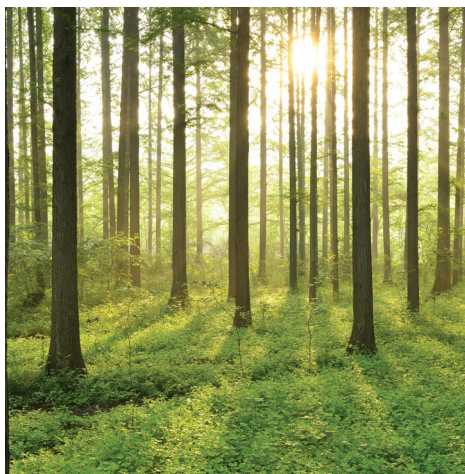


# VÄXELSTRÖMSPÅVERKAN PÅ NATURGASLEDNINGAR - HANDBOK

RAPPORT 2015:115



ENERGIGASER OCH FLYTANDE  
DRIVMEDEL





# Växelspänningens påverkan på naturgasledningar – Handbok

**ROLAND LUNDBERG**

**GÖRAN CAMITZ**

ISBN 978-91-7673-115-4 | © 2015 ENERGIFORSK

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

## Förord

Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskaps (MSB:s) föreskrift MSB 2009:7 (**Ref. 1**), anger krav på säkerhet vid projektering, byggande och drift av naturgasledningar. De svenska NaturGasSystemAnvisningarna, NGSA 2011 (**Ref. 2**), utgör tillämpningsnormer och visar hur säkerhetskraven i föreskriften kan uppfyllas genom praktiska åtgärder. Ett kapitel i NGSA ägnas åt korrosionsskyddande åtgärder på rörledningarna och ett annat åt åtgärder mot höga och personfarliga växelspänningar i ledningarna.

NGSA har av nödvändighet en begränsad detaljeringsgrad vad gäller säkerhetsåtgärderna. Gasbolagen Sydgas AB, (nu E.ON Gas AB) och Swedegas AB föreslog därför för ett antal år sedan att man i dåvarande Svenskt Gastekniskt Centers (nu Energiforsk) regi skulle ge ut en mera detaljerad vägledning på området växelströmskorrosion och personfarliga växelspänningar.

Bakgrunden till önskemålet är att korrosionstypen växelströmskorrosion är särskilt komplicerad. Det innebär att metoder för undersökning och bedömning av risken för denna typ av korrosion också är komplicerade. Samma förhållande gäller åtgärder mot höga växelspänningsnivåer i gasledningar. Avsikten med föreliggande handbok är att mera i detalj beskriva olika undersökningsmetoder och motåtgärder på dessa områden samt att ge vägledning vid arbete med dessa frågor både under projekteringsperioden och senare under drift av gasledningen.

Handboken vänder sig till projektörer, ägare och förvaltare av naturgasledningar och andra med intresse inom området exempelvis entreprenörer och konsultbolag.

Arbetet med handboken har finansierats av Energimyndigheten via Energiforsk, Swedegas AB och E.ON Gas AB.

Till handboksprojektet har en referensgrupp varit knuten med följande sammansättning:

Hans-Erik Edwall, Swedegas AB (tidigare anställd vid E.ON Gas)

Anna Gulin, E.ON Gas AB

Fredrik Gustavsson, Swedegas AB

Anna-Karin Jannasch, Energiforsk

Magnus Lindsjö, Swedegas AB

Göran Camitz (tidigare anställd vid Swerea KIMAB)

Roland Lundberg, ONE Nordic AB (tidigare E.ON ES AB)

Det är författarnas och referensgruppens förhoppning att handboken ska komma till nytta vid upprätthållandet av säkerheten på befintliga rörledningar och även säkerheten vid nyanläggning av naturgasledningar.

Stockholm och Malmö i mars 2015

Författarna

## Summary

### **Alternating current influence on natural gas pipelines – Handbook**

This handbook describes how buried natural gas steel pipelines can be influenced by alternating (AC) voltages to a not acceptable high voltage level. This may be the result of the pipeline being laid close to a high voltage overhead power line, an electrified railway, a high voltage switchboard, a buried electrical ground electrode or another type of AC installation. High AC- voltages may be dangerous if a person touches the pipeline or metal parts that are connected to the pipeline, e.g. measuring sockets in measuring posts, which are placed at ground surface above the pipeline.

