnad.
3. Kontinuerlig övervakning och analys av spänningar i KLX04A och KLX08A bör fortsätta. Dessa två borrhål utgör de största riskerna för korrosion av utrustning och kan användas som referenser till övriga. Mätningar i den tektoniska linsen har visat på att markströmmar inte förekommer där i samma utsträckning, åtminstone till en betydligt lägre grad (Appendix 9).
4. Strömmen i kablarna till offeranoderna vid KFM04A och KFM08A bör ge en indikation om offeranodernas kondition. När strömmen har minskat till en miniminivå bör offeranoderna bytas ut.

**Generellt**

1. Utifrån mätningar som gjorts vid installationen av offeranoderna görs en detaljerad beräkning för inom vilken tid offeranoderna bör bytas ut vid varje borrhålsplats. Ett minsta strömvärde och en aktivitetsplan för utbyte av alla offeranoder tas fram.
2. Vid framtida tillverkning av mätutrustning rekommenderas att i möjligaste mån konstruera och bygga dessa så att galvanisk kontakt mellan utrustning, mark och borrhålsvattnet undviks samt att mätningar utförs med utrustningarna elektriskt isolerad från jordlinenätet.
3. Erfarenheter kan hämtas vid demontering av mätutrustning som varit installerad i borrhål i SFR. Demonteringen är planerad att ske i januari 2008.

## Appendix 1

Möte 2007-04-11 om jordströmmars eventuella inverkan på mätresultat från mark- och borrhålsundersökningar vid platsundersökningarna i Laxemar och Forsmark

**Tid:** 11 april, 2007 kl. 09.00-10.30

**Plats:** Telefonmöte

### 1. Bakgrund

Genom arbeten som bedrivits under ledning av Rolf Sandström har det konstaterats att undersökningsområdena i såväl Forsmark som Laxemar-Simpevarp påverkas av externt genererade elektriska fält. Forsmark influeras av den monopolära högspända DC-kabeln mellan Sverige och Finland, medan vissa effekter av den bipolära kabeln mellan Gotland och fastlandet observerats i Laxemar-Simpevarpsområdet. Exempelvis har tydlig korrelation påvisats mellan spänningsvariationer i Fennoskan kabeln och jordströmmars amplitudförändringar i Forsmark. Dessutom finns ett växelströmsbrus som i Forsmark tycks förekomma ner till ca 300 m vertikaldjup, åtminstone i kandidatområdet nordvästra del.

Man får anta att detta är relaterat till kraftverksdriften och omkringliggande installationer. Motsvarande AC-brus har upptäckts här och var i Laxemarområdet. Vid vissa borrhål är spänningarna påfallande höga. För Laxemars del finns indikationer på att kraftledningarna som genomkorsar området på några ställen har brister i jordlinans isolering mot mark och således "läcker" ström.

Frågan om jordströmmar och deras konsekvenser för platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn har varit uppe till diskussion i QC-gruppen. Beträffande korrosionsaspekten kan frågan sägas vara väl omhändertagen, eftersom ett mycket seriöst arbete har bedrivits under ca tre års tid under ledning av Rolf Sandström, dels för att kartlägga jordströmmarnas utbredning och karaktär, men även för att finna motåtgärder för att förhindra snabba rostangrepp på t ex långtidsinstallerad monitoringsutrustning i borrhål. Slutlig dokumentation av detta arbete återstår dock att göra. Det finns emellertid även indikationer, om än ett fåtal, på att vissa mätdata störts av de konstaterade elektriska fälten, ibland i sådan omfattning att data har måst refuseras. Risken för datastörningar på grund av förekomsten av jordströmmar har hittills inte behandlats systematiskt, varför QC-gruppen begärt att denna aspekt belyses ytterligare. En systematisk genomgång av den potentiella risken för att de mätinstrument som används under platsundersökningen kan störas (och eventuellt har störts) av yttre elektriskt brus borde göras. Huvudsyftet med dagens möte var att diskutera detta och att lägga upp en plan för hur frågan ska hanteras framöver.

## 2. Vilka mätmetoder kan tänka påverkas av jordströmmar?

Förekomsten av jordströmmar observerades första gången i Forsmark 2004 i samband med fullständig hydrokemisk karaktärisering i djupborrhålet KFM04A, då kraftiga korrosionsangrepp på ”rostfri” utrustning konstaterades efter mycket kort exponeringstid. I samband med detta observerades vissa uppenbarligen störda mätdata från kemisonden avseende pH- och redoxmätningar, vilket föranledde errormarkering. Vid senare mätningar i samma borrhål med PSS förekom instabila tryckdata, dock endast i någon enstaka testsektion, och även utspädningssonden hade en del dataproblem som sannolikt kan härledas till jordströmmarna. Också senare har vissa störningar som kan relateras till jordströmmar rapporterats, främst avseende borrhåls- och markgeofysiska mätningar (se nedan), ett fåtal tryckmätningar vid PSS-tester (KFM08A) samt, ganska uttalat, vid bergspänningsmätningar med hydraulisk metod (HF/HTPF).

Lennart redogjorde för de senare mätningarna. Utföraren använder sig av en kombinationssond (kallat Mosnier tool) som består av ett resistivitetsinstrument för identifiering och orientering av elektriskt konduktiva sprickor samt ett krökmätningssystem baserat på magnet-accelerometerteknik. Krökmätningarna med Mosnier tool i de fem hål i Forsmark samt ett i Laxemar som testats ger mycket god överensstämmelse med SKB:s officiella krökmätningar (Flexit och Maxibor) under ca 250 – 350 m vertikaldjup. Ovanför detta djup störs dock instrumentet i Forsmarkshålen ganska kraftigt av växelströmsbrus, så att något felaktiga azimuth/inklinationsvärden genereras. Samma tendens, om än svagare kan iaktas i Laxemarhålet. Problemet med störda mätdata är i detta fall omhändertaget.

Dels har (nästan) inga HF/HTPF-tester utförts på de elektriskt störda djupen, dels är utföraren ålagd att använda SKB:s ”in use-flaggade” krökdata i stället för krökdata från Mosnier tool. Krökdata från de fem borrhålen med det senare instrumentet kan dock på ett bra sätt illustrera utbredningen av AC-fältet mot djupet i kandidatområdet nordvästra del. Mötesdeltagarna gjorde därefter en systematisk genomgång av de viktigaste mätmetoderna och instrumenten som använts vid platsundersökningarna och försökte, utifrån mätprinciperna och instrumentens konstruktion, bedöma den potentiella risken för att mätdata kan ha störts i avgörande grad.

### 2.1 Flyg, mark- och borrhålsgeofysiska mätningar

Johan Nissen hade sammanställt nedanstående bedömning av geofysikområdet. Johan menar att tillverkare av geofysiska instrument generellt är väl medvetna om riskerna med externa elektriska fält, och att de flesta moderna geofysiska instrument är väl skärmade. När det gäller jordströmmars möjliga/tänkbara påverkan på geofysiska mätningar tror jag följande:

1. **BIPS/Radar:** det finns inga sannolika mekanismer för en påverkan från små yttre elektriska fält.

2. **Geofysisk borrhålsloggning:** det är tänkbart med viss påverkan på framförallt SP och resistivitetsloggning. När det gäller SP är den absoluta nivån dock inte avgörande (beroende på referenselektrodens godtyckliga placering), utan det är anomalier som används. Självfallet kommer SP att påverkas av samma elektriska gradient som observeras i ”mätkursen” och som i sin tur har visats korrelera med bl.a. Fenoskan. Eftersom nivåförändringarna är sällsynta (typiskt ett fåtal gånger per dygn) är merparten av SP-anomalierna dock ”äkta”. SP används inte självständigt,

utan kan ibland (t.ex. enhålstolkningen) utgöra ett stöd i tolkningen av andra anomalier. Diagrammet nedan visar SP från kärnborrhålen. I ett fåtal borrhål har problem observerats i Normal\_Resistivity loggningarna.

3. **Seismiska metoder** (VSP/refraktion/reflexion): det finns inga sannolika mekanismer för en påverkan från små yttre elektriska fält.

4. **Markgeofysik:** resistivitetmätningar (CVES m fl) är automatiskt korrigerade för elektriska fält. Magnetometri påverkas påtagligt av magnetfältet från Fennoskan.

Denna påverkan är kvantifierad, och en korrekt korrektion utförd. Övriga metoder (markradar och elektromagnetiska metoder) är opåverkade.

5. **Flyggeofysik:** som ovan. Slut Johans framställning.

## 2.2 Geohydrologiska mätningar

Thomas redogjorde för SKB:s mätutrustningar.

PSS-utrustningens tryckgivare (som är CE-märkta) bedöms som mindre påverkbara av jordströmmar. Vissa begränsade problem har dock, som ovan visats, konstaterats i ett par borrhål, åtminstone i KFM04A där det varit relaterat till DC-fältet. 4-10 mA dataöverföring bedöms relativt okänslig för störningar.

Även HTHB-utrustningen bedöms som mindre påverkbar. Tryckmätningen kan jämföras med den i PSS. Kalle ställde frågan hur impellern är skärmd från externa fält. Thomas såg ingen större risk för påverkan.

PFL (Posiva flödeslogg). Generellt kan sägas att vår nuvarande kunskap om konstruktionen av detta system är för dålig för att en trovärdig riskbedömning ska kunna göras.

Moniteringsutrustningen är elektriskt skärmd upp till ytan och bedöms löpa obetydlig risk för externa elektriska störningar. Dessutom är denna utrustning korrosionsskyddad i de borrhål där behov bedömts finnas.

## 2.3 Hydrogeokemiska mätningar

Rolf bedömde att mobila kemienhetens sondmätningar (dvs. *i hålet-mätningar*) av pH, Eh (redox), temp och EC löper en klart förhöjd risk att påverkas av jordströmmar, varvid Eh- och pH-elektrodena bör vara mest känsliga. Data från borrhål i randzonen jämfört med data från borrhål i linsen "krånglar" påfallande ofta, men det är svårt att avgöra i vilken grad jordströmmarna är orsaken. Borrhålsdata jämförs alltid med motsvarande data från ytan, varför man har bra underlag för att bedöma om datakvaliteten är undermålig. Beträffande tryckdata kan störningsrisken bedömas som lika stor som för hydroutrustningarna, dvs. tämligen obetydlig. Dataöverföringen är digital, dvs. mycket störningsokänslig.

## 2.4 Utspädningssonden

I detta system förekommer tryckmätningar samt utspädningsmätningar med fluorescensmetod. Risker för störning finns, men bedöms som måttliga. I några fall har oförklarliga resultat uppträtt. Digital dataöverföring som för kemi.

## 2.5 Övrigt

Se ovan om krökmätningar med Mosnier tool.



### 3. Diskussion – actionpunkter

Mötet diskuterade vilka metoder som skulle kunna tillämpas för att öka kunskapen om jordströmmarnas eventuella påverkan på mätdata av olika kategorier. Ett sätt kan vara att jämföra data från samma parameter som är framtagna med olika instrument.

**A.** Det beslöts därför att **Johan Nissen** skall göra en jämförande studie av vätskekonduktivitet och temperatur mellan data framtagna med kemisonden, PFL och borrhålsgeofysisk loggning.

**B.** En annan actionpunkt, som redan initierats men inte slutförts, är att systematiskt gå igenom tryckdata från PSS med avseende på misstänkta störningar. **Rolf Sandström** driver frågan och tar hjälp av Geosigma.

**C.** Motsvarande genomgång skulle kunna göras av misstänkta pH, EC, redox- och tempdata från mobila kemienheten. Undersöks om resurser finns. **Rolf Sandström** driver frågan och tar sannolikt hjälp av Geosigma.

**D.** Det är också viktigt att höja medvetenheten hos utförare och dataanalytiker att jordströmmar förekommer i våra undersökningsområden och att i samband med upphandling ställa frågan om hur väl skärmade de olika mätinstrument som planeras användas är mot jordströmmar. Eftersom platsundersökningarna nu i stort sett är slutförda, blir detta i första hand en fråga för efterföljande projekt.

**PLU-teknik stödjer respektive projektledare** som har att hantera kommande mätupphandlingar.

### 4. Diskussion om hur frågan om jordströmmar ska hanteras fortsättningsvis.

Mötets mening var att ovanstående actionpunkter, utom den sista som är mer långsiktig, genomförs under våren, varefter en bedömning görs av undersökningsledarna om ytterligare något möte behöver sammankallas (t ex med inkallade experter) eller om frågan kan hållas inom QC-gruppen. PLU-tekniks projekt kommer att i sin avrapportering redovisa projektets resultat och slutsatser. Detta ger underlag till de projektutvärderingsrapporter som planeras efter avslutade platsundersökningar där den kunskap som uppnåtts om mätproblem relaterade till jordströmmarna redovisas. Mötets slutsats var att sannolikt merparten av de fel som har genererats av jordströmmar har uppmärksammats inom ramen för ordinarie kvalitetskontroller av data, och att man med ovan föreslagna åtgärds punkter, där vissa datamängder föreslås kontrolleras systematiskt med avseende på störningar orsakade av jordströmmar, kan eliminera eventuella ytterligare

## 5. Appendix 2

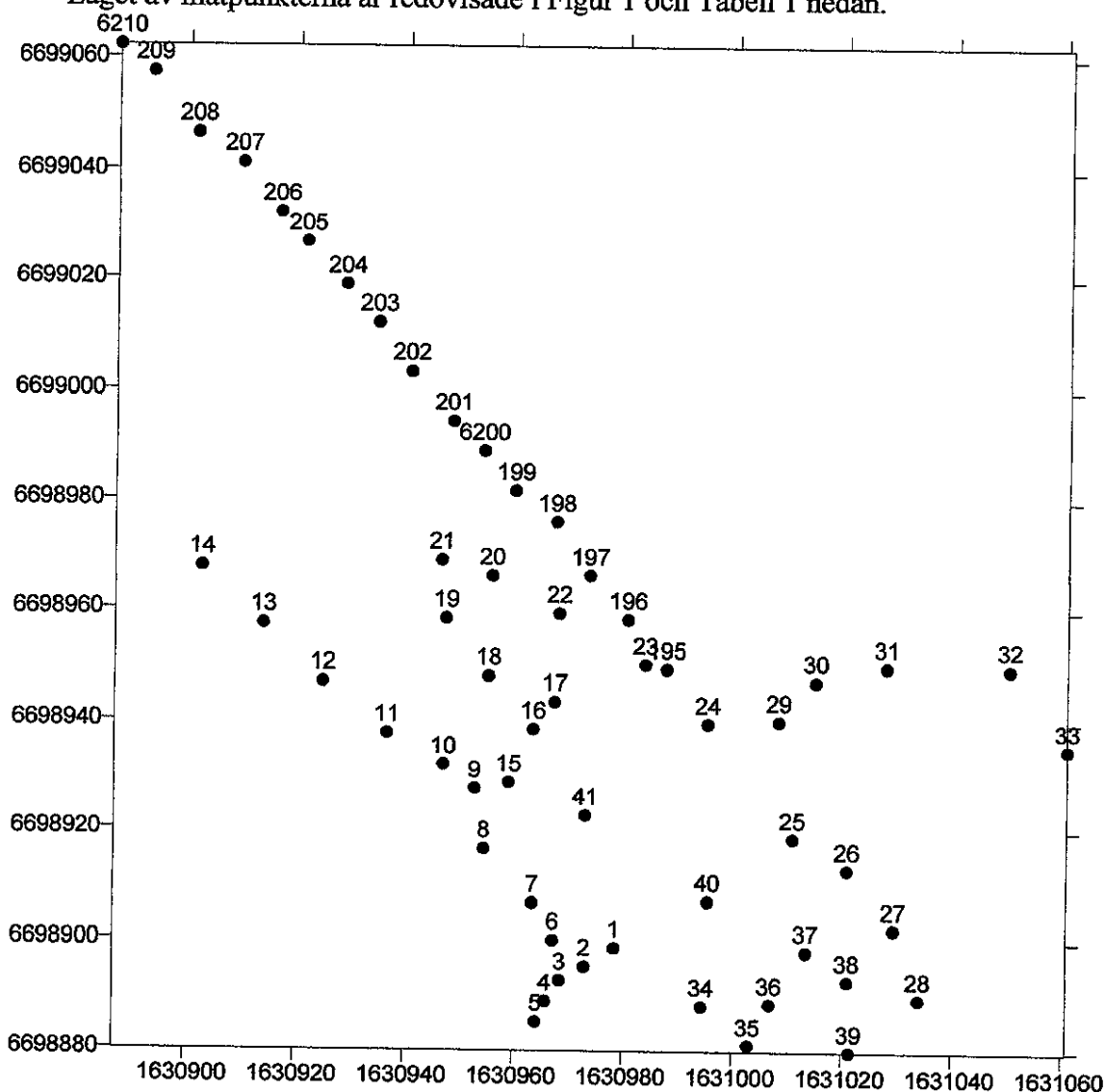
### Självpotentialmätningar vid Borrplats 4

Johan Nissen och Jaana Gustafsson, 2004-08-27.