The handbook also describes how moderate AC-voltages may cause corrosion attacks on the pipe steel surface by so called alternating corrosion. It also gives a guideline for estimating the risk for the occurrence of this type of corrosion by using various measurement methods.

Above all the handbook describes methods for reduction of dangerously high voltage levels in the pipeline, to a non-dangerous voltage level. This can be achieved by electrical grounding of the pipeline, by sectioning of the pipeline by installation of electrically insulating pipe joints at strategic points along the pipeline. Another counter method is to twist the phase conductors of the influencing power line at certain power line poles. When using the method electrical grounding, it is necessary to connect the ground electrode to the pipeline via a special coupling device.

In order to prevent that new pipelines will be electrically AC- influenced, it is important to conduct surveys along the planned pipeline route and to identify the possibility for future AC- influence from high voltage power lines, switchboards, railways etcetera.

The technical content of the handbook may also be used for buried, long water pipelines consisting of steel pipes and with welded pipe joints, if the pipeline is laid close to an AC- installation.

## Sammanfattning på svenska

I denna handbok beskrivs det hur jordförlagda naturgasledningar av stål kan bli växelspanningspåverkade till förhållandevis höga spänningsnivåer när ledningarna ligger nära en kraftledning, elektrifierad järnväg, ställverk, elektriskt jordtag eller annan växelströmsinstallation. Höga växelspanningar kan leda till personfara vid beröring av gasledningen eller vid beröring av metalldelar anslutna till rörledningen, till exempel mätuttag i mätstolpar som står i markytan ovanför gasledningen. Boken beskriver också hur måttfullt höga växelspanningar kan orsaka så kallad växelströmskorrosion på gasledningens stålrör, samt hur risken för denna typ av korrosion kan bedömas genom olika mätmetoder.

Framförallt beskriver handboken hur man på olika sätt kan minska den farligt höga växelspanningen i rörledningen till ofarlig spänningsnivå. Det kan göras genom elektrisk jordning av ledningen, sektionering genom inmontering av elektriskt isolerande rörstycken, så kallade isolerkopplingar (isolerstycken), på strategiska ställen i rörledningen samt genom omkastning av fasledarna i den påverkande kraftledningen.

För att förhindra att nya naturgasledningar blir påverkade av växelspanning är det viktigt att redan vid projekteringen av den planerade ledningssträckningen göra en systematisk genomgång av de omgivande förutsättningarna, avseende kraftledningar och ställverk.

Handbokens tekniska innehåll kan också tillämpas på långa markförlagda vattenledningar, med helsvetsade stålrör, som ligger nära en växelströmsanläggning.

## Innehåll

1. Bakgrund/Inledning .....	7
2. Historik .....	8
3. Ordförklaringar .....	10
4. Växelspänningspåverkan på markförlagda naturgasledningar .....	16
4.1 Kapacitiv spänningspåverkan .....	17
4.2 Induktiv spänningspåverkan .....	17
4.3 Konduktiv spänningspåverkan .....	19
5. Risker med växelspänningspåverkan.....	20
5.1 Personfaran .....	20
5.2 Växelströmskorrosion .....	20
5.3 Gränsvärden för tillåten växelspänning och växelströmstäthet .....	21
5.4 Beaktande av risk för personfarlig spänningspåverkan.....	21
5.4 Beaktande av risk för växelströmskorrosion .....	22
6. Projektering för undvikande av växelspänningspåverkan.....	22
6.1 Förberedande undersökningar.....	22
6.2 Förebyggande åtgärder vid nyförläggning .....	23
7. Växelströmskorrosion.....	25
8. Undersökning av risk för växelströmskorrosion .....	28
8.1 Undersökning på projekteringsstadiet.....	28
8.2 Beräkning av rörledningens växelspänning .....	29
9. Mätningar och Mätutrustning.....	30
9.1 Växelspänning .....	30
9.2 Strömmätning .....	31
9.3 Resistivitet och övergångsmotstånd .....	31
9.4 Potentialgradienter i mark – jordelektrod .....	32
10. Motåtgärder (inducerad och markgradienter) .....	32
10.1 Jordning av gasledningen .....	33
10.2 Installation av isolerkopplingar .....	36
10.3 Åtgärder i påverkande kraftledning .....	36
11. Slutord .....	37
12. Referenser.....	38
12.1 Referenslitteratur .....	38
12.2 Övrig litteratur .....	38
13. Appendix A (Checklista projektering).....	40

14.	Appendix B (Undersökning av växelströmskorrosion) .....	41
14.1	Beräkning av växelströmstäthet i ett felställe .....	41
14.2	Mätutrustning .....	41
14.3	Fältundersökning – ”Steg-för-stegmetoden” .....	60
15.	Appendix C (Bedömning av risk för växelströmskorrosion) .....	63
15.1	Osäkerhet vid riskbedömning .....	63
15.2	Bedömning baserad på rörledningens växelspanning .....	64
15.3	Bedömning baserad på växelströmstäthet.....	64
15.4	Bedömning baserad på kvoten växelström/likström.....	65
15.5	Bedömning baserad på uppmätt korrosion på provkupong.....	66
15.6	Bedömning baserad på mätning med elektrisk resistanssond, ER-sond ..	66
15.7	Bedömning baserad på mätning med korrosionssond, LC-sond .....	66
15.8	Bedömning baserad på mätning med polarisationsmätare .....	67
15.9	Bedömning baserad på resultat från analys av korrosionsprodukter .....	67
16.	Appendix D (Undersökning av personfarliga växelspanningsnivåer).....	67
16.1	Beröringsfarliga spänningar (Personsäkerhet).....	67
16.2	Starkströmsföreskrifterna, Standarder .....	68
16.3	Risk för överspänningar .....	69



## 1. Bakgrund/Inledning

En naturgasledning kan utsättas för komplicerade elektriska förhållanden. Framför allt kan rörledningen anta en förhållandevis hög växelspanning där ledningen går i närheten av en växelströmsanläggning, såsom högspänningskraftledning, elektrifierad järnväg, ställverksjordning och anläggningar som avger ett flöde av växelström i marken. Hög växelspanning i rörledningen kan medföra personfara genom så kallad hög beröringsspänning. Det kan också medföra att stålrören blir utsatta för korrosionsangrepp genom så kallad växelströmskorrosion. Elektrisk påverkan med växelspanning och växelström i en gasledning är komplicerade förlopp och motåtgärderna måste väljas och genomföras med omsorg.

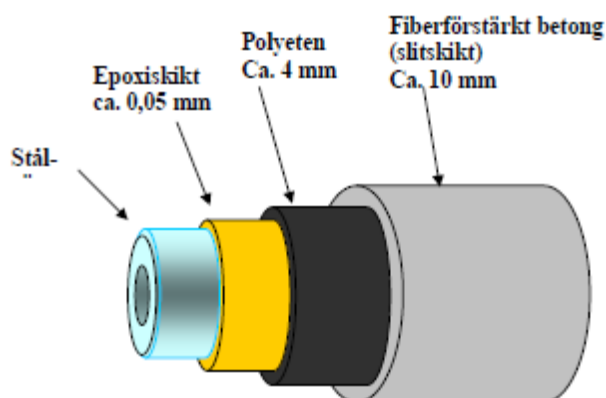
Växelströmskorrosion på rörledningar är en förhållandevis nyupptäckt typ av korrosion. Dess mekanism är mycket komplicerad, särskilt på rörledningar som är korrosionsskyddade med katodiskt skydd. Det innebär att metoder för undersökning och bedömning av korrosionsrisken också är komplicerade.

Föreliggande handbok är tänkt att utgöra stöd vid projektering av naturgasledningar och ett hjälpmedel vid undersökning av höga växelspanningar, med risk för växelströmskorrosion, på befintliga naturgasledningar. Meningen är att handboken ska kunna användas som ett praktiskt hjälpmedel vid projektering av nya gasledningar. Handbokens tekniska innehåll kan också tillämpas på långa, jordförlagda vattenledningar av stål med svetsade rörfogar.