#### Inledning

Som en fortsättning av SP-mätningarna redovisade i rapport "SKB AP PF 400-04-68 Forsmark site investigation SP measurements at DS4", genomfördes ytterligare SP-mätningar den 25 augusti 2004 i området runt Borrplats 4.

Läget av mätpunkterna är redovisade i Figur 1 och Tabell 1 nedan.



**Figur 1.** Läget av mätpunkter för SP-mätningar 25 augusti 2004. Punkt 41 ligger placerad på i nordvästra hörnet av betongplattan på BP4. Punkterna 195 till 6210 är samma som för reflektionsseismiken. Punkterna 25-28 är belägna längs vägen fram till BP4.

**Tabell 1. Koordinater för mätpunkter i Figur 1 angivna i RT90 2.5 gon W / RHB70.**

a. ID	Y	X
2. 195	6698949.422	1630987.622
3. 196	6698958.272	1630980.495
4. 197	6698966.197	1630973.494
5. 198	6698976.012	1630967.345
6. 199	6698981.687	1630959.782
7. 6200	6698988.913	1630954.002
8. 201	6698994.283	1630948.289
9. 202	6699003.299	1630940.605
10. 203	6699012.003	1630934.588
11. 204	6699018.851	1630928.638
12. 205	6699026.767	1630921.361
13. 206	6699032.170	1630916.567
14. 207	6699041.212	1630909.618
15. 208	6699046.490	1630901.333
16. 209	6699057.345	1630893.123
17. 6210	6699062.142	1630886.971
18. 1	6698898.722	1630978.410
19. 2	6698895.368	1630973.012
20. 3	6698892.789	1630968.505
21. 4	6698888.977	1630965.883
22. 5	6698885.199	1630964.179
23. 6	6698899.992	1630967.234
24. 7	6698906.730	1630963.403
25. 8	6698916.446	1630954.498
26. 9	6698927.533	1630952.718
27. 10	6698931.972	1630946.947
28. 11	6698937.733	1630936.620
29. 12	6698946.974	1630924.880
30. 13	6698957.360	1630913.927
31. 14	6698967.735	1630902.699
32. 15	6698928.686	1630958.932
33. 16	6698938.511	1630963.362
34. 17	6698943.482	1630967.230
35. 18	6698948.064	1630955.106
36. 19	6698958.376	1630947.283
37. 20	6698966.112	1630955.651
38. 21	6698968.939	1630946.443
39. 22	6698959.306	1630967.947
40. 23	6698950.211	1630983.730
41. 24	6698939.660	1630995.241
42. 25	6698918.476	1631010.815
43. 26	6698912.887	1631020.768
44. 27	6698902.231	1631029.339
45. 28	6698889.572	1631033.935
46. 29	6698940.127	1631008.195
47. 30	6698947.243	1631014.837
48. 31	6698949.938	1631027.711
49. 32	6698949.632	1631050.168
50. 33	6698935.147	1631060.809
51. 34	6698888.148	1630994.430
52. 35	6698881.021	1631002.966
53. 36	6698888.595	1631006.833
54. 37	6698898.124	1631013.389
55. 38	6698892.821	1631020.939
56. 39	6698879.827	1631021.408
57. 40	6698907.140	1630995.401
58. 41	6698922.686	1630972.947

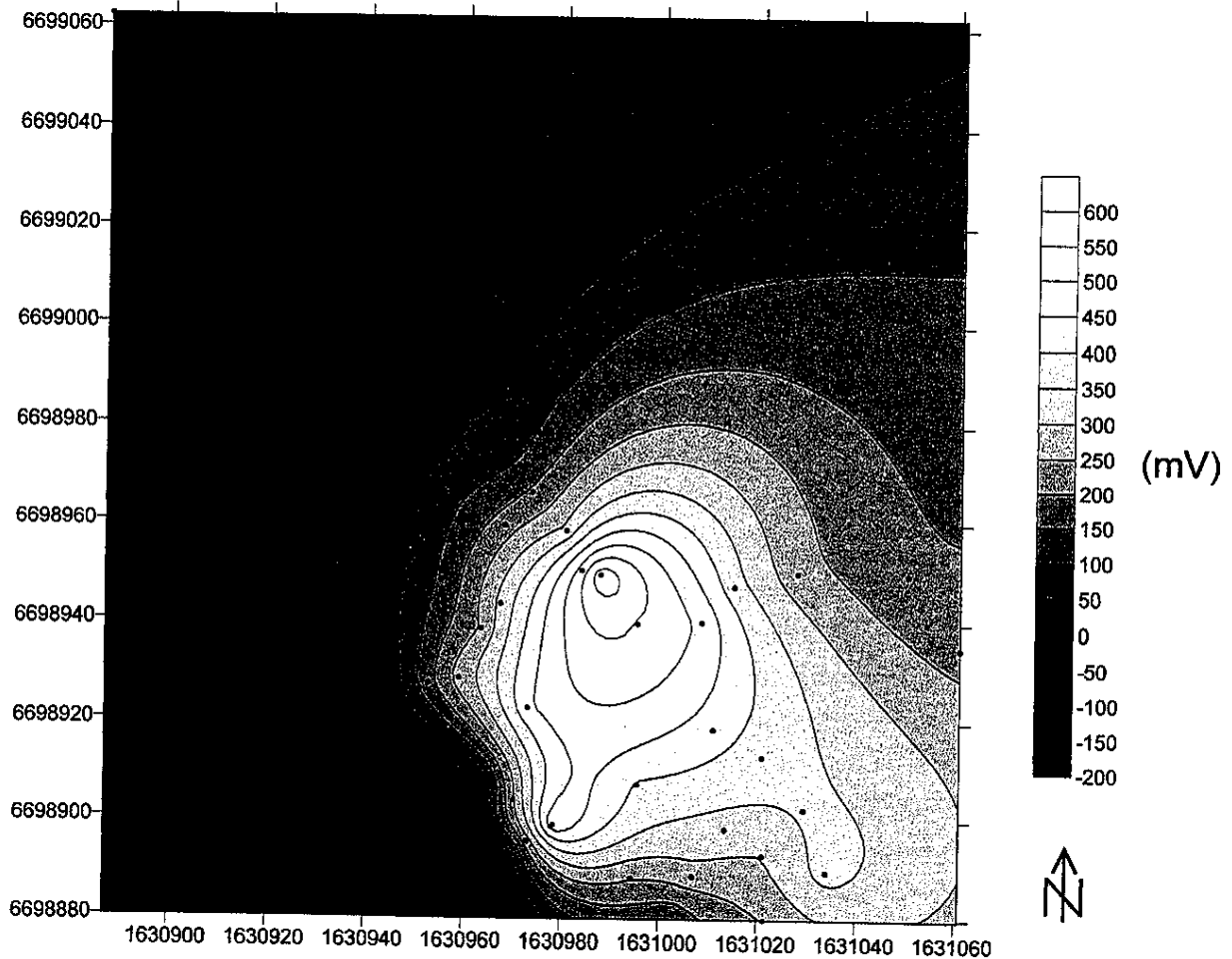
SP-mätningarna utfördes enligt ovannämnda rapport och samma referensplats användes. Utrustningen som användes var en SAS300C tillsammans med icke-polariserande elektroder (Pb-PbCl). Alla mätpunkterna är inmätta med en noggrannhet om ca 0,5-1 m med en Trimble AgGPS med differentiell korrektion.

Det måste nämnas att mätningar med SP försvåras då det i området finns en stor mängd oisolerade jordlinor, dels på borrhplatsen och dels längs med vägen till Borrhplats 4.

## 6. Resultat

I Figur 2 redovisas resultaten av SP-mätningarna i form av en ytkarta över självpotentialen (angiven i mV) i området runt BP4. Referenspunkten är identisk med referenspunkten i tidigare utförd mätning. Avläsningarna är generellt av hög kvalitet, i den meningen att de är reproducerbara. En kontrollavläsning utfördes på en punkt från den första mätningen, och resultaten var nästan identiska (ca 730 mV).

Observera att interpolationen är en matematisk beräkning, vilket kan innebära att kartbilden långt bort ifrån mätta punkter kan vara missvisande.



*Figur 2. Ytkarta över självpotentialen i området runt BP4.*

I Figur 2 syns tydligt att värdena för självpotentialen är som högst i området runt transformatorstationen för att sedan sjunka kraftigt mot nordväst. I övrigt är självpotentialen markant högre längs med vägen till BP4.

En sannolik förklaringsmodell till denna observation är att jordlinan matas med ström, antingen från elskåpet vid BP4 (mest troligt att döma av utseendet på ytkartan Figur 2) eller från elskåpet vid korsningen mellan "nya vägen" och vägen upp till BP4.

**U P P D R A G S R A P P O R T****Minnesanteckningar från  
försöksinstallation av  
offeranoder av magnesium vid  
borrhål KFM04 Forsmark,  
06-10-04.**

Utfärdare: Claes Taxén

Sektion:

Datum: 2006-10-05

Er referens: Rolf Sandström  
SKB Äspölaboratoriet  
572 95 Figeholm

KIMAB:s referensnummer:706622-579

Ert referensnummer: Beställningsnummer 14587/2

Godkänd av:

---

NoMacro [Attest chef]

## 0. Förutsättningar

Rostfri casing ~100m

Hålets djup 800m

Stång 500 m obelagd rostfri

På platsen finns två stycken borrhål. Försöksinstallation gjordes bara till den ena hålet. Det andra hålet var vid tillfället tomt.

En plats som gjorde ett sankt intryck och samtidigt var tillgänglig för grävmaskin valdes ut. Grävmaskin fanns dock inte tillgänglig och två magnesiumanoder placerades ut tillfälligt. Med spade grävdes 'diken' cirka 1 meter långa och tre decimeter djupa. Jorden vid platsen var sandjord och relativt torr.

Avstånden mellan anoderna var omkring 4 meter. Offeranoderna, inneslutna i tygpåsar med högkonduktiv lera täcktes lätt med jord. En dunk, cirka 20 liter vatten hälldes över platserna med offeranoder.

## Mätningar

Gjorda mätningar redovisas i Appendix.

### Övrigt

Potentialmätningar i detta borrhål har visat stora skillnader mellan övre och under delar. 2,5 V likspänning har mätts upp.

## Resultat och diskussion

Mätningar av jordtagsresistansen hos offeranoderna visar ovanligt höga värden. Detta torde bero på jordart och fukthalt. Sandjorden på platsen var relativt torr och stora mängder vatten fanns inte tillgängligt vid platsen för borrhålet.

Mätningar av ström mellan stång och offeranoder då en eller båda anoderna ansluts till stängen visar relativt låga värden. Sannolikt begränsas strömmen mest av anodernas höga jordtagsresistans.

Meningsfulla mätningar av stångens förflyttning i potential kunde inte göras. Med användning av den ena anoden som referenselektrod uppmättes en förflyttning från 1,1 V till 0,98 V. På grund av kortslutningen mellan casing och stång så måste potentialen hos såväl stång som casing och eventuellt armeringsnät också förflyttas av anoden. Förändringen i potential blir därför relativt liten ~120 mV då en magnesiumanod ansluts.

## 7. Slutsatser

Marken vid KFM04 är relativt torr och högresistiv. Varje magnesiumanod ger därför endast en låg skyddström till stången i borrhålet. Åtgärder som kan vidtas för att öka skyddströmmen kan vara att förlägga anoderna djupare och därmed fuktigare samt att använda fler än två offeranoder.

Stången bör skiljas elektriskt från casingen. Annars går en stor del av strömmen från anoderna åt att skydda casing och eventuellt armeringsnät.

För skydd av utrustning som sänks ned i detta borrhål kan man behöva överväga kraftigare åtgärder än offeranoder av magnesium. Ett aktivt skydd med så kallad påtryckt ström kan erfordras. Utrustningen till ett aktivt katodiskt skydd drivs företrädesvis med 220 V AC men det kan gå också med ett bilbatteri. För att trimma in ett aktivt skydd och bedöma skyddsverkan djupt ned i borrhålet vore det av stort värde om en referenselektrod kunde sänkas ned tillsammans med utrustningen. En sådan referenselektrod kan var av typ Cu/CuSO<sub>4</sub> eller bestå av en bit zinkmetall som då fungerar som 'pseudoreferens'.

Utplacering av en referenselektrod långt ned i borrhålet gör det möjligt att bedöma behov och verkan av det katodiska skyddet också långt under markytan. Utplacering av ytterligare magnesiumanoder alternativt installation av ett aktivt katodiskt skydd kan (och bör) göras efter det att moniteringsutrustningen installerats. Referenselektroden däremot bör placeras ut i samband med att moniteringsutrustningen installeras.



## Appendix- Mätningar

Magnesiumanoderna placerades ut omkring 13.30.  
 Dikena med anoderna fylldes igen.  
 En dunk vatten ~20 liter hälldes över de återfyllda dikena. 20 liter vatten fördelades på de båda dikena. 13.50  
 Jordtagsresistansmätningar 14.40  
 Ena anoden 1055  $\Omega$ , 1056  $\Omega$   
 Andra 1206  $\Omega$ , 1204  $\Omega$   
 Detta befanns vara oväntat höga värden. För att utesluta mätfel placerades jordtagsresistansmätarens jordspett om. Något förändrade positioner:  
 Andra 1046  $\Omega$ , 1046  $\Omega$   
 Ena anoden 1121  $\Omega$ , 1117  $\Omega$   
 Helt förändrade positioner på jordspetten:  
 Ena anoden 1041  $\Omega$ , 1041  $\Omega$   
 Andra 972  $\Omega$ , 959  $\Omega$

Jordtagsresistans mättes också på stången: 85,5  $\Omega$  84,9,  $\Omega$  85,5  $\Omega$

Stången i borrhålet befanns var i metallisk kontakt med casingen i borrhålet.(0,4  $\Omega$ ).  
 Ställningen som håller fast röret befanns vara isolerad. Sannolikt metallisk kontakt mellan stång och casing p. g. a. hålets lutning samt casingens längd.

### Spänningar mellan

Stång- ena anoden	1,121 V DC	0,43 V AC
Stång- andra anoden	1,1 V DC	0,42 V AC

### Spänningar mellan

Stång- ena anoden då den andra anslöts till stången	0,98 V DC	0,40 V AC
---	-----------	-----------

Magnesiumanoderna anslöts en i taget till stången.

Ström mellan stång och ena anoden	1,75 mA
Ström mellan stång och andra anoden	0,9 mA

Detta befanns vara låga strömmar ( i linje med de höga jordtagsresistanserna som uppmätts).  
 Ytterligare vatten hälldes över platsen för magnesiumanoderna.

Magnesiumanoderna anslöts åter en i taget till stången.

Ström mellan stång och ena anoden	1,91 mA efter 10 minuter 2,05 mA
Ström mellan stång och andra anoden	1,05 mA efter 10 minuter 1,07 mA

Ström mellan stång och anoderna då båda anslöts till stången 2,83 mA DC, 1,15 mA AC

Slut på mätningar.

## 8. Appendix 4

Mätningar i KFM08A, B, C och D samt KFB02A och B

### Inledning:

På uppdrag av SKB har A.Erikssons Korrosionskonsult AB utfört startmätningar av galvaniskt korrosionsskydd på rostfria stänger med och utan instrumentering på KFM 08 A-D samt KFM 02 A-B. E-Off-mätningar har ej utförts då drifttiden varit för kort. I samband med potentialmätningarna har även växelspanning på stång och casingrör mätts. Provpolarisering med portabel likriktare har utförts med en strömutmatning av 0,5A .