## 2. Historik

Stålrören i de naturgasledningar och stora huvudvattenledningar, som byggdes fram till mitten och slutet av 1960-talet i Europa och på andra håll i världen, var utvändigt belagda med ett korrosionsskyddande, flera millimeter tjockt skikt av bitumen/asfalt. Rörledningarna (dock inte alla vattenledningar) var också korrosionsskyddade med katodiskt skydd. Som mekanisk förstärkning av asfalt-/bitumensskiktet fanns det ett glasfibernet inbakat i skyddsskiktet. På de allra äldsta rörledningarna utgjordes förstärkningen av juteväv. Skiktet har dålig elektriskt isolerande förmåga. Det innebär i sin tur att dessa äldre rörledningar har en låg jordtagsresistans (låg isolation mot jord) och därför inte kan bli särskilt starkt elektrisk påverkade av växelström genom induktion från närbelägen kraftledning eller elektrifierad järnväg.

Naturgasledningar och större vattenledningar med modern skyddsbeläggning introducerades omkring 1970. De har en utvändig, flera millimeter tjock plastbeläggning av polyeten (PE) eller polypropen (PP) som medför att rörledningarna har en extremt hög jordtagsresistans (god isolation mot jord) och att de därmed lätt blir elektriskt påverkade genom induktion eller som följd av ett konduktivt strömflöde mellan röret och en växelströmsförande ledare med jordkontakt (exempelvis ett jordtag), med förhållandevis hög växelspanning i rören som följd. I **figur 1:1** visas uppbyggnaden av det utvändiga plastskiktet på en modern rörledning för naturgasledningar eller vattenledningar av stål.



**Figur 1:1.** Gasrör med PE-skyddsbeläggning.

Omkring 1990 började det runt om i Europa överraskande uppträda utvändiga korrosionsskador i form av genomfrätningar i rörgodset hos rörledningar som hade lagts efter mitten av 1960-talet, trots att ledningarna var försedda med katodiskt korrosionsskydd. Samtidigt noterade man att de förhållandevis nyanlagda gasledningarna var växelspanningspåverkade till högre spänningsnivåer än vad som var fallet på de äldre asfalts-/bitumenisolerade rörledningarna. I många fall var spänningsnivåerna så höga att det var farligt att beröra rörledningen eller de metalliska delar som var anslutna till denna såsom reglerdon ovan mark och mätuttag i mätstolpar. Det gjordes omfattande undersökningar och man fann att korrosionsska-

dorna var orsakade av att det flöt en stark växelström mellan stålytan och omgivande jord i mekaniska skador i rörens plastbeläggning (PE/PP). Denna nyupptäckta typ av korrosion kom att kallas växelströmskorrosion.

I samband med upptäckten av de tidigaste korrosionsskadorna inleddes forskningsprojekt och intensiva fältundersökningar av växelströmskorrosion och växelströmspåverkan på naturgasledningar vid europeiska gasbolag. Även de svenska bolagen Sydgas AB och Swedegas AB genomförde omfattande undersökningar tillsammans med Korrosionsinstitutet (numera Swerea KIMAB). Undersökningar pågår fortfarande och resultaten redovisas fortlöpande i tidskriftsartiklar och vid årliga korrosionskonferenser som anordnas bland annat av den europeiska intresseorganisationen CEOCOR ([www.ceocor.lu](http://www.ceocor.lu)). Syftet med undersökningarna är bland annat att öka förståelsen av de komplicerade elektrokemiska förloppen vid växelströmskorrosion samt att utveckla metoderna för identifiering av risk för växelströmskorrosion på en befintlig naturgasledning.

### 3. Ordförklaringar

För fackuttryck inom området "Katodiskt skydd – Korrosion i jord – Läckströmskorrosion" som inte återfinns här, se Swerea KIMAB:s webbplats: [www.swerea-kimab.se](http://www.swerea-kimab.se)