(mätningen har ingen akademisk betydelse)

Resultaten av utförda mätningar gjord den 26/9 2007 redovisas i nedanstående tabeller

### KFM 08 A (Startmätningar)

Mätobjekt	E-korr (mV)	Växelsp. (mV)	E-On (mV)	E-Off (mV)	Pot. påtryckt (mV)
Rostfri stång	-480	700	-1000	Ej mätt	-6300
Rostfritt casingrör	-1000	700	-1250	Ej mätt	-6500

När rostfritt rör och casingrör sammankopplas blir potentialen med påtryckt ström -5500mV

### KFM 08 B Instrumenterat (Startmätning)

Mätobjekt	E-korr (mV)	Växelsp. (mV)	E-On (mV)	E-off (mV)	Pot. påtryckt (mV)
Rostfri stång	-1400	1050	-1400	Ej mätt	-3500
Rostfri Casing	-1400	1050	-1400	Ej mätt	-3500

Anm: Den rostfria stängen och casingröret är i elektrisk kontakt

### KFM 08 C Instrumenterat, tefloniserad (startmätning)

Mätobjekt	E-korr (mV)	Växelsp. (mV)	E-On (mV)	E-Off (mV)	Pot. påtryckt (mV)
Rostfri stång	-630	600	-1100	Ej mätt	-5200
Rostfri casing	-1350	750	-1350	Ej mätt	

### KFM 08 D Instrumenterat, tefloniserad (startmätning)

Mätobjekt	E-korr (mV)	Växelsp. (mV)	E-on (mV)	E-Off	Pot. påtryckt (mV)
Rostfri stång	-100	550	-1000	Ej mätt	-8000
Rostfri casing	-100	550	-1000	Ej mätt	

Anm. Den rostfria stängen och casingröret är i elektrisk kontakt

**KFM 02 A Instrumenterad (startmätning)**

Mätobjekt	E-korr (mV)	Växelsp. (mV)	E-On (mV)	E-off (mV)	Pot. påtryckt (mV)
Rostfri stång	-293	Ej mätt	-600	Ej mätt	Ej utförd

Avgiven ström från magnesiumanoderna är c:a 50 mA

**KFM 02 B Instrumenterad (startmätning)**

Mätobjekt	E-Korr (mV)	Växelsp. (mV)	E-On (mV)	E-Off (mV)	Pot. påtryckt (mV)
Rostfri stång	-288	Ej mätt	-800	Ej mätt	Ej utförd
Rostfri casing	-565	Ej mätt	-1000	Ej mätt	Ej utförd

Avgiven ström från magnesiumanoderna är c:a 40 Ma

**SUMMERING:****KFM 08 A-C**

Mätvärdena för KFM 08 A-C är inte "normala" för rostfritt stål fritt exponerad i elektrolyten utan yttre påverkan. Troligt för dessa mätplatser är att utrustningen är påverkad yttre faktorer som vi i dagsläget inte kan ge någon god förklaring till.

**KFM 08 D**

Denna mätplats har ett normal "beteende" för fritt exponerat rostfritt stål i elektrolyten. Potentialen före och efter driftsättningen av det galvaniska skyddet är normala.

**KFM 02 A-B**

Mätplats KFM 02 A har ett normalt "beteende", kanske en något väl negativ korrosions-potential. KFM 02 B har en ännu mer negativ potential som inte är helt normal.

**Skyddsgraden av det galvaniska korrosionsskyddet går i dagsläget inte att uttala sig om.**

Eventuella frågor besvaras undertecknad.

Med vänliga hälsningar

Akrediterat kontrollorgan 2273. ISO/IEC 170 20 ( C )

**A.ERIKSSONS KORROSIONSKONSULT AB**

Anders Eriksson

## 9. Appendix 5

### AC korrosion

Claes Taxèn Kimab

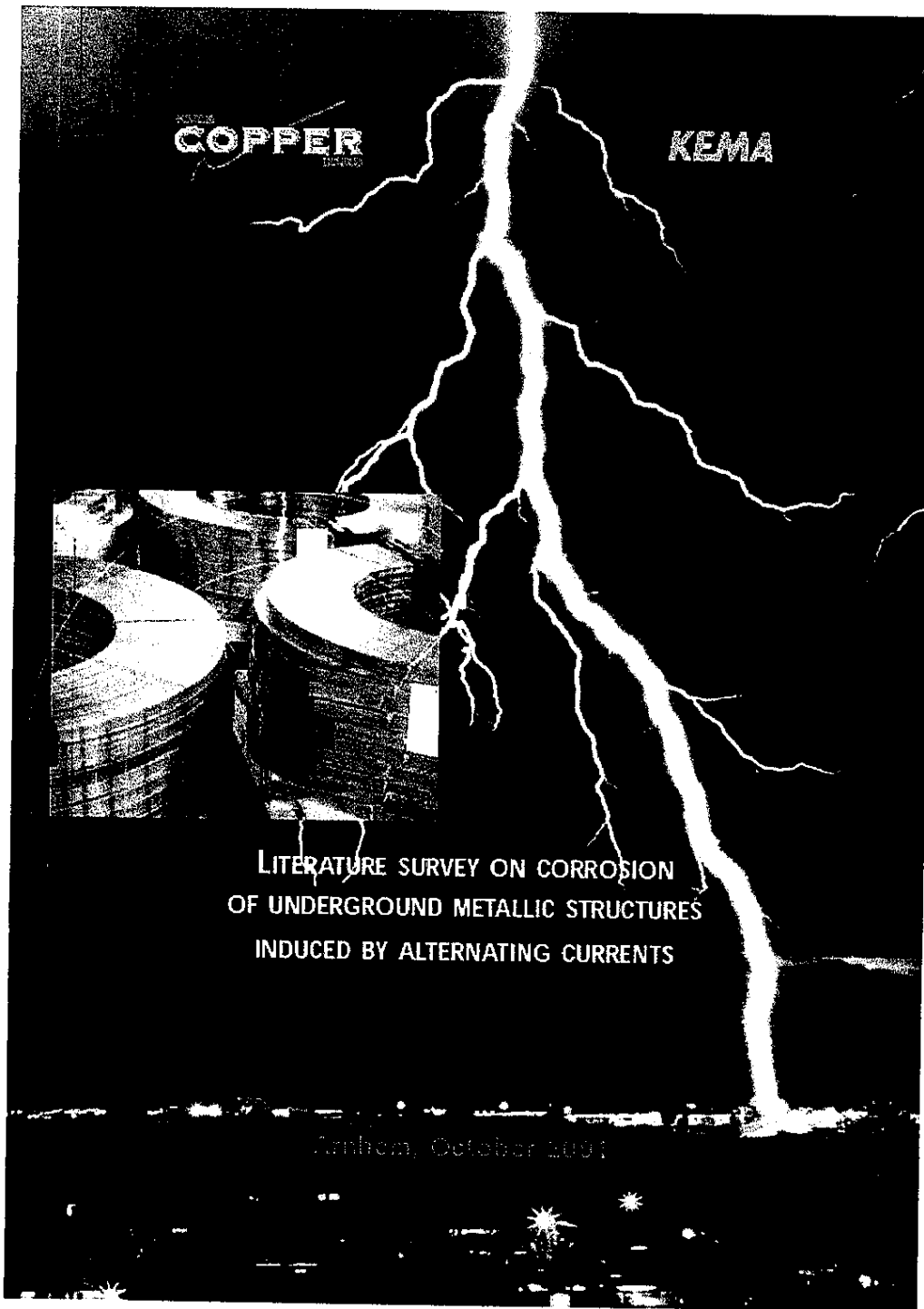
36V AC är ju anmärkningsvärt! 200mA AC inte lika imponerande men nog för att korrodera aluminium. Jag har gjort en snabbdykning ned i literaturen om AC-korrosion. Jag känner att allt inte är så enkelt när det gäller växelströmskorrosion. Men jag är nog i gott sällskap. Följande klipp är från ett möte med en "Task Group" från NACE:

*"The group generally agreed that AC corrosion was a topic not fully understood, nor universally accepted to be a major concern. However, the chair indicated that it is an issue and the TG should not simply ignore it."*

På nätet fann jag en kort litteratursammanställning som jag skickar med. Den bekräftar vad jag tidigare sagt om olika metallers känslighet för AC-korrosion. Det refereras till en undersökning med rostfria elektroder men originalet visar sig handla om kolstål. En annan undersökning gjort av Gösta Wranglén vid KTH behandlar en mängd olika material men inte rostfritt stål. Avsaknaden av data för rostfritt stål beror nog på att man inte använt rostfritt stål i liknande konstruktioner tidigare. Offshore-industrin gör det men är kanske inte så angelägna om att publicera.

Korrosionsskadorna på Al tycks ju i alla fall ha fått sin förklaring. Alla rapporter tycks samstämmiga om att Al är den metall som är mest känslig för AC korrosion. En orsak till detta är ju att det är en mycket oädel metall. En annan kan vara att oxidskiktet som skyddar metallen normalt är tjockt. Ett tjockt oxidskikt medför låg kapacitans. En låg kapacitans medför i sin tur att "reaktionsmotståndet" inte kortsluts lika effektivt som för andra metaller. Med en låg kapacitans ligger alltså en stor del av AC spänningen över gränsen metall/vatten. Positiva halvperioder orsakar korrosion och negativa ger vätagasutveckling. Rostfritt stål har tunt oxidskikt hög kapacitans och bör ge liten andel av AC-spänningen över gränssytan och således inte vara påtagligt känslig för AC-korrosion.

Om det går så bör metallisk kontakt mellan röret och casingen undvikas. Om stora AC strömmar leds till jord via casingen kanske det ändå inte hjälper till 100 %. AC ström kan ju också hoppa till röret genom induktion.





### A few words about ECI

The European Copper Institute ("ECI") was established in January 1996 on behalf of the world's largest copper producers and Europe's leading fabricators, to promote the benefits that copper can provide to modern society. ECI is a joint venture between ICA (International Copper Association) and IWCC's (International Wrought Copper Council) contributing members.

Its Brussels headquarters are supported by a network of eleven local Copper Development Associations in Benelux, France, Germany, Greece, Hungary, Italy, Poland, Russia, Scandinavia, Spain and the UK.

ECI is committed to promoting copper's markets and applications across the Building Construction and Electric & Electronic markets. ECI promotes modern solutions, for example in the areas of energy efficiency, residential safety and convenience, telecommunications and safe distribution systems for water and gas.

### ECI's Mission

ECI is an industry partnership committed to the expansion and support of copper's end-use markets in Europe.

ECI sets the strategy, arranges funding for, and implements market promotion initiatives undertaken on a collective industry basis at European and national level.

It will sustain a European infrastructure for the effective implementation of its promotional plan.

ECI will undertake to strengthen public awareness of copper's value to society and its role in the environment, based on scientific research.

### Acknowledgement

This project was realised through support of the International Copper Association, [www.copperinfo.com](http://www.copperinfo.com).

Picture courtesy of Carlo Colombo S.p.A. (Italy)

**Literature survey  
on corrosion of underground metallic structures  
induced by alternating currents**

Anhem, October 2001

Authors H.C. Kceris and J.M. Wetzler

KEMA T&D Power

By order of the European Copper Institute

## Contents

Summary	4
1. Introduction	5
2. Literature search	6
3. AC induced corrosion compared to DC induced corrosion	6
4. Behaviour and parameters of AC induced corrosion	7
4.1 Current density	7
4.2 Type of metal	8
4.3 Soil conditions	9
4.4 Time, temperature	9
4.5 Summary of parameters concerning AC induced corrosion	9
5. AC corrosion of underground metallic objects in practice	10
5.1 Pipelines	10
5.2 Earth screens of cables	11
5.3 Earth electrodes	13
6. Review of AC induced corrosion and its consequences, conclusions	14
Literature	15







## Summary

A literature search and a critical review were performed to obtain the present state of knowledge concerning corrosion of buried metals caused by alternating currents (AC). From the literature reviewed, the following is concluded:

AC currents can cause or increase corrosion for all metals frequently used in practice, such as steel, copper and aluminium.

The main mechanisms are:

- asymmetry of the AC current due to non-linear electrical behaviour of the metal-soil interface
- interference of the AC current with the normal galvanic potentials at the metal-soil interface leading to polarity reversal and / or destruction of passivating layers.

In general, the results from laboratory experiments show that especially aluminium is susceptible to AC induced corrosion, and that copper is least affected.

Most literature describing practical experience with corrosion attributed to AC currents concerns steel pipelines. It is generally agreed that AC related corrosion can and will occur on steel pipelines under certain conditions. The most frequently mentioned parameter indicative for the probability of AC related corrosion is the local AC current density. Another parameter mentioned is the pipe-to-soil potential. Increasing the DC protection current of impressed-current cathodic protection seems to reduce AC induced corrosion on pipelines, but cannot eliminate it. The main remedy against AC related corrosion on pipelines is to keep the induced AC voltage along the pipeline as low as possible.

Corrosion attributed to AC currents is also mentioned in relation to the corrosion of the copper earth wires of underground distribution cables that have no outer jacket (thus the copper wires are in direct contact with the soil). As this cable construction is found only in the USA, all literature concerning this subject is of USA origin. Due to its use in an AC power system, AC voltages and currents are inherently present in this application. However, there is controversy concerning both the extent of the problem, and whether this corrosion problem is related (mainly) to AC currents.

Only two articles were found that specifically describe experience with earth electrode systems. One article describes experience with a copper earth electrode system. Although this system carried AC current (be it at a relatively low current density), no corrosion was present. In the other article attention is drawn to the fact that due to the interconnection (combined use) of neutral and earth wires in electrical installations AC currents will be flowing in earthing systems. Damage of steel earth electrodes due to these AC currents is described in this article. In other articles, earth electrode systems are not mentioned at all, or reference is made to the favourable experience with copper earth electrodes. An aspect that is not related to AC currents, but which is important for copper earth electrode systems in relation to corrosion, is the interaction between the copper earth electrode system and other (buried) metals connected to it.

In the literature reviewed, no indications were found that AC related corrosion of (copper) earth electrode systems is of any significance. To get a better understanding and assessment of the possible hazard in practical situations, the following approach could be adopted:

- calculation or measurement of the AC currents flowing to earth electrode systems, calculation of the associated current density, and comparison to the critical current densities found in literature
- evaluation of earthing system designs in which different metals are interconnected, and evaluation of options to decrease the negative influence of copper on the corrosion of other metals due to the galvanic cell-effect.

## 1. Introduction

Earthing structures are used to protect human beings, electrical equipment and buildings against possibly dangerous or damaging effects due to lightning and due to faults in the electricity network or in electrical appliances. Earthing structures provide a connection to the earth by means of electrodes or grids embedded in the soil. These electrodes have to provide a sufficiently low electrical impedance between the earthing structure and the soil. Commonly used materials for electrodes are copper and galvanised steel. The earthing impedance is primarily determined by the electrode design and soil properties. Nevertheless the electrode material used, and especially its electrochemical and corrosive behaviour, is very important, for the following reasons:

- corrosion determines the surface-quality of the electrode, and thereby the interface resistance
- corrosion determines the loss of material and thereby the electrode's lifetime
- the choice of the electrode material affects the corrosion-rate of nearby metallic structures.

A metal in (humid) soil is subject to corrosion. It is well known for a long time that the corrosion process can be accelerated by DC (stray) currents flowing between structure and soil. For AC systems, it is usually assumed that earthing electrodes do not carry a significant current. Also, the corrosive effect of AC currents is assumed to be small compared to the effect of DC currents. However, some recent studies seem to indicate that earthing electrodes in AC systems may carry significant alternating currents. Amongst other reasons, this is due to the increased use of TN earthing systems and the interconnection (combined use) of the neutral (N) wire and the earth (PE) wire. In the above described situation the increase of non linear loads can lead to increased AC current in the earthing system. Studies also seem to indicate that alternating currents in some cases cause a significant acceleration of the corrosion process.

The above means that corrosion due to AC currents should be considered as a possible hazard to the reliability of earthing systems. In order to facilitate an international discussion and develop steps for a large scale investigation, there was the necessity to get an overview of the present state of knowledge concerning AC related corrosion.

To achieve this overview, a study has been conducted, involving:

- a survey of available literature concerning AC induced corrosion of buried metallic structures
- a critical review of the literature obtained
- a report with an overview of the present state of knowledge concerning AC related corrosion and its effects.

The results of this study may serve as the basis for an international discussion on the hazards of AC related corrosion and the possibility of reducing these hazards.

## 2 . Literature search

To get an overview of the present state of knowledge and to get a survey of the available literature, a search for literature concerning corrosion of underground metals related to AC was performed. The following databases were used in this search:

- INSPEC
- Compendex
- METADEX

The words and word combinations that were used in the search are:

- "AC" & "corrosion"
- "AC" & "corrosion" & "grounding" or "earthing"
- "AC" & "stray current" & "corrosion"
- "AC" & "corrosion" & "underground" or "buried"
- "AC" & "corrosion" & "copper" or "steel" or "aluminium".

This search resulted in 93 article-titles. On the basis of the titles, the abstracts of 40 articles were reviewed. 23 articles were ordered and studied. Apart from the literature search, 12 articles were delivered by the European Copper Institute and several books and articles were present at KEMA-TDR. The literature on which this report is based is listed in the last chapter.

## 3 . AC induced corrosion compared to DC induced corrosion

It is well known that DC stray currents can accelerate the corrosion process of buried metallic structures. At the positions where the AC current leaves the metal to enter the surrounding soil electrochemical corrosion may appear. The amount of corrosion (weight of metal lost) is related to the electrical charge (current x time) that has passed the metal-soil interface.

In terms of net electrical charge (pure) AC stray currents would not cause corrosion as the current-direction is reversed each half-cycle, so the average value of the current is zero. However, the actual AC current flowing due to an AC voltage present may not be symmetrical for the positive and the negative half-cycle, due to the non-linear electrical behaviour of the interface between metal and soil [1]. Another phenomenon is that applied AC voltages will influence and disturb the "natural" polarisation voltages present at the metal-soil interface, leading to polarity reversal and/or destruction of passivating layers [2, 4, 9, 13].

## 4 . Behaviour and parameters of AC induced corrosion

### 4.1 Current density

In many articles in which the corrosive effect of AC current is investigated, mention is made of a critical current density at the metal surface. Only when this critical current density is exceeded, AC current leads to acceleration of corrosion or to significant AC related corrosion.

Article [8] gives a review of several articles. In most of these articles mention is made of a critical current density. Values of 5 to 10  $A/m^2$  are mentioned for aluminium and 20  $A/m^2$  for copper and galvanised steel. This article also describes corrosion-experiments with aluminium and copper samples in test cells filled with soil. The critical current density found was 6 to 10  $A/m^2$  for aluminium and 8 to 15  $A/m^2$  for copper. The longer the duration of the experiment, the lower the critical current density found.

Article [12] mentions several articles in which experiments with steel are performed, both in soil and in salt-water solutions. Critical current densities found range from 10  $A/m^2$  to 50  $A/m^2$ . The lower values are obtained in an environment containing salt (NaCl). The figure below is derived from [14]. It shows the corrosion rate of steel versus applied AC current density, as found in experiments in both soil and in water (partially the same experiments as mentioned in [12]).

In article [7] the influence of AC current on corrosion of aluminium in various soils and in water is investigated experimentally. It is found that AC current will cause no (additional) corrosion if the current density is below approximately 0,8  $A/m^2$ .

Article [8] mentions a critical AC current density of 20 to 50  $A/m^2$  found in experiments with copper samples in soil.

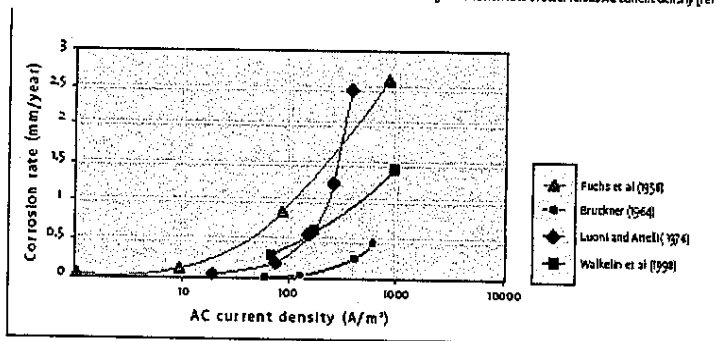
Articles [14] and [7] refer to other articles, in which a critical threshold value of 10  $A/m^2$  is given for corrosion of copper.

Article [5], concerning stray currents in buildings, mentions a current density of 40  $A/m^2$ , below which 50 Hz AC would not cause corrosion problems. No metal is specified and no reference is made to the experiments that have led to this value.

In article [18], practical experience with a grounding system consisting of copper conductors is given. Nine years of operation with a calculated AC current density of 0,6  $A/m^2$  did not result in any corrosion.

Article [3] describes experiments with AC superimposed on a corrosion cell with (stainless) steel electrodes. In the AC current density range from 0 to approximately 500  $A/m^2$ , the corrosion rate depends linearly on the AC current density. No critical current density is mentioned. At 500  $A/m^2$  the AC corrosion rate is about 0,2 % of the DC corrosion rate at the same current density.

Fig. 1: Corrosion rate of steel versus AC current density [ref 14]



On the other hand, article [n] concludes from experiments in the field and in the lab, that for cathodically protected pipelines the current density is not the determining factor, but the influence of the AC current on the true potential of the object relative to the soil. Article [24] mentions a critical current density (at 50 Hz) of  $30 \text{ A/m}^2$  for steel pipelines. However, if cathodic protection is applied, the mentioned parameter for corrosion is the relation between the AC peak voltage and the DC voltage of the cathodic protection, as in article [11].

Article [25] describes experiments with steel test specimens (rods and plates) that were tested concerning AC induced corrosion in rather aggressive soil, as well as laboratory-experiments. Both DC and AC currents were applied. Also the potentials were measured. The conclusions are that the critical AC current density is  $30 \text{ A/m}^2$  at a DC cathodic protection current density of  $2 \text{ A/m}^2$  and that both an increase (to  $5 \text{ A/m}^2$ ) and a decrease (to  $0.2 \text{ A/m}^2$ ) of the DC current density leads to reduction of AC corrosion. No relation was found between the measured potentials and the corrosion.

#### 4.2 Type of metal

If a comparison between various metals is made in literature, the general result is that copper is least susceptible, and aluminium is most susceptible to AC induced corrosion. This generally concerns both material loss due to AC corrosion as well as the value of the critical current density.

Article [4] describes the results of experiments with various metals subjected to AC current in corrosion cells. These are: copper, aluminium, steel and tin-lead alloy. Weight loss due to AC current is highest for aluminium, and for the tin-lead alloy it is also relatively high. The weight loss for copper is lowest. Mild steel shows a weight loss comparable to copper. The figure below is derived from [4], and summarises the results.

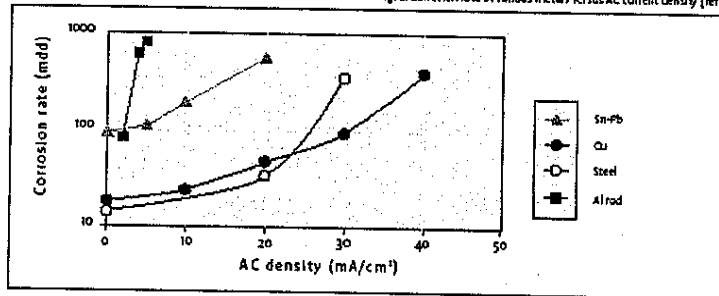
Article [8] describes experiments with aluminium and copper samples in corrosion cells filled with soil. The increased weight loss of copper subjected to AC current did not exceed 0.5 % of the theoretical value calculated from the anodic portion of the AC current. For some aluminium samples this weight loss reached up to 40 % of the theoretical value. Also the critical current density found is somewhat higher for copper ( $8\text{-}15 \text{ A/m}^2$ ) than for aluminium ( $6\text{-}10 \text{ A/m}^2$ ).

Article [4] refers to three articles / sources that compare the behaviour of various metals. In two articles the weight loss due to AC current is stated being around 1 % of the theoretical value for copper, lead and iron, and 40 % of the theoretical value for aluminium. The third article states that aluminium, magnesium and tantalum were subject to relatively intense corrosion when subjected to AC current in soils during an experiment.

Article [3] refers to an article that classifies metals in two groups concerning the corrosion mechanism. The first group consists of copper, iron, lead, tin and zinc. These metals corrode primarily by oxygen depolarisation in soils. The second group included electronegative metals such as magnesium, aluminium, tantalum and titanium. It is concluded that the second group of metals is subject to more intense corrosion when exposed to AC in soils.

An aspect that is not strictly related to AC corrosion, but certainly is related to the choice of a certain material, is the influence between various metals that are interconnected. Several articles concerning corrosion in general emphasise that an important source of corrosion is the use of two different metals, electrically connected together, and thus forming an electrolytic cell [25, 27, 31]. In general copper will be cathodic related to other metals, and so will be a cause of galvanic corrosion of steel and lead connected to it. As steel is often used as a construction material, articles [25, 27] suggest replacing copper with (galvanised) steel as material for earth electrodes.

Fig. 2: Corrosion rate of various metals versus AC current density [ref 4]



### 4.3 Soil conditions

Soil conditions are in general important for corrosion, also when no electrical (AC) current is present. It would be out of the range of this report to enumerate the soil-related factors influencing corrosion in general.

In [18, 31] it is stated that the presence of chloride and sulphate ions increases AC related corrosion in a minor extent. However [12, 23] state that chloride seems to inhibit corrosion! In [12, 23] it is stated that carbonates have an accelerating effect on AC corrosion.

What can be an important factor is that due to the presence of salt (NaCl), the electrical resistance of the soil is decreased. Thus, at a given induced AC voltage, the AC current (density) is increased and thereby the risk of AC corrosion [14]. In several cases of corrosion on a pipeline mentioned in [14], the corrosion was near a road where salt had been used for de-icing.

It is generally stated that de-aerated soil conditions increase AC related corrosion [12, 23]. The explanation given is that in aerated conditions there is diffusion control at the cathode.

Summarising, the following soil conditions favour AC related corrosion: low electrical resistivity, low or high pH value, de-aerated soil, presence of sulphide or carbonates. The information found concerning chloride is inconsistent.

A soil-related corrosion factor that is not related to AC currents, but which can be important for more extended buried metal structures is the fact that a corrosion cell can arise due to inhomogeneity of the soil along the structure [18, 21, 29]. This inhomogeneity can be in the composition as well as in the degree of aeration of the soil. Due to different aeration a "concentration cell" (oxygen concentration) can develop.

### 4.4 Time, temperature

Information concerning the influence of time is only mentioned in articles concerning the corrosion of steel, related to pipelines. The corrosion-rate gradually decreases in the time [12, 14]. The experiments with steel in a test-cell described in [3] also show a decrease of the corrosion rate in time. Temperature is an item that is hardly mentioned in literature concerning AC related corrosion. In the experiments described in [3] no relation was found between the temperature of the test-object and the corrosion rate. In [7], concerning AC corrosion experiments on aluminium, a temperature rise up to some 5 °C was observed. This temperature rise was related to the current density, and so is considered to be a consequence and not a cause. This temperature rise related to the current density in the test cell is also mentioned in [12].

### 4.5 Summary of parameters concerning AC induced corrosion

In the table below the main parameters which are related to AC induced corrosion, as described in paragraphs 4.1 to 4.4, are summarised.

PARAMETER	RESULTS																				
critical current density (A/m <sup>2</sup> )	<table border="1"> <tr> <td>copper</td> <td>20</td> <td>8-15</td> <td>20-50</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>aluminium</td> <td>5-10</td> <td>6-10</td> <td></td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>steel (pipelines)</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td>10-150</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>30</td> </tr> </table>	copper	20	8-15	20-50	10	aluminium	5-10	6-10		0,8	steel (pipelines)	20			10-150					30
copper	20	8-15	20-50	10																	
aluminium	5-10	6-10		0,8																	
steel (pipelines)	20			10-150																	
				30																	
pipe-to-soil potential	<p> criterion for adequate cathodic protection: -850 mV  relation between peak AC voltage and DC potential due to cathodic protection</p>																				
type of metal	<p> susceptible to AC corrosion: aluminium, magnesium, tantalum, titanium  least affected: copper, mild steel</p>																				
soil conditions	<p> favourable to AC corrosion: low electrical resistivity, de-aerated, presence of sulphides and carbonates, high or low pH value. Inconsistent: presence of chlorides</p>																				
time and temperature	<p> corrosion rate decreasing in time, no influence of temperature</p>																				



## 5. AC corrosion of underground metallic objects in practice

In the articles where practical cases of corrosion attributed to AC current are described, the objects concerned are pipelines and concentric neutral wires of distribution cables.

### 5.1 Pipelines

A large part of the articles that discuss practical cases of corrosion attributed to AC concern pipelines.

Pipelines in general have the following characteristics:

- the material is steel
- they are electrically insulated from the soil by a coating of paint, bitumen or polymer
- they are often equipped with cathodic protection.

Several corrosion incidents attributed to AC current have been reported:

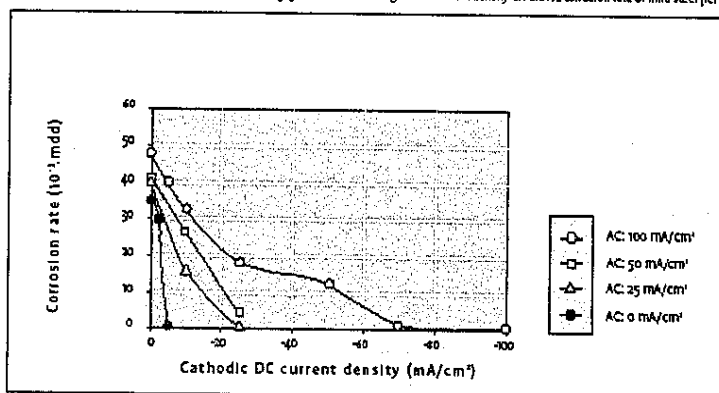
1986: Germany, gas pipeline	[12]
1993: France, gas pipeline	[19]
1994: Toronto, gas pipelines	[14]

Article [24] states that in Europe, 23 cases of AC related corrosion on pipelines are known, that 709 corrosion spots were found, and 4 leaks.

Most articles concerning AC related corrosion on pipelines mention the current density at the pipe-soil interface as a determining factor [12, 14, 23, 24]. Critical current densities mentioned vary between  $10 \text{ A/m}^2$  and  $150 \text{ A/m}^2$  (see also paragraph 4.1).

Sources of AC current that could influence pipelines can be nearby or parallel AC railways, or electrical systems using neutral conductors not insulated from the ground. However, in general the most important factor for pipelines is induced AC voltage, caused by parallel high-voltage lines. In (safety) standards maximum allowable levels of this voltage are prescribed. For AC corrosion, the magnitude of AC current (density) is determining. The relation between induced AC voltage and the associated current is determined mainly by soil resistance and the size of the coating-hole. The current can only leave or enter

Fig. 3: Effect of increasing the CP current density on the AC corrosion rate of mild steel [ref 4]



the pipe at a spot where the coating is damaged. Low soil resistivity and a small damaged spot can lead to high current densities and thus to AC corrosion [12, 14, 23]. In article [12] a review is given in which it is stated that the highest corrosion rates were at holes having a surface area of 1 to 3 cm<sup>2</sup>.

Many pipelines are equipped with a cathodic protection (CP) system. With the aid of such a CP-system the potential of the pipe relative to the soil (actually a copper/ copper-sulphate half cell) is made (more) negative to prevent corrosion. A general criterion for CP of steel pipelines is that for satisfactory corrosion protection the pipe should have a potential of -850 mV or lower [14, 22, 32].

Concerning the likelihood of AC related corrosion of pipelines equipped with (Impressed current) cathodic protection, another criterion is mentioned in articles [11, 24]. The time diagram of the (true) pipeline-to-soil potential should be checked. This generally will consist of a negative DC voltage impressed by the cathodic protection and a sinusoidal voltage caused by AC influence. The relation between the peak value of the AC voltage and the value of the DC voltage is used as the criterion. On the other hand, during the experiments described in article [21] with steel test specimens in soil and in the laboratory, no relation between the potential and the corrosion rate was found.

By increasing the current density of impressed-current cathodic protection installations, AC related corrosion can be reduced, but can not be completely eliminated [4, 12, 14, 23]. R6.3 is derived from [4]. It shows the effect of increasing the CP current density on the AC corrosion rate of mild steel in an experiment.

The results from the experiments described in [21] indicate that at a DC protection current density of  $\geq 2$  A/m<sup>2</sup> the AC corrosion rate is at a peak, and that both increasing and decreasing the DC protection current decreases the rate of AC related corrosion.

Sometimes cathodic protection by means of sacrificial anodes is used. Sacrificial anodes provide protection due to the galvanic cell set up between the sacrificial anode and the object to be protected (cathode). In [13] results from both laboratory and field experiments are mentioned that indicate that the presence of AC signals can lead to polarity reversal in this cell for some soils. Thus, the corrosion of the protected object could be increased rather than decreased due to the presence of the sacrificial anode.

## 5.2 Earth screens of cables

Most underground distribution cables have an earth screen (called concentric neutral conductor) consisting of a number of copper wires. In particular in the USA, often no outer jacket is present around the earth screen, so the copper wires are in direct contact with the ground. Since around 1972 cases have been reported of corrosion of the copper wires of the concentric neutral conductor on cables of this construction, it should be stressed that this construction is not used in Europe and is not used in the USA for transmission cables.

Article [25] is a summarising article that mentions the following possible reasons for corrosion of copper concentric neutral wires of distribution cables:

- the neutral of the cable used to be connected to steel (water-)pipes for grounding. This provided the copper neutral of the cable with galvanic protection (this is the galvanic cell effect as mentioned in [25] and [27] and also in [18] and [20]. However, the volume of steel in the neighbourhood has decreased, reducing the "natural" galvanic protection.
- the way of installing the cable. Use of soil or backfill, which contains products that are corrosive to copper. Different packing/ aeration of the soil along the cable route can also cause corrosion, as mentioned in paragraph 4.3.
- the use and the quality of the lead-tin alloy applied to some copper wires, this is also mentioned in [18]
- DC stray current, from a cathodic protection system of a nearby pipeline, or AC stray current from the operation of the power system.

Articles [18] and [29] stress that the earth screens of cables are called copper, but are sometimes actually copper-alloys or tin-coated copper. This fact apparently is often omitted when studying corrosion-behaviour. This refers to article [9]. In this article experiments with tin coated copper electrodes in a model soil environment are described. It is concluded that under influence of AC, the copper becomes anodic to the tin, thus leading to corrosion of the copper where it is not covered. As the surface of uncoated copper is small compared to the tin surface, the copper corrosion at uncoated spots is intense. Article [2] also mentions this behaviour, and concludes from experiments that under AC influence, copper will show an anodic galvanic shift.