<b>1. Anodisk ström:</b>	Ström som lämnar metallytan och flyter ut i elektrolyten.
<b>2. Avlägsen jord:</b>	Samma som neutral jord.
<b>3. Beröringsfarlig spänning:</b>	<p>Elektrisk spänning, i berörbar metallisk konstruktionsdel på gasledningen, som innebär personfara.</p> <p>Berörbar del är också mättuttag i mätstolpe för kontroll av katodiskt skydd.</p> <p>Beröringsspänningen får normalt vara högst 50 V växelspanning respektive 120 V likspänning. I våt och smutsig miljö, t ex. på byggarbetsplatser och i jordbruk, gäller lägre gränsvärden.</p>
<b>4. Elektrod:</b>	Metall eller annan elektronledare i kontakt med en elektrolyt och genom vilken elektrisk ström kan gå in i eller lämna elektrolyten
<b>5. Elektrodpotential:</b>	<p>Elektrisk potentialskillnad mellan elektrod, t ex. metallkonstruktion, och omgivande elektrolyt.</p> <p>Elektrodpotentialen mäts mot en referenselektrod placerad i elektrolyten.</p>
<b>6. Elektrolyt:</b>	Medium som kan leda elektrisk ström, såsom vatten, jord och fuktig betong.
<b>7. Elektrolytisk korrosion:</b>	Korrosion orsakad av att elektrisk ström, härrörande från en främmande strömkälla, lämnar metallytan och går ut i omgivande elektrolyt.
<b>8. Felställe (i skyddsbeläggning):</b>	<p>Mekanisk skada i elektriskt isolerande skyddsbeläggning på t ex. en rörledning.</p> <p>Felställen är i princip oundvikliga på en jordförlagd gasledning. De kan uppkomma vid applicering av beläggningen, under rörtransport, vid läggning av rörledningen i rörgraven och, senare under drift av ledningen, som följd av tjälskjutningar. I felställen är stålroret i direktkontakt med omgivande jord.</p>

<p><b>9. Frånslagspotential:</b></p>	<p>Skyddspotential som är uppmätt en bråkdel av en sekund efter brytning av skyddsströmmen, men omedelbart innan den katodiska depolarisationen inleds.</p> <p>Syftet med brytning av skyddsströmmen är att undvika inmätning av IR-fallet (spänningsfallet) i elektrolyten. Uttrycket kommer av att potentialen mäts i frånslagsögonblicket. I dagligt tal används ofta det engelska uttrycket OFF-potential för frånslagspotential.</p> <p>Se även tillslagspotential.</p>
<p><b>10. Jordresistivitet:</b></p>	<p>Jords specifika motstånd mot att leda elektrisk ström.</p> <p>Resistivitet är inverterade värdet av konduktivitet (elektrisk ledningsförmåga). Resistivitet anges i <math>\Omega \cdot m</math> (tidigare i <math>\Omega \cdot cm</math>).</p>
<p><b>11. Jordning (elektrisk)</b></p>	<p>Helheten av alla hjälpmedel och åtgärder för jordning.</p>
<p><b>12. Jordtag:</b></p>	<p>Ledare förlagd i marken (jorden) för att erhålla en elektriskt ledande förbindelse med omgivande mark.</p>
<p><b>13. Katodisk ström:</b></p>	<p>Ström som flyter från elektrolyten (jorden, vattnet etc.) in i metallytan.</p>
<p><b>14. Katodiskt skydd:</b></p>	<p>Elektrokemiskt korrosionsskydd, som innebär att metallens elektrodpotential sänks från korrosionspotentialen till ett värde, skyddspotentialen, där korrosionen är praktiskt försumbar.</p> <p>Potentialsänkningen sker genom utmatning av likström från anoden, genom jorden/vattnet till metallytan. Skydd med påtryckt ström, elektrolytiskt skydd, innebär att strömmen matas ut från en strömmatningsenhet t.ex. likriktare. Skydd med offeranod, galvaniskt skydd, innebär att strömmen alstras på galvanisk väg.</p>
<p><b>15. Kondensator-koppling:</b></p>	<p>En typ av "växelströmsavledare" bestående av kondensatorer kopplade mellan rörledningen och jordtaget.</p>
<p><b>16. Korrosionspotential:</b></p>	<p>Elektrodpotentialen hos en fritt korroderande metallyta.</p> <p>Korrosionspotentialen kan antingen vara en vilopotential (dvs. potential utan att elektrisk ström flyter) eller en polariserad potential, (dvs. potential som har förskjutits i positiv eller negativ riktning, till följd av att ström flyter ut ur respektive in i stallytan). Även katodisk skyddspotential är en polariserad potential.</p>

<p><b>17. Läckström:</b></p>	<p>Ström som på konduktiv väg flyter annan väg än den avsedda genom en elektrolyt (jord, vatten, betong etc.) och som härrör från en elektrisk anläggning med någon ledare i kontakt med elektrolyten.</p> <p>Läckström från en likströmsanläggning kan ge upphov till läckströmskorrosion. Läckström från en växelströmsanläggning kan ge upphov till växelströmskorrosion.</p>
<p><b>18. Läckströmskorrosion:</b></p>	<p>Elektrolytisk korrosion orsakad av läckströmmar i marken från elektrisk likströmsanläggning med någon del i kontakt med jord.</p> <p>Exempel på anläggning som kan ge upphov till sådan läckström är likströmsdriven spårväg samt likriktare för likströmssvetsning respektive för matning av katodiskt skydd med påtryckt ström. Under mycket speciella förhållanden kan även läckström från en växelströmskälla ge upphov till elektrolytisk korrosion. Denna form av läckströmskorrosion kallas växelströmskorrosion.</p>
<p><b>19. Marklina (i kraftledning):</b></p>	<p>Lina som går kontinuerligt under en kraftledning och som är nedgrävd ett stycke i marken.</p> <p>Avsikten med linan är att förbättra (minska) jordtagsresistansen hos kraftledningsstolparna av stål och linan är därför ansluten ovan mark till varje stolpe. Materialet i linan är vanligen koppar men varmförzinkade ställinor förekommer också. Är marklinan av koppar är den förbunden med stålstolpen via ett gnistgap för att förhindra galvanisk korrosion på stolpens stålfundament i jorden. Vid jordfel i kraftledningen eller vid blixtnedslag börjar gnistgapet att leda ström ned i marklinan och ut i marken.</p>
<p><b>20. Markpotentialer:</b></p>	<p>Potentialskillnader i markområde med icke neutral jord som följd av att marken är genomfluten av elektrisk ström.</p> <p>Se vidare spänningsgradienter i marken.</p>
<p><b>21. Mätstolpe:</b></p>	<p>Stolpe som står i markytan ovanför en gasledning. Stolpen innehåller mätplint och fasta mätkablar anslutna till rörledningen för kontroll av katodiska skyddets funktion.</p>
<p><b>22. Neutral jord:</b></p>	<p>Markområde med potentialen noll, dvs. det finns inga potentialgradienter (potentialskillnader) i marken.</p>
<p><b>23. OFF- potential:</b></p>	<p>Samma som frånslagspotential</p>
<p><b>24. ON- potential:</b></p>	<p>Samma som tillslagspotential</p>

<p><b>25. Polariserad potential:</b></p>	<p>Potential som har förskjutits i positiv eller i negativ riktning.</p> <p>Potentialförskjutningen i positiv riktning är en följd av ett flöde av anodisk ström. Strömmen kan vara en läckström eller en galvanisk ström. Förskjutningen i negativ riktning är en följd av ett flöde av katodisk ström. Strömmen kan här vara en läckström, galvanisk ström eller en katodisk skyddsström.</p> <p>En polariserad potential är inte längre en vilopotential.</p>
<p><b>26. Potentialgradienter (i marken):</b></p>	<p>Samma som Spänningsgradienter (i marken)</p>
<p><b>27. Provkupong:</b></p>	<p>Stålpatta med liten yta vilken är nedgrävd och ansluten till skyddsobjektet och som är avsedd för undersökning av korrosionshastighet i samband med kontroll av effektiviteten hos katodiskt skydd eller vid kontrollmätning av växelströmskorrosion.</p> <p>Provkupongen har samma utformning som en mätkupong med den skillnaden att stålpattan har vägts före nedgrävning, så att dess viktsförlust kan bestämmas genom förnyad vägning efter uppgrävning. Viktsförlusten räknas sedan om till medelavfrätning, uttryckt i <math>\mu\text{m}/\text{år}</math>. Vidare mäts djupet hos eventuella gropfrätningangrepp.</p> <p>Provkupong används vid kontroll av effektiviteten hos rörledningens katodiska skydd. Provkuponger används också för kontroll av om det förekommer korrosion som följd av att rörledningens är elektriskt påverkad.</p>
<p><b>28. Referenselektrod:</b></p>	<p>Mätelektrod för bestämning av elektropotential.</p> <p>Vid mätning av rörledningars elektropotential i jord används referenselektrod av typen mättad koppar/kopparsulfat (<math>\text{Cu}/\text{CuSO}_4</math>). Vid mätningen placeras referenselektroden i markytan rakt ovanför rörledningen. Potentialen läses av med en multimeter, med hög ingångsimpedans (<math>&gt; 10 \text{ M}\Omega</math>) som är ansluten både till rörledningen och till referenselektroden.</p>
<p><b>29. Sektionering:</b></p>	<p>Att med "isolerkopplingar" dela upp (sektionera) en skyddsbelagd rörledning (t ex naturgasledning) i var för sig elektriskt isolerade sektioner (galvaniskt skilda rörledningar). Benämns även isolerstycke.</p>