The concentric neutral wires of a cable are normally directly around the outer semi-conducting layer of the insulation. This layer generally consists of polyethylene filled with carbon. Also, on some cables semi-conducting jackets containing carbon are used. Article [20] stresses that carbon forms a galvanic cell with most metals and that the carbon tends to be cathodic. Laboratory experiments indicate that the corrosion of copper due to this effect is low (not significant). However, later experiments indicated that this corrosion effect increased when relatively small AC currents were present.

While several articles describing corrosion incidents of the copper wires of earth screens of cables were found, the relation to AC currents is less sure. Article [26] states that "considerable disagreement still exists on both the extent of the problem and its causes", and a article [22] states: "Considerable controversy has surrounded the effect of AC stray current on the corrosion rate of CCN cables."

On the basis of experiments and the experience of one electric utility [2] questions the data frequently mentioned concerning corrosion of (pure) copper earth screens of cables. Article [2] also mentions two effects that could increase AC related corrosion, due to the absence of an outer jacket and the resulting low resistance of the concentric neutral to the soil. First, it allows more of the neutral current to flow through the earth, and secondly: due to the contact of the copper wires with the soil, galvanic couples with other metals in the structure can exist.

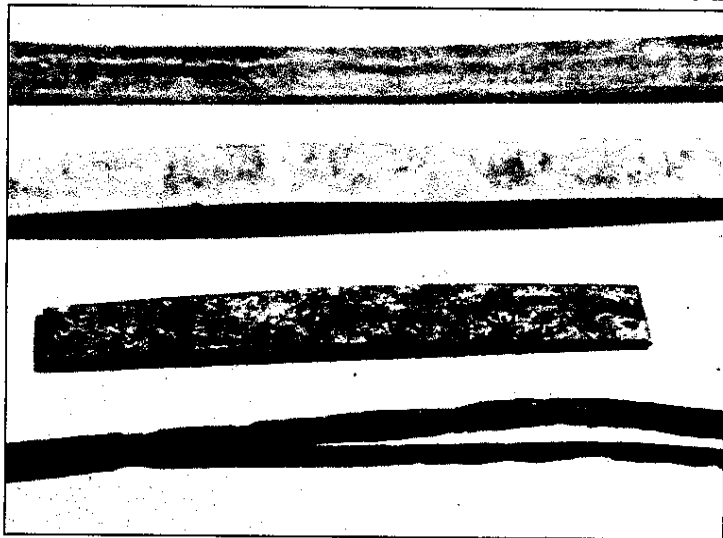
Article [9] describes a case of cable screen corrosion in which the cause of the locally high current density (higher than the mentioned threshold value of  $10 \text{ A/m}^2$ ) was a fault in the electrical system.

It is stated that while in lab conditions corrosion of concentric neutrals could be related to AC current, in the field AC current related corrosion of concentric neutrals is not common.

Article [22] states that concerning copper concentric neutral wires of cables, the predominant corrosion cell is due to differential aeration, related to non-homogeneous soil-conditions at the cable-soil interface. It is agreed that when AC is imposed on a copper corrosion cell, the rate of corrosion is increased, and that the rate of increase is related to the AC current density, possibly above a minimum current density threshold.

The author of article [10] states: "The writer has looked at many cables in the field and has yet to see severe corrosion that was not accompanied by very high current densities."

Fig. 4: Various samples of galvanised steel earth electrodes [ref 33]



### 5.3 Earth electrodes

Very few articles were found that describe practical experience with earthing electrodes or earthing systems.

In article [28], practical experience with a grounding system consisting of copper wire is mentioned. This grounding system is part of an Extremely Low Frequency (ELF) communications facility in the U.S.A. Currents in the frequency range from 40 Hz to 80 Hz are present. Nine years of operation with a calculated AC current density of 0,6 A/m<sup>2</sup> has not resulted in any corrosion.

On the other hand, article [33] gives an example of AC induced corrosion of a galvanised steel earth electrode. This earth electrode was part of an electrical system in which the neutral (N) wire and the earth (PE) wire are interconnected at many spots and so are in fact combined (PEN wire). Due to this, neutral current will be flowing in the earthing system. Due to non-linear loads, the neutral current will increase, which in this case will increase the risk of AC induced corrosion in the earthing system. Fig. 4 is from article [33]. It shows various samples of galvanised steel earth electrodes. From back to front are shown: an unused sample, a sample that has been in the soil for 10 years without AC current, a sample that has been in the soil for 10 years with AC current and a round iron wire that has been in the soil for 25 years with a mild AC current.

In articles [18] and [29] reference is made to "the favourable experience with grounding grids" consisting of copper. This is in relation to the corrosion sometimes found on copper concentric neutral wires of distribution cables.

An important aspect concerning the material-choice for earth electrodes is the influence (concerning corrosion) on other metals in the interconnected system. As is described in the last paragraph of 3.2. In some articles a plea is held for using (galvanised) steel instead of copper because of this aspect.





## 6. Review of AC induced corrosion and its consequences, conclusions

Concerning pipelines (steel) It is generally agreed that AC induced corrosion can and will occur under certain conditions. An important cause for AC induced corrosion at pipelines most likely is the high local current density that can occur at a (small-sized) coating hole. When an impressed-current cathodic protection is used on a pipeline there is some controversy concerning the main parameters indicative for AC corrosion. Some sources state the AC current density, others state the pipe to soil potential. The main remedy is to keep the induced voltage on a pipeline as low as possible. Increasing the current of impressed-current cathodic protection will decrease the corrosion rate, but will not eliminate it.

Earth screen / concentric neutral wires of cables. This concerns almost exclusively distribution cables having no outer jacket, as used in USA. In this construction the copper wires are in contact with soil and electric current can leave or enter the wires. Transmission and distribution cables used in Europe (almost) always have a non-conductive outer jacket. By nature of its use in an AC power system, high current (density) is possible at particular conditions or fault conditions. In the literature found (which is almost exclusively American) there is controversy as to both the extents of the problem and the (main) causes. Several mechanisms and factors are described that concern the corrosion of copper earth wires of cables. In general it is agreed that the presence of AC current (above a critical current density) can accelerate the corrosion rate, but the importance in practice of this acceleration remains unclear. The use of distribution cables with an outer (non-conductive) jacket would be the most economical method of corrosion control [22].

Concerning earth electrode systems two articles describing practical experience were found. One article describes the experience with a copper earth electrode system. This electrode system carried up to 50 Hz AC currents at a relatively low current density of  $0.6 \text{ A/m}^2$  for 9 years. No corrosion was found. The other article describes a case of AC induced corrosion on a galvanised steel earth electrode. The use of an electrical installation with interconnected neutral and earth is mentioned as the cause of the AC currents in the earthing system. Also the use of non-linear loads is mentioned as a risk factor. In some articles dealing with corrosion of concentric neutral wires of cables mention is made of the favourable experience with copper earth electrodes. In the literature studied, no indications were found that AC related corrosion of (copper) earth electrode systems is of any significance.

It is remarkable that corrosion problems attributed to AC currents are described for copper concentric neutrals of cables, but not for copper earthing electrodes. Possible reasons for this could be:

- the AC current density at earth electrodes is relatively low, below the critical levels mentioned in various articles. Earth electrodes are designed and installed to have a large effective area, so the current density tends to be lower. On the other hand, AC current can be leaving / entering the concentric neutral wires of a cable at certain spots, thus leading to high current densities, as in the case of coating holes on pipelines
- earth electrodes by nature of their function are connected to other metals, like steel. If the copper earthing electrode can form a galvanic cell with this metal, the copper will be galvanically protected, and the corrosion of steel will be promoted.

To get a better understanding and assessment of the possible hazard for earth electrodes, the following approach could be adopted:

- calculation or measurement of the AC currents flowing to earth electrode systems, calculation of the associated current density, and comparison to the critical current densities found in literature
- evaluation of earthing system designs in which different metals are interconnected, and evaluation of options to decrease the negative influence of copper on the corrosion of other metals due to the galvanic cell-effect.

## Literature

- 1 W. Vesper "Wechselstromkorrosion" Elektrizitätswirtschaft vol. 56, Heft 13 (1937)
- 2 A.W. Hamlin "Alternating current corrosion" Materials performance, January 1985
- 3 S.R. Poonkote, D-T. Chin "Effect of alternating current on the underground corrosion of steels" Materials performance, March 1978
- 4 D-T. Chin "Corrosion by alternating current" International congress on metallic corrosion, Toronto, Canada, 3-7 June 1984
- 5 G. Heim "Eigen- und Kontaktkorrosion von Erdwerkstoffen ohne und mit überlagerten Wechselströmen" Werkstoffe und Korrosion, Sept. 1982
- 6 S. Venkatachalam, S.G. Mehendale "Electrodissolution and corrosion of metals by alternating currents" Journal of the electrochemical society of India, vol. 30 no.3 (1981)
- 7 W.H. French "Alternating current corrosion of aluminium" IEEE Transactions on power apparatus and systems, Nov.-Dec. 1973
- 8 E.T. Serra, M.M. de Araujo, W.A. Mannheimer "On the influence of alternating current on the corrosion of aluminium and copper in contact with soil" Conference: Corrosion 79, Atlanta, GA, USA, 1979 Paper number 55
- 9 D.J. Van der Schijff, G.F. Deyereux "The AC induced corrosion of copper neutrals" Corrosion Science, vol. 35, no. 5-8 (1993)
- 10 R. Babolian, G. Hessler, K. Bow, G. Haynes "The effect of alternating current on corrosion of cable shielding materials in soils" Proceedings of 37th international wire and cable symposium 1988
- 11 A. Pourbakh, P. Carpentiers, R. Oregoor "Detection and assessment of alternating current corrosion" Materials performance, March 2000
- 12 R.A. Gummow, R.G. Wakelin, S.M. Segall "AC corrosion - a new threat to pipeline integrity?" Proceedings of the 1st international pipeline conference (IPC), Calgary, Canada, 1996
- 13 W.B.R. Moore "The influence of A.C. on natural corrosion rates" Conference: UK Corrosion '88, Brighton, 1988
- 14 R.G. Wakelin, R.A. Gummow, S.M. Segall "AC corrosion - case histories, test procedures, and mitigation" Conference: Corrosion 98, San Diego CA, USA, 1998 Paper number 565
- 15 R. Eltschka "Streuströme in Gebäuden" ÖZE, Jahrgang 39, Heft 9 (September 1986)
- 16 A.M. Horton "Corrosion effects of electrical grounding on water pipe" Conference: Corrosion 91, Cincinnati, Ohio, USA, 1991 Paper number 519
- 17 C.G. Waits "AC corrosion of concentric neutrals: a case history" Conference: Corrosion 87, San Francisco, CA, USA, 1987 Paper number 470
- 18 K.G. Compton "The underground corrosion of copper and the effects of A.C. on concentric neutrals of URD cable" Conference: Corrosion 81, Toronto, Canada, 1981, Paper number 145
- 19 I. Ragault "AC corrosion induced by V.H.V. electrical lines on polyethylene coated steel gas pipelines" Conference: Corrosion 98, Paper number 557
- 20 O.W. Zastrow "Alternating current effects and criteria for underground corrosion control for electric distribution systems with direct-buried cable" Conference: Corrosion 81, Toronto, Canada, 1981 Paper number 132
- 21 H.G. Schöneich "Wechselstromkorrosion und Kathodischer Schutz - Feldversuche" FE-KKs Projekt F 5.4/ 2a B, Ruhrgas AG
- 22 R.A. Gummow, J. Carr "Power system corrosion" Report 091 D 188 for the Canadian electrical association, August 1983
- 23 R.A. Gummow, R.G. Wakelin, S.M. Segall "AC corrosion - a challenge to pipeline integrity" Materials performance, February 1999
- 24 "AC corrosion on cathodically protected pipelines" Draft for Ceocor-meeting, 18 May 1999
- 25 V. Chaker "Corrosion problems caused by bare copper grounding" Conference: Corrosion 79, Atlanta, GA, USA, 1979, Paper number 56
- 26 R.F. Wolff "Cut concentric neutral corrosion damage" Electrical world, June 1982
- 27 O.W. Zastrow "Underground corrosion and electrical grounding" IEEE Transactions on industry and general applications, May/June 1967
- 28 E.A. Wolkoff, M.F. Genge, P.V. Bergschneider "The AC corrosion performance of copper earth return electrodes" IEEE Transactions on industry applications, Jan./Febr. 1980
- 29 R. Whitaker "Protecting copper underground" EPRI Journal, March 1983
- 30 O.W. Zastrow "Effect of AC on corrosion of buried electric distribution cable" Materials performance, December 1981
- 31 T. Charlton "Earth leg practice" Copper Development Association, publication 119, 1997
- 32 D.L. Caudill, K.C. Garity "Alternating current interference-related explosions of underground industrial gas piping" Materials performance, August 1998
- 33 S. Fassbinder "vom Umgang mit Blitzschäden und anderen Betriebsstörungen. Eine Fallstudie." Deutsches Kupfer-Institut, Bestell-Nr. 5186



Copyright © KEMA Nederland B.V., Amhem, The Netherlands. All rights reserved.

This document contains proprietary information that shall not be transmitted to any third party without written consent by or on behalf of KEMA Nederland B.V. The same applies to file copying, wholly or partially.

ECI and KEMA Nederland B.V. and/or its associated companies disclaim liability for any direct, indirect, consequential or incidental damages that may result from the use of the information or data, or from the inability to use the information or data.

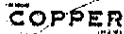
KEMA report reference 40030204-TDP 01-16792A

Produced by



Utrechtsweg 310, NL-6812 AR Arnhem, The Netherlands  
Telephone 0031 26 3 56 91 11, Fax Number 0031 26 3 51 56 06  
information@kema.nl, <http://www.kema.nl>

On behalf of



**Brussels office:**

ECI, Avenue de Tervuren 168 - bis  
B-1150 Brussels, Belgium  
Telephone 00 32 2 777 70 70  
Fax Number 00 32 2 777 70 79  
[eci@eurocopper.org](mailto:eci@eurocopper.org)  
<http://www.eurocopper.org>

**Moscow office:**

3rd floor, Millennium House, 12 Trubnaya str  
Moscow 105045, Russia  
Telephone 007 095 787 27 92  
Fax Number 007 095 787 27 67  
[vs1@eurocopper.org](mailto:vs1@eurocopper.org)

## Copper Development Centres in Europe

I Pierre Blazy  
Director  
Centre d'Information du Cuivre  
32, avenue de Messine  
F-75008 Paris  
France  
Telephone 00 33 1 42 25 25 67  
Fax Number 00 33 1 49 53 03 82  
E-Mail centre@cuivre.org  
http://www.cuivre.org

I Benoit Dome  
Director  
Copper Benelux  
Avenue de Tervueren 168  
B-1150 Brussels  
Belgium  
Telephone 00 32 2 777 70 90  
Fax Number 00 32 2 777 70 99  
E-Mail mail@copperbenelux.org  
http://www.copperbenelux.org

I Piotr Jurasz  
Director  
Polish Copper Promotion Centre SA  
Pl. 1 Maja 1-2  
PL-50-135 Wroclaw  
Poland  
Telephone 00 48 71 78 12 502  
Fax Number 00 48 71 78 12 504  
E-Mail pcpcm@miedz.org.pl  
http://www.miedz.org.pl

I Vincenzo Loconsolo  
Director  
Istituto Italiano del Rame  
Via Corradino d'Ascanio 4  
I-20142 Milan  
Italy  
Telephone 00 39 02 8930 1330  
Fax Number 00 39 02 8930 1513  
E-Mail ist-rame@wirednet.it  
http://www.iir.it

I José Ramon Morales  
Director  
Centro Español de Información del Cobre  
Princesa, 79  
E-28208 Madrid  
Spain  
Telephone 00 34 91 5 44 88 51  
Fax Number 00 34 91 5 44 88 84  
E-Mail cedic@pasanet.es

I Werner Seitz  
Director  
Deutsches Kupferinstitut e.V.  
Am Bonnhof 5  
D-40474 Düsseldorf  
Germany  
Telephone 00 49 211 4796 313  
Fax Number 00 49 211 4796 310  
E-Mail info@kupferinstitut.de  
http://www.kupferinstitut.de

I Mariann Sundberg  
Director  
Scandinavian Copper Development Association  
Legeringsgatan 6  
S-721 09 Västerås  
Sweden  
Telephone 00 46 21 19 86 20  
Fax Number 00 46 21 19 86 35  
E-Mail scda.info@outokumpu.com  
http://www.scda.com

I Eirini Simopoulou  
Director  
Hellenic Copper Development Institute  
74 L. Riankur Street  
GR-115 23 Athens  
Greece  
Telephone 00 30 1 690 4406-7  
Fax Number 00 30 1 690 4463  
E-Mail info@copper.org.gr  
http://www.copper.org.gr

I Maria Sipos  
Director  
Hungarian Copper Promotion Centre  
Bodajk u. 30/A  
H-1112 Budapest  
Hungary  
Telephone 00 36 1 319 0143  
Fax Number 00 36 1 319 5637  
E-Mail hcpc.bp@euroweb.hu  
http://www.hcpcinfo.org

I Angela Vessey  
Manager  
Copper Development Association  
Venulam Industrial Estate  
224 London Road  
St Albans, Herts AL1 1AQ, UK  
Telephone 00 44 1727 731 205  
Fax Number 00 44 1727 731 216  
E-Mail copperdev@compuserve.com  
http://www.cda.org.uk & www.brass.org

I Ed. Resp: Hans De Keulenaer | European Copper Institute |

I ECI, 168 Avenue de Tervueren - b10 | B-1150 Brussels, Belgium | Tel: 0032 2 777 70 70 | Fax: 0032 2 777 70 79 |

## **Appendix 6**

”Störning på Borrhål från växelspanning”, dok ID 1071543

”Rapport-2-Oskar”, dok ID 1091764

## 10. Appendix 7

### Korrosion på mätutrustningar i Laxemar

#### KLX08

Vid upptagning av kemiutrustning noterades korrosion på en av vattenprovtagarna. Provtagaren var placerad i borrhålet under samma tid som korrosionen på PSS2 utrustningen noterades.

#### KLX10

##### Utdrag ur "Daily log" för PSS2

06-01-24 Monterades utrustningen och sänktes i borrhålet

06-01-26 Fastnade utrustningen

06-02-01 Togs utrustningen upp ur hålet. 72:dra röret hade då kraftig korrosion i kopplingen. Röret hade totalt varit i borrhålet 8 dygn varav 6 på 91 m djup.

Borrhålet har casing till 12,5 m.

06-02-03 Röret sågas av och transporteras till CSM i Linköping för analys.

Sedan problemen med korrosion upptäcktes på rörgången till PSS2 i KLX10 har 1000 m stänger installerats i borrhålet. En isolator monterades och en kabel anslöts vid 500 m av den nedre delen av stänggången. Spänningen mättes sedan mellan övre och nedre delen med en logger som mäter +/-5 V. Mätintervall 1 gång per minut

Innan installationen var spänningen mellan skyddsjord och casing 36 V AC

##### Mätning med universalinstrument:

Vid installationen med skyddsjord ansluten till casing var spänningen mellan övre och nedre stängerna: c:a 15 V AC c:a 80 mV DC.

Med skyddsjorden bortkopplad: c:a 10 V AC c:a 80 mV DC.

Med jordlinorna i borrhålets plats bortkopplade: c:a 5 V AC c:a 80 mV DC

En isolering monterades omkring stängen ner till 13 m. (Casingen är 12,5m) Spänning var då c:a 2 V AC

##### Mätning med logger:

Nedre delen av stängerna är ansluten till kanal 1, 2 och 3

Övre änden är ansluten till kanal 0

060420 17:20 Start av logger  
060424 13:30 Loggern kopplades loss och kortslöts  
060424 14:30 Loggern kopplades in  
060427 08:32 Loggern kopplades loss och kortslöts

På utskiften från loggern kan man inte se annat än momentanvärden som togs varje minut. Dessa varierade mellan +/- 0,8 volt. Eftersom dessa är symmetriskt spridda omkring 0 tyder det på att det inte finns någon mätbar DC, endast AC.



**Nytt rostangrepp:**

Vid upptag 060502 upptäcktes ett rostangrepp vid en skarv som befunnit sig vid 232 m borrhålslängd. Med anledning av detta sattes åter 500 m stång i borrhålet.

060512 16:30 500 m stång återmonteras i borrhålet.

060515 10:30 Kontrollmätning mellan stång och casing:

Ingen kontakt med casing. Jordningar anslutna till byggcentralen.

AC 6 V DC 0,8 V 0,008 mA

Vid upptag efter en vecka noterades inge korrosion.

**Installation av offeranoder vid KLX10**

Erfarenheter och slutsatser efter försöksinstallation av offeranoder av zink vid KLX10 2006-05-31 och 2006-06-08

**Bakgrund**

Förekomst av spaltkorrosion på rostfritt stål SS 2343 har iakttagits efter endast kort tids exponering i borrhål KLX10 utanför Oskarshamn. För att skydda liknande utrustning i detta borrhål installeras på prov ett katodiskt skydd med offeranoder.

**Resultat**

Mätningar som genomfördes i samband med installation av två stycken offeranoder på en obelagd rostfri stång i borrhål KLX10 2006-05-31 redovisas i appendix 2. Dessa mätningar diskuteras i appendix 1 där också preliminära slutsatser efter denna mätning redovisas.

Mätningar som genomfördes i samband med anslutning av de tidigare utplacerade offeranoderna till en belagd rostfri stång i borrhål KLX10 2006-06-08 redovisas i appendix 3.

De i appendix 3 redovisade mätningarna visar att spänningen mellan teflonbelagd rostfri stång och casing ändras från cirka +68 mV till omkring -434mV när två stycken offeranoder ansluts till stången. Det finns inget som tyder på att casingens potential skulle påverkas av att stången ansluts till offeranoder, åtminstone inte på kort sikt. Vi betraktar det därför som att stångens potential relativt närmiljön flyttats med omkring 500 mV i negativ riktning.

För fallet med den obelagda stången mättes inte spänningsskillnaden mellan stång och casing utan endast mellan stången och en av anoderna. Dessa mätningar bedöms inte som lika avgörande avseende stångens potential relativt närmiljön. Den uppmätta spänningen påverkas i detta fall av spänningsfallet som orsakas av att ström flyter i marken, det så kallade iR-spänningsfallet.

Som man kan vänta flyter en lägre ström mellan stång och offeranoder när stången till största delen är belagd med teflon.

**Diskussion**

De i appendix 3 redovisade mätningarna visar att spänningen mellan teflonbelagd rostfri stång och casing förändras sakta med tiden till värden under -400 mV när två stycken offeranoder ansluts till stången. Denna drift är ingen osäkerhet utan visar tvärtom att det, i huvudsak, är stångens potential relativt närmiljön som flyttas. Det konkurrerande spänningsfallet, iR-spänningsfallet, ändras momentant när strömkretsen sluts eller bryts.

Det är troligt att stångens potential kommer att flyttas mot alltmer negativa värden. Syre i borrhålet förbrukas genom den ström som leds bort till offeranoderna. Lägre syrehalter ger lägre strömbehov och lägre potentialer. Andra fenomen som sänker strömbehovet är utfällning av salter på stålytan.

Utfällning av t. ex  $\text{CaCO}_3$  gynnas av högt pH. Ett förhöjt pH uppstår där syre reduceras elektrokemiskt.  $\text{CaCO}_3$  kan därför komma att falla ut just där syre reduceras och därigenom minska tillgången på syre vid skador i belägningen.

Samtidigt kan det vara svårt att verifiera att stångens potential verkligen flyttas ytterligare relativt närmiljön. De sjunkande syrehaltererna i borrhålet kan så småningom komma att påverka också casingens potential.

### Slutsatser

De för mätning tillgängliga delarna av den teflonbelagda rostfria stängen i borrhål KLX10 har ett gott skydd mot korrosion genom offeranoder av zink.

Det är gynnsamt att stängen är belagd. Vi kan inte bedöma huruvida det är nödvändigt att belägga stängen för att etablera ett gott skydd.

Det är troligt att också lägre belägna delar av stängen skyddas effektivt mot korrosion.

Anslutning till två stycken offeranoder av zink placerade på markytan omkring 50 meter från borrhålet sänker stångens potential med omkring 500 mV.

Trots att zink visat sig lämpligt som offermetall vid det aktuella borrhålet rekommenderar vi ändå att magnesium används som offermetall. Magnesium ger en större drivande spänning än zink och ett kraftigare katodiskt skydd som lämpar sig för olika markförhållanden som dessutom kan växla med väder och årstider.

Eftersom vi inte fullt förstår orsaken till att korrosionsskador uppkommit kan vi inte vara helt säkra på att risken för nya skador helt eliminerats. De föreslagna åtgärderna är dock kraftfulla motnedel. Om nya korrosionsskador trots allt skulle uppkomma får dessa en mindre omfattning än de skulle få utan dessa åtgärder.

### Appendix 1.

#### Kommentarer till mätningarna 2006-05-31

Spänningsskillnaden mellan stängen och en offeranod mättes före och efter att den andra offeranoden anslöts till stängen. Storleken på ändringen i spänningsskillnad var starkt beroende på anodernas inbördes läge. När de båda anoderna var belägna långt från varandra var förändringen mycket mindre än när placerades närmare varandra. Den totala spänningsskillnaden kan delas upp i tre delar; stångens potential relativt närmiljön, zinkanodens potential relativt sin närmiljö samt spänningsskillnaden som uppkommer i marken när ström passerar mellan stång och offeranod, det så kallade iR-spänningsfallet.

Ett relevant mått på skyddsverkan av en offeranod är förändringen av stångens potential relativt sin närmiljö i borrhålet. Vi kan inte mäta denna förändring direkt därför att det flyter en ström när vi ansluter en offeranod till stängen och därmed uppkommer ett iR-spänningsfall. Hur stor del av detta iR-spänningsfall som påverkar resultatet är beroende av de olika elektrodernas inbördes läge.

Vi drar slutsatsen att vid mätningarna när båda offeranoderna var placerade i samma kärr så inkluderades en stor del av iR-spänningsfallet i den uppmätta förändringen i spänning. När de båda offeranoderna var placerade långt ifrån varandra inkluderades en mindre del av iR-spänningsfallet.

### **Diskussion efter mätningarna 2006-05-31**

De gjorda mätningarna ger ingen entydig bild av effekten av de anslutna offeranoderna. Stångens jordtagsresistans bestämdes till cirka 70 Ohm. Den sammanlagda strömmen från två stycken zinkanoder uppgick till 5 mA. Enligt ohms lag skulle stångens potential, relativt avlägsen jord, förflyttats med omkring 350 mV i negativ riktning.

Effekten av att ansluta en zinkanod i taget uppskattades dock till mindre än 100 mV, inklusive iR-spänningsfall. Det är fullt möjligt och inte osannolikt att systemet är så olinjärt att den totala effekten är större än summan av delarna. Två anoder kan förflytta potentialen mer än dubbelt så mycket som en enda anod. Att så verkligen var fallet har vi dock ingen oberoende bekräftelse av.

De senare mätningarna som gjordes relativt en Pb/PbCl<sub>2</sub> referenselektrod bortser vi här ifrån. I detta läge med de båda offeranoderna omkring 10 meter ifrån varandra i samma kärr påverkades resultatet alltför mycket av iR-spänningsfall.

För alla de gjorda mätningarna gäller att endast den övre delen av stången var tillgänglig. iR-spänningsfall uppkommer också i stången så att dess nedre delar får ett sämre skydd än de övre. AISI316, som är mycket lika SS2343 i sammansättning, har en resistivitet på 70-78 µOhm cm (Goodfellow Materialinfo). En stång med 15 mm yttre diameter skulle ha en resistans på mindre än 2 Ohm per 100 meter. Idealt skulle alltså endast små spänningsskillnader uppkomma i stången. Sannolikt bidrar den sammanlagda resistansen i det stora antalet skarvar till det totala motståndet och det totala spänningsfallet skulle kunna vara avsevärt högre. Emellertid, om man bortser från eventuella effekter av yttre elektriska fält så är det sannolikt att den ström som offeranoderna leder bort från stången kommer in till stången genom elektrokemisk reduktion av löst syrgas. Syrgas finns företrädesvis endast vid stångens övre delar. Man kan alltså göra sannolikt att spänningsfallet i stålstången är lågt.

### **Slutsatser efter mätningarna 2006-05-31**

De anslutna två zinkanoderna förflyttade potentialen hos den övre delen av stången med omkring 350 mV relativt avlägsen jord.

Förflyttningen i stångens potential relativt närmiljön är mindre och svår att kvantifiera. De anslutna två zinkanoderna leder tillsammans bort en ström på 5 mA. Denna ström skulle annars ha kunnat orsaka korrosion.

### **Rekommendationer efter mätningarna 2006-05-31**

Offeranoder av magnesium ger ett större spann i potential och därmed en större ström och ett bättre skydd.

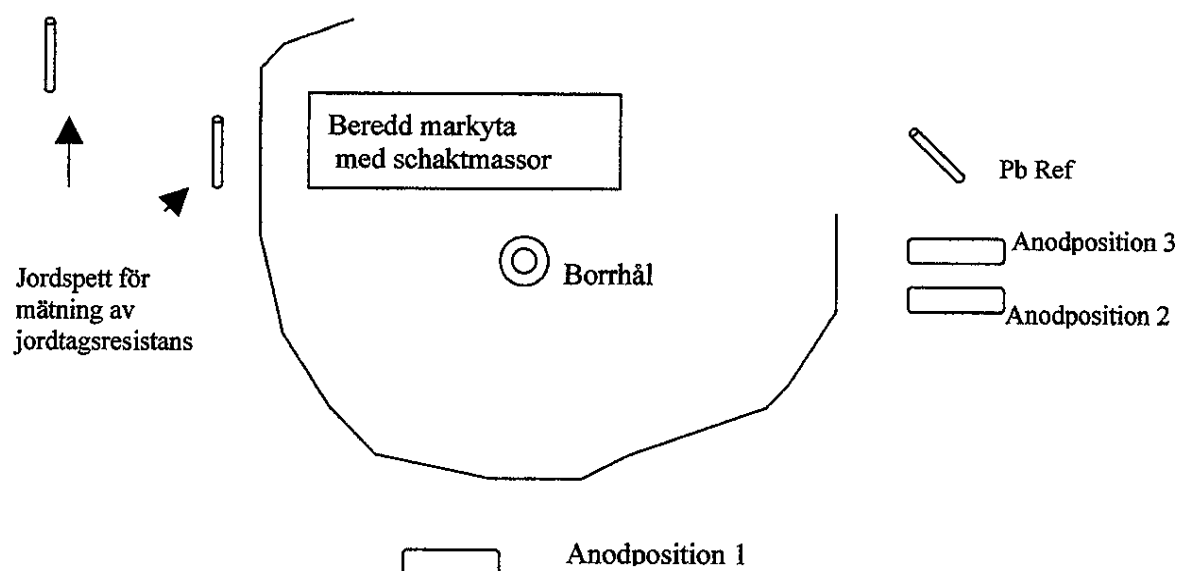
Effekten av offeranoder, uttryckt som förändring i potential relativt närmiljön, kan eventuellt uppskattas bättre genom att utnyttja casingen som ett slags referenselektrod.

En belagd stång är lättare att skydda än en obelagd. Ett existerande skydd får bättre verkan på en belagd yta därför att endast metall som blottlagts genom skador i beläggningen kan bidra till att leda in ström i stången.

### **Appendix 2.**

Minnesanteckningar från försöksinstallation av offeranoder av zink vid KLX10.  
2006-05-31

Borrhålet är försett med en 'casing' av rost fritt stål som sträcker sig cirka 12 m ned. I borrhålet finns en stång av rostfritt stål. Denna stång sträcker sig 500 meter ned. Totalt är borrhålet 1000 m djupt. Den rostfria stången kallas fortsättningsvis 'stången'.



Offeranoder av zink inneslutna i jutesäckar med saltrikt material för god ledningsförmåga var levererade av Anders Eriksson Korrosionskonsult. Säckarna med inneslutna zinkanoder var cirka 130 cm långa med en diameter på cirka 15 cm. Vid utplacering begöts säckarna med vatten eller nedsänktes i vatten och täcktes med jord.

### Mätningar

#### Stång – casing

-199 mV DC

1.4 mA DC vid kortslutning

440 mA AC vid kortslutning

#### Jordtagsresistanser

Upprepade mätningar gav:

Stången 68  $\Omega$ , 69,3  $\Omega$

Casing 80  $\Omega$ , 72,5  $\Omega$ , 72,2  $\Omega$

En offeranod av zink förlades till anodposition 1 och en annan till anodposition 2.

Mätning av jordtagsresistanser gav

Anoden i anodposition 2: 189,7  $\Omega$ , 187,0  $\Omega$ , 189,9  $\Omega$

Anoden i anodposition 1: 509  $\Omega$

Spänningen mellan anoderna uppmättes till 30 mV DC och 10 V AC! Vid kortslutning flöt 24 mA AC mellan anoderna.

Stångens potential mättes relativt den ena anoden. Förändringen i denna studerades när den andra anoden anslöts till stången.