<p><b>30. Spänningsgradienter (i marken):</b></p>	<p>Spänningsfall i jorden pga. att det flyter en elektrisk ström i marken</p> <p>Nära intill en anod för katodiskt skydd är den utgående skyddsströmmen (likström) mycket koncentrerad i marken (hög strömtäthet) vilket medför att också spänningsfallet i marken är stort. Ju längre bort från anoden man kommer desto mindre är strömkoncentrationen och desto mindre är spänningsfallet. Mäter man spänningsfallet i markytan från anoden och utåt ser man att spänningsfallet per meter (spänningsgradienten) är störst de första metrarna varefter spänningsfallet per meter blir mindre ju längre bort från anoden man kommer.</p> <p>Samma förhållande gäller invid stålytan i en beläggningsskada på en katodiskt skyddad cistern/rörledning etc. (katoden), där skyddsströmmen är koncentrerad och spänningsfallet stort invid stålytan, medan strömtätheten och spänningsfallet per meter blir mindre ju längre bort från skyddsobjektet man kommer.</p> <p>Avsätts spänningen mot avståndet åt båda hållen från anoden resp. katoden i ett diagram får kurvan formen av en tratt, varför spänningsgradienter i marken även kallas spänningstratt.</p> <p>Även växelström som flyter genom jorden ger på likartat sätt upphov till spänningsgradienter i marken.</p>
<p><b>31. Spänningstratt:</b></p>	<p>se Spänningsgradienter i marken</p>
<p><b>32. Strömvledare:</b></p>	<p>Samlingsnamn för olika typer av elektrotekniska don för avledning av växelström men blockering av likström (katodisk skyddsström, galvanisk ström etc.) mellan växelströmspåverkad konstruktion och jordtag</p> <p>Strömvledare börjar avleda ström till jordtaget när växelspänningen mellan objektet (rörledningen etc.) och jordtaget uppgår till ett förutbestämt värde.</p>
<p><b>33. Strömtäthet:</b></p>	<p>Kvot mellan strömstyrka och arean hos den metallyta som strömmen flyter genom</p> <p>Strömtäthet på metallyta anges vanligen i mA/cm<sup>2</sup> eller i A/m<sup>2</sup>.</p>



<p><b>34. Tillslagspotential:</b></p>	<p>Skyddspotential uppmätt när skyddsström flyter.</p> <p>Tillslagspotentialen innehåller, förutom äkta skyddspotential, även ett IR-fall. Uttrycket kommer av att potentialen mäts med skyddsströmmen tillslagen. I dagligt tal används ofta det engelska uttrycket ON- potential för tillslagspotential..</p> <p>Jämför även, Frånslagspotential, OFF-potential.</p>
<p><b>35. Topplina (i kraftledning):</b></p>	<p>Jordningslina som hänger i toppen på stolparna i en högspänningskraftledning</p> <p>Linans uppgift är att, vid åsknedslag eller jordfel i kraftledningen, leda ner ström till kraftledningens marklina eller till ställverkens jordlinenät. Linan är vanligen i direktkontakt med stålstolparna och därmed också i kontakt med marklinan. I vissa kraftledningar är topplinan isolerad från stolparna men i direktkontakt med ställverksjordningen.</p> <p>Se även Marklina (i kraftledning)</p>
<p><b>36. Växelströmskorrosion:</b></p>	<p>Elektrolytisk korrosion som orsakas av växelström</p>

#### 4. Växelspänningspåverkan på markförlagda naturgasledningar

Vid närhet till starkströmsanläggningar kan en naturgasledning anta en växelspänning, som kan medföra personfara och/eller korrosion. Se **figur 4:1**. Kraftanläggningar som kan ge upphov till höga växelspänningar i en gasledning är direktjordade högspänningskraftledningar och ställverk med 110, 130, 220 och 400 kV spänning. Den 3-fasiga växelströmmens frekvens i dessa är 50 Hz.