Stången-anod i anodposition 1 : 496 mV  
428 mV då anod i anodposition 2 anslöts  
3,7 mA mättes mellan stång och den anslutna anoden

Upprepning

Stången -Anod i anodposition 1 : 503 mV  
430 mV då anod i anodposition 2 anslöts  
3,9 mA mättes mellan stång och den anslutna anoden

Stången-anod i anodposition 2 : 518 mV  
480 mV då anod i anodposition 1 anslöts  
2,4 mA mättes mellan stång och den anslutna anoden

Avbrott för lunch

Jordtagsresistanserna mättes åter för zinkanoderna.

Anoden i anodposition 2: 152  $\Omega$ , 152,6  $\Omega$ ,  
Anoden i anodposition 1: 195  $\Omega$ , 195  $\Omega$

Stången-anod i anodposition 1 : 518 mV  
442 mV då anod i anodposition 2 anslöts  
4,1 mA mättes mellan stång och den anslutna anoden

Stången-anod i anodposition 2 : 527 mV  
483 mV då anod i anodposition 1 anslöts  
2,6 mA mättes mellan stång och den anslutna anoden

Zinkanoden i anodposition 1 flyttas till anodposition 3, cirka 10 m från anodposition 2.

Jordtagsresistanserna mättes åter för zinkanoderna.

Anoden i anodposition 2: 152  $\Omega$   
Anoden i anodposition 3: 166  $\Omega$

Stången-anod i anodposition 3 : 540 mV  
228 mV då anod i anodposition 2 anslöts  
4,6 mA mättes mellan stång och den anslutna anoden

Stången-anod i anodposition 2: 530 mV  
267 mV då anod i anodposition 3 anslöts  
3,76 mA mättes mellan stång och den anslutna anoden

En referenselektrod Pb/PbCl<sub>2</sub> placerades ut enligt skissen.

Båda zinkanoderna anslöts till stången.  
Spänningen mellan stång och referenselektrod ändrades då från -51 mV till -344 mV. Strömmen till stången uppmättes till -5,09 mA

Endast anoden i anodposition 3 anslöts till stången.  
Spänningen mellan stång och referenselektrod uppmättes till -223 mV. Strömmen till stången uppmättes till -3,68 mA.

Endast anoden i anodposition 2 anslöts till stången.  
Spänningen mellan stång och referenselektrod uppmättes till -309 mV. Strömmen till stången uppmättes till -4,1 mA.

Slut på mätningar.

### Appendix 3.

Minnesanteckningar från försöksinstallation av offeranoder av zink vid KLX10. 2006-05-31

Den tidigare stången i borrhålet var nu ersatt med en stång som belagts med teflon. Endast de understa 100 m av den totalt 500 m långa stången var obelagd. Mindre skador i teflonbeläggningen är förstås att vänta.

Tidigare utplacerade offeranoder av zink utnyttjades.

Mätningar (redovisas inte i detalj)

Stångens jordtagsresistans uppmättes till 94 Ω  
Casingens jordtagsresistans uppmättes till 115 Ω  
De båda offeranodernas individuella jordtagsresistans uppmättes till 95 Ω, respektive 95 Ω.

Potentialskillnaden mellan de båda offeranoderna uppgick till cirka 4 mV DC  
Spänningen mellan stång och casing uppmättes till +68 mV DC och 2,3 V AC.  
Vid kortslutning flöt 0,27 mA DC och 18 mA AC mellan casing och stång.

Spänning mellan stång och zinkanod med svart ledare 0,76 V DC och 2.7 V AC  
Spänning mellan stång och zinkanod med brun ledare 0,753 V DC och 2.54 V AC

Spänning mättes mellan stång och en offeranod när den andra offeranoden anslöts till stången (redovisas ej)

Spänningen mellan stången och casingen mättes då först den ena sedan den andra och till slut båda anoderna anslöts till stången.

Spänningen mellan stången och casingen då anod med brun ledare ansluts till stången  
-112 mV, -348 mV . . . -390 mV successiva avläsningar.

Spänningen mellan stången och casingen då anod med svart ledare ansluts till stången  
-126 mV, -320 mV , -345 mV, -355 mV . . successiva avläsningar.

Ström mellan stång och anod med svart ledare -3,2 mA, -2,85 mA . . successiva avläsningar.

Spänningen mellan stången och casingen då båda anoderna ansluts till stången  
-120 mV, -375 mV , -380 successiva avläsningar.

Ström mellan stång och de båda anoderna -4,2 mA, -3,61 mA . . successiva avläsningar.

Efter ~5 minuter -3,01 mA, -434 mV. Fortsätter driva mot lägre belopp på strömmen större belopp på spänningen (lägre spänningar).

Slut på mätningar.

## Appendix 8

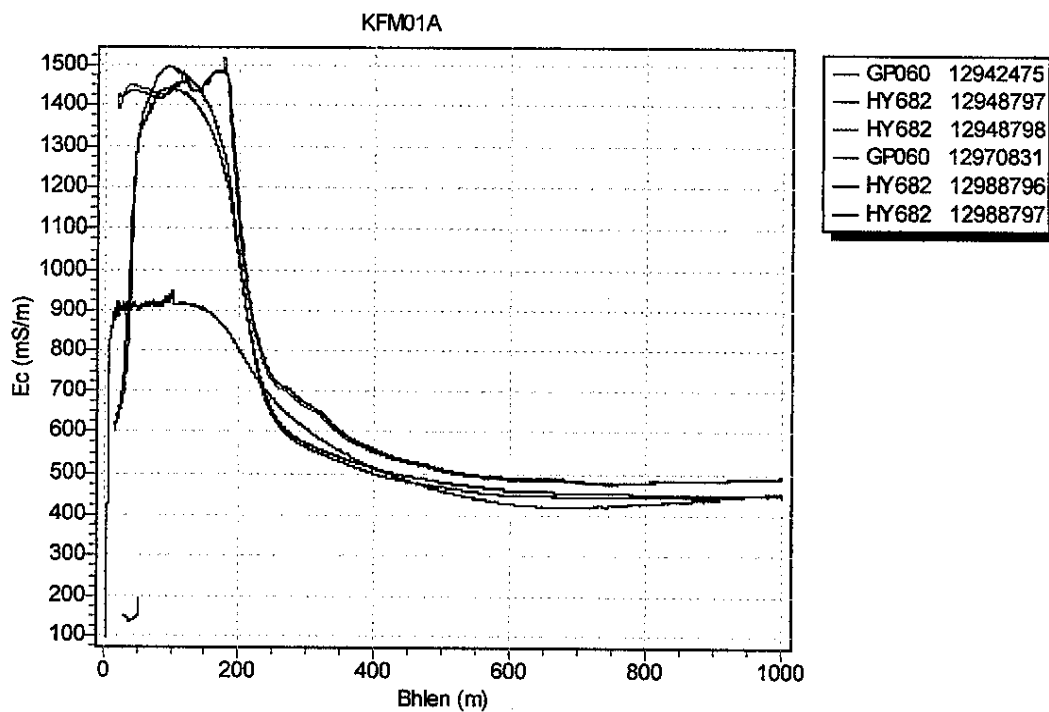
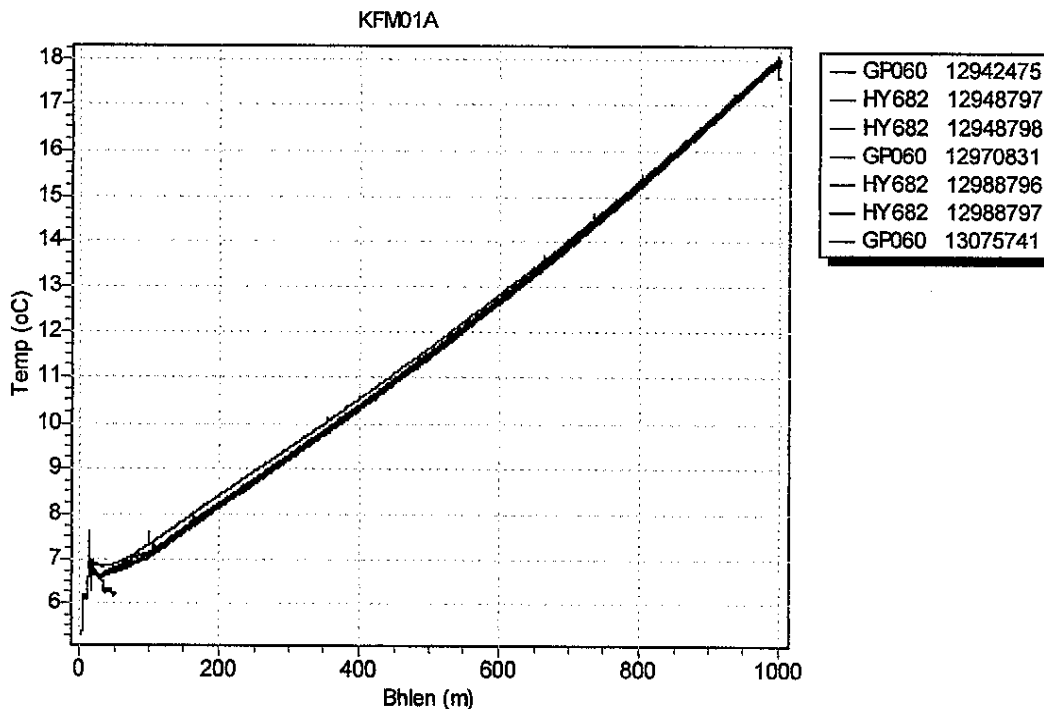
### Comparison of independent temperature and electrical conductivity measurements

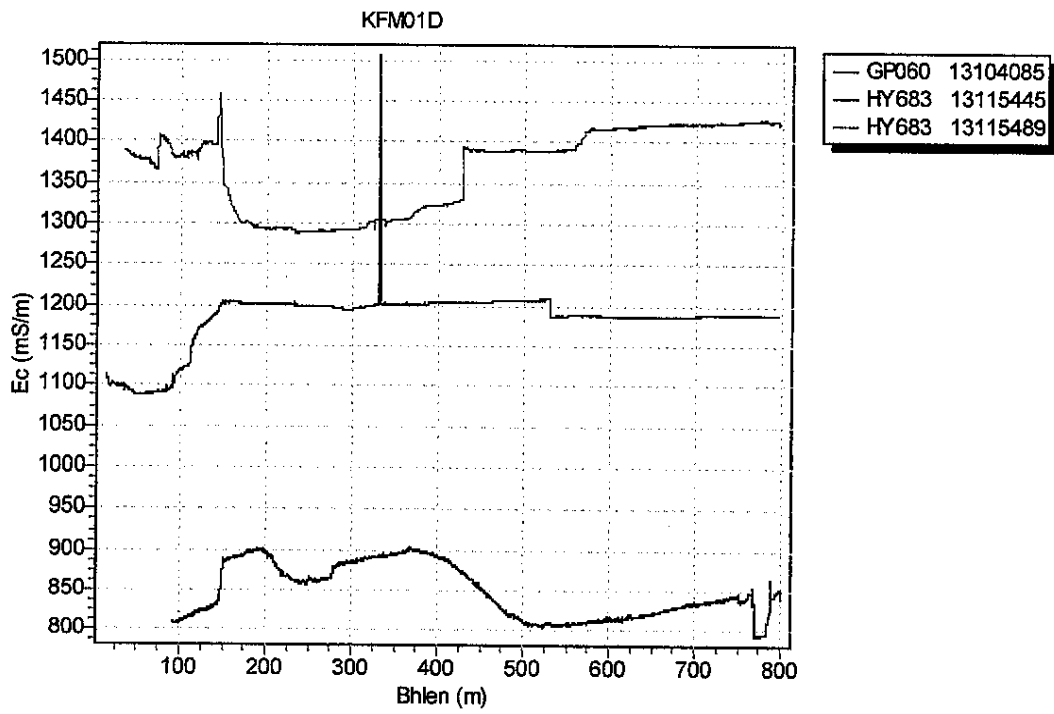
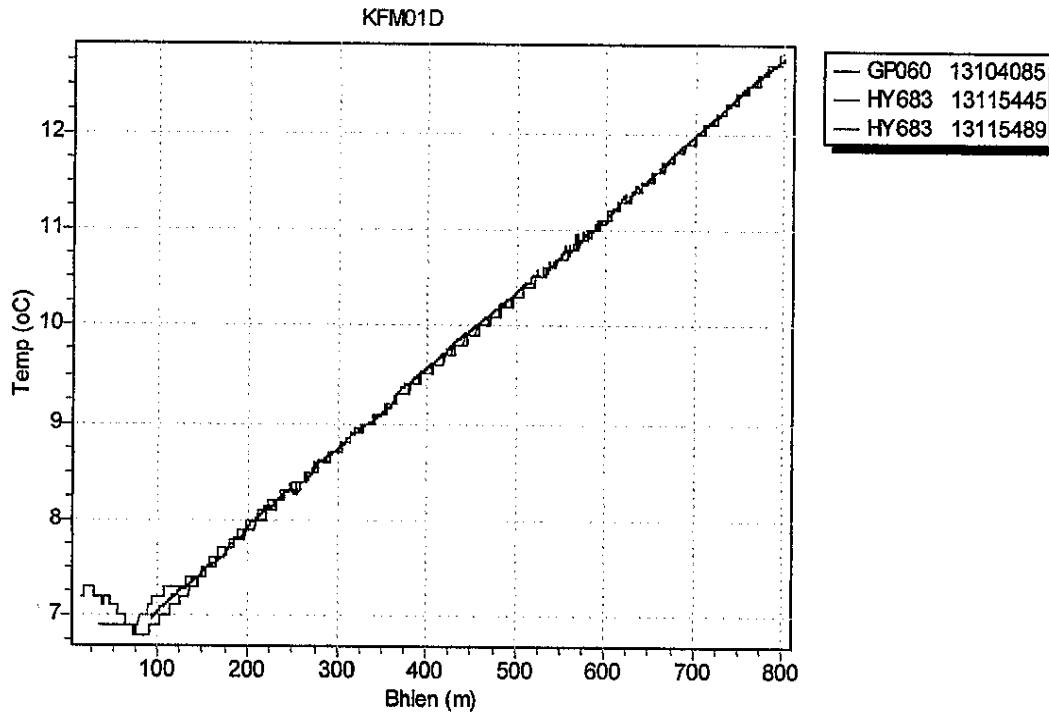
In most of the core-drilled boreholes temperature and electrical conductivity of the borehole fluid are measured with different methods. The following diagrams show the results from the activities Geophysical Borehole Logging (GP060) and Hydrology PFL (HY682, HY683 or HY684).

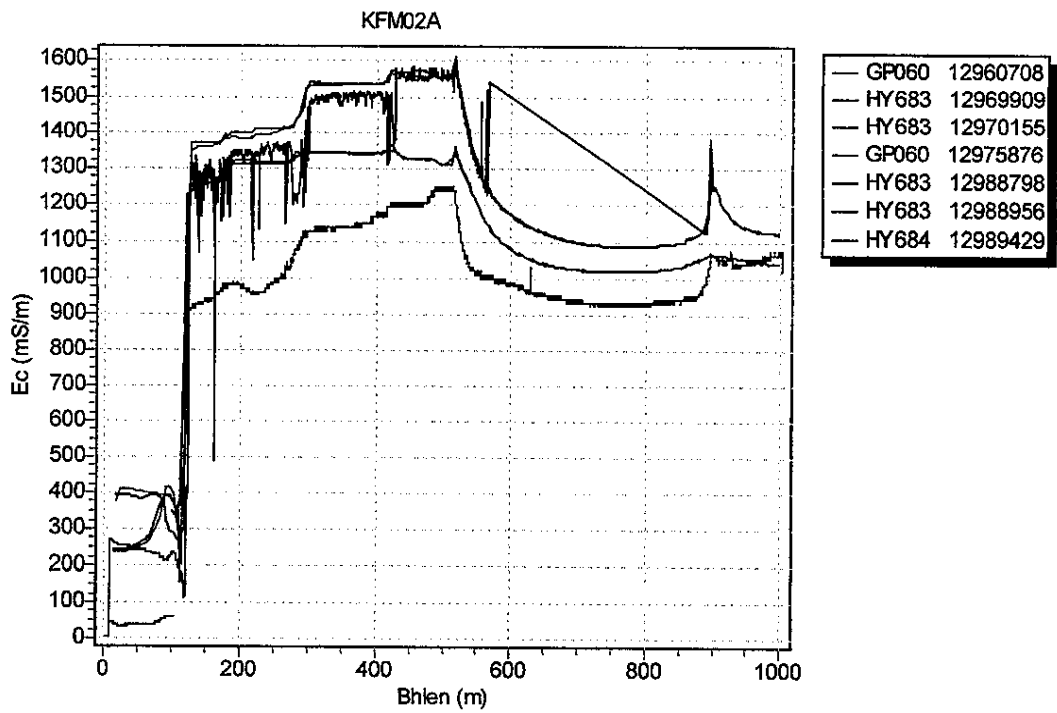
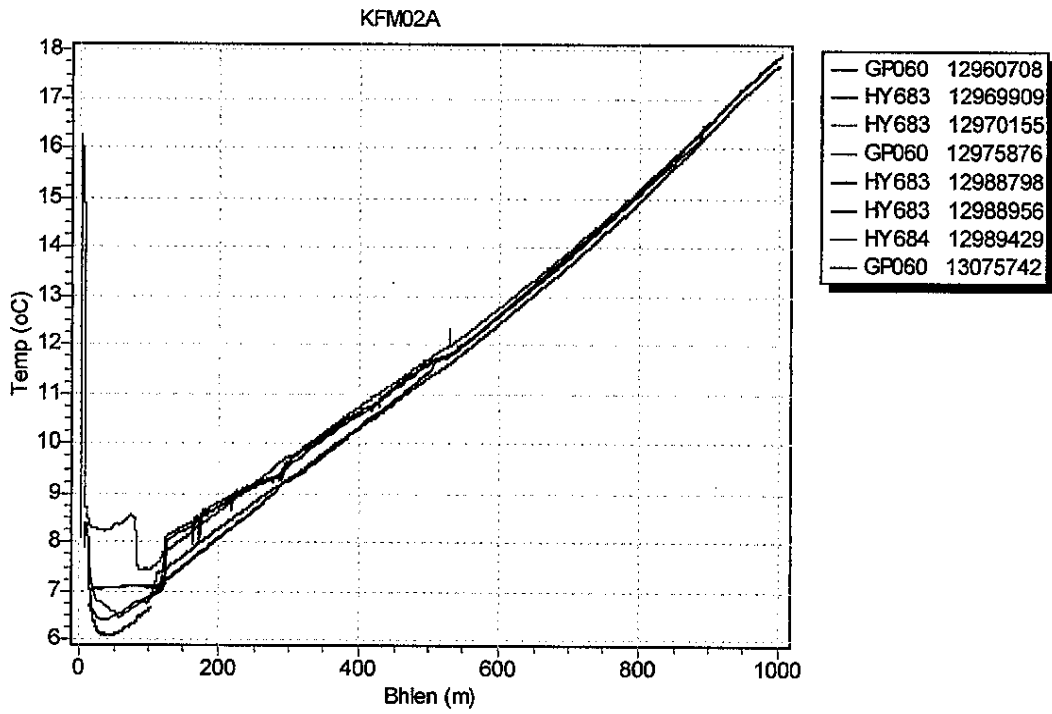
As seen, the temperature loggings from the two activities in general agree within a few tenths of a degree. One exception is from borehole KFM04A, in which one of the geophysical logging tools were malfunctioning. This particular activity has to be error-marked in Sicada. Other exceptions are seen in e.g. KFM02B and KFM10A. These deviations are probably due to the fact that pumping were performed during the PFL-logging. The deviations observed in KFM06A and KFM07A needs an explanation.

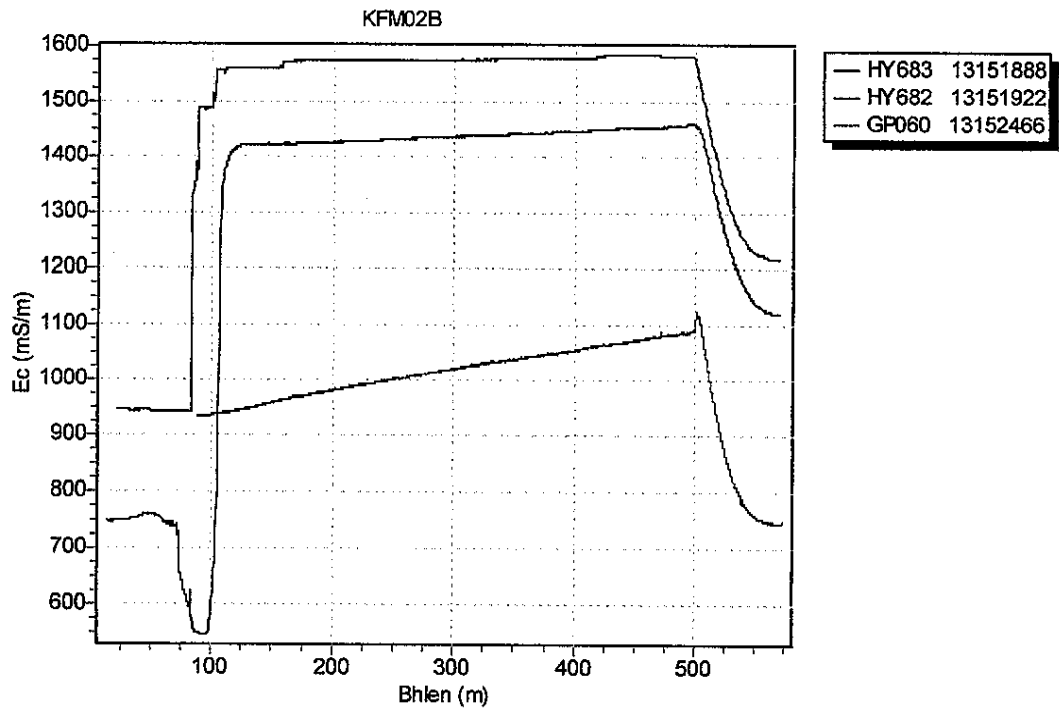
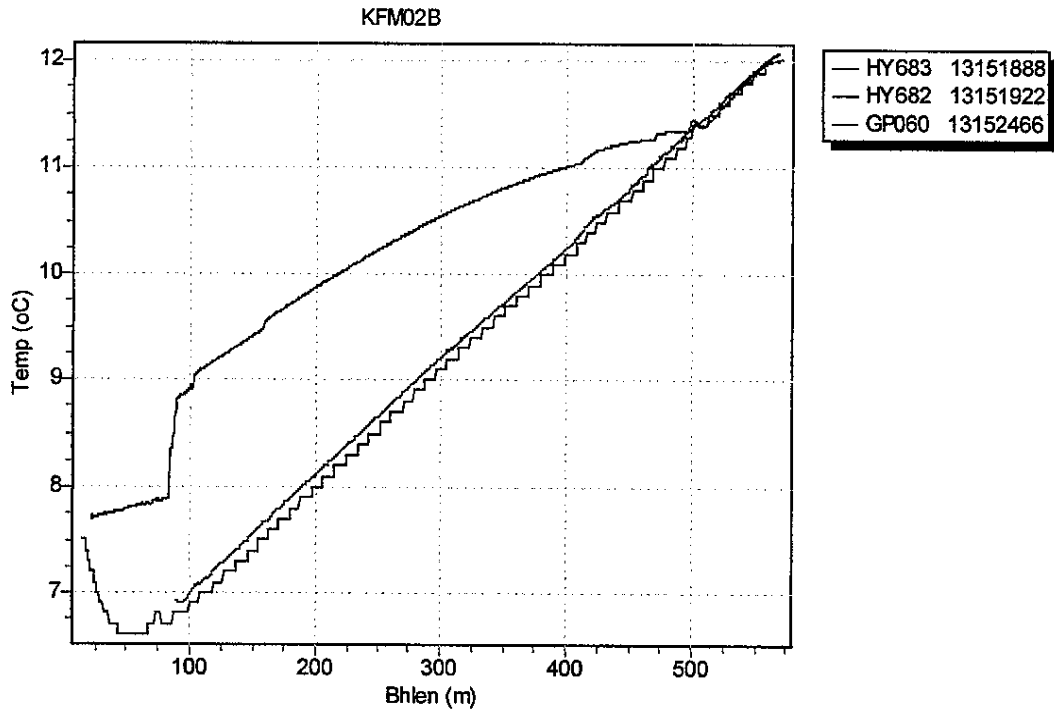
The electrical conductivity loggings are displayed in mS/m (milliSiemens per metre), although the original measurements in the GP060 activities are stored in Sicada in the units Ohm-m. These curves do agree reasonably in a few boreholes (e.g KFM01A), but in general the results from the geophysical loggings differs considerably from the HY-activities, giving values typically around 50% lower. The reason to this behaviour is not understood.

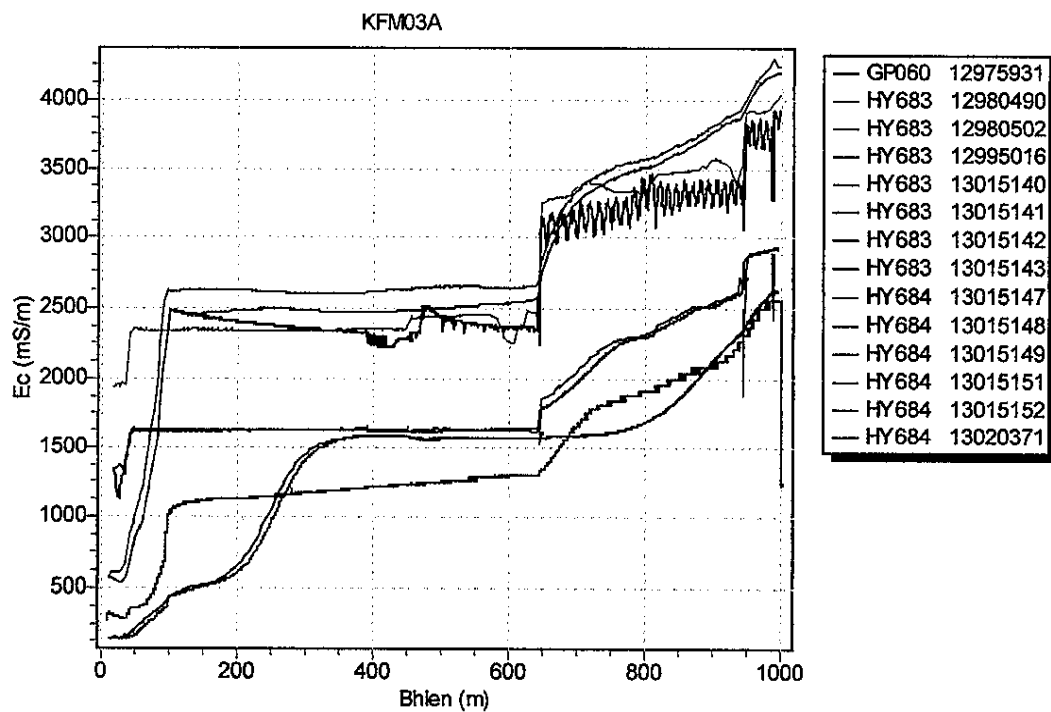
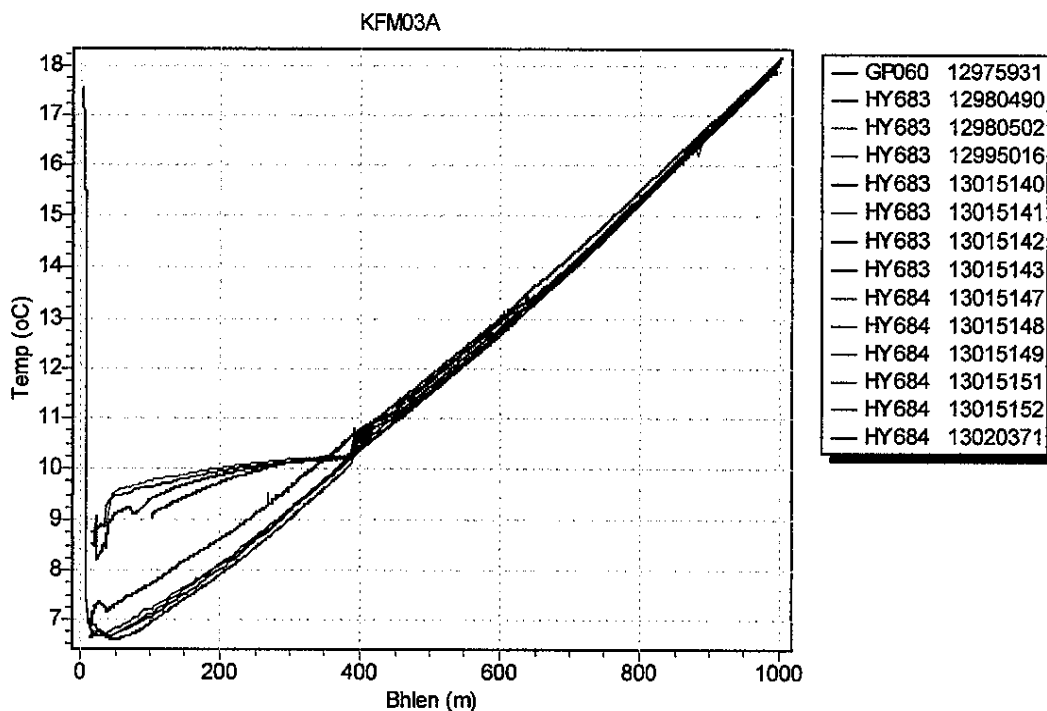


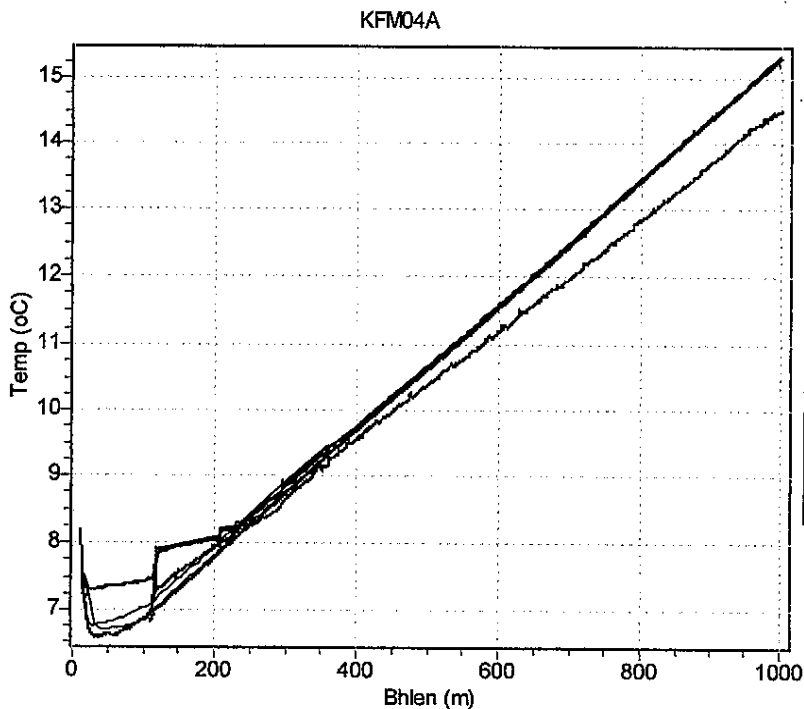






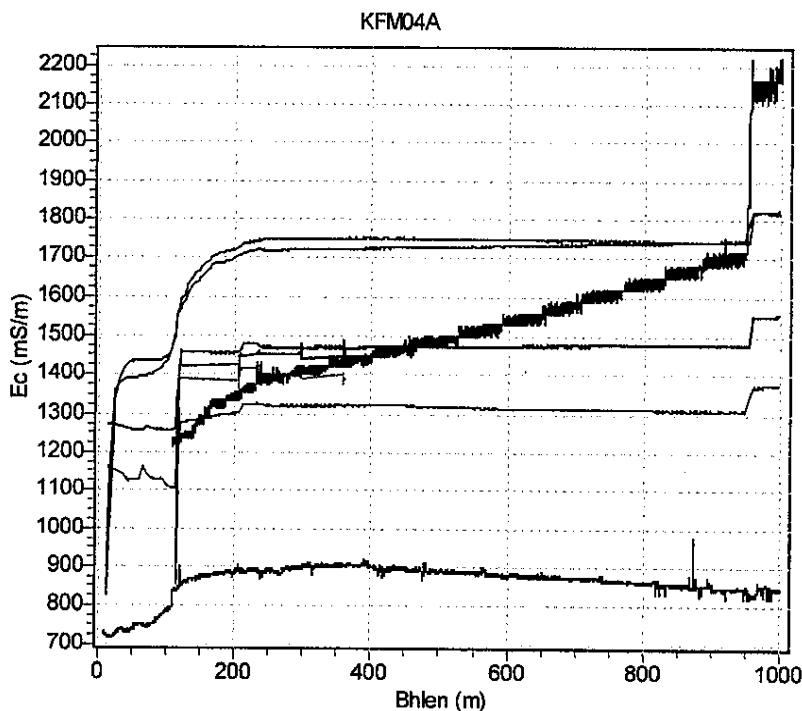






- HY683 13010318
- HY683 13010320
- HY684 13010346
- HY683 13010347
- HY683 13010388
- HY684 13010454
- GP060 13016509
- GP060 13097498

GP060, Id 13016509  
deviates from all other  
loggings.



- HY683 13010318
- HY683 13010320
- HY684 13010346
- HY683 13010347
- HY683 13010388
- HY684 13010454
- GP060 13016509
- GP060 13097498

GP060, Id 13016509  
deviates from all other  
loggings.