**Figur 4:1.** Gasledning som går nära och parallellt med en högspänningskraftledning (foto: G. Camitz)

Även kontaktledningen och ställverk för elektrifierad järnväg kan, under vissa förhållanden, ge upphov till växelspänningar i en närbelägen gasledning. Växelströmmen i kontaktledningarna i Sverige är 1-fasig och dess frekvens är  $16 \frac{2}{3}$  Hz och driftspänningen vanligen 16 kV.

Den elektriska påverkan innebär att gasledningen antar en elektrisk växelspänning (eg. potential) mot jord. Detta kan ske först vid närhet till kraftanläggningen, såsom vid korsning och vid parallellförläggning med kraftledningar respektive järnväg samt vid närhet till ställverksjordningar. Vid påverkan från kraftledningar får, som sagts ovan, rörledningens växelspänning frekvensen 50 Hz och vid påverkan från järnvägars kontaktledning får rörledningens växelspänning frekvensen  $16 \frac{2}{3}$  Hz. Det är denna växelspänning som kan bli så hög att det utgör personfara att beröra rörledningen, rördelar eller mätuttag i mätstolpar.

Huvudanledningen till att det kan byggas upp stora växelspänningar i en naturgasledning är att hela rörledningen är noggrant inplastad med ett 3-4 mm tjockt polyetenhölje, vilket tjänar som ett korrosionsskydd. Rörledningen blir därigenom effektivt elektriskt isolerad mot jord. Rörstålet är i kontakt med jord endast i ett mycket litet antal, förhållandevis små felställen, det vill säga mekaniska skador, "hål", i plastisoleringen. Blir rörledningen elektriskt påverkad och det uppstår en

växelspänning i ledningen kommer det att flyta en växelström mellan stålytan i felställen och jorden. Det är denna ström som kan orsaka korrosionsangrepp på rörstålet i beläggningsskador, så kallad växelströmskorrosion.

Växelspänning kan uppkomma i en gasledning från t ex en kraftledning på kapacitiv, induktiv och konduktiv väg. För mera ingående beskrivning av växelströmspåverkan på gasledningar, se CIGRÉ Technical Brochure 410 (Ref. 3).

Annan elektrisk påverkan som "DC-påverkan", från likströmsanläggningar behandlas inte i detalj i denna handbok. Se istället svensk standard SS-EN 50162 (Ref. 4).

#### 4.1 Kapacitiv spänningspåverkan

Kapacitiv spänningspåverkan kan ske under gasledningens byggperiod. Denna påverkan är möjlig endast om gasrören är sammansvetsade till en lång rörledning som ligger nära och en längre sträcka parallellt med en kraftledning eller en järnvägs kontaktledning. Kapacitiv påverkan kan förekomma endast så länge rörledningen är elektriskt isolerad från marken, det vill säga då den inte är i kontakt med marken och inte är elektriskt jordad. Rörledningen betraktas som isolerad från marken när den ligger upplagd på rörpallning av till exempel trä, som hindrar direktkontakt med marken. Personfarlig kapacitiv spänningspåverkan är alltså möjlig endast fram till dess att rörledningen har sänkts ned i rörgraven och täckts över med jord.

Kapacitiv påverkan kan minimeras/elimineras genom att rörledningen i vardera änden ansluts till ett tillfälligt anordnat jordtag, till exempel ett stålspekt med god kontakt med marken.

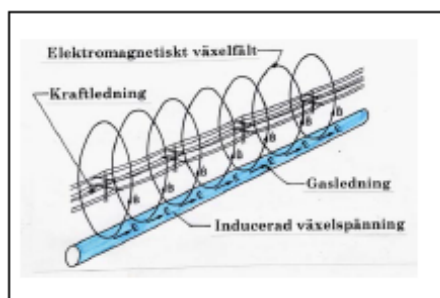
#### 4.2 Induktiv spänningspåverkan

Vid växelspänningspåverkan på markförlagda gasledningar är det i första hand den induktiva påverkan som föranleder säkerhetsåtgärder. Induktiv spänningspåverkan kan uppkomma när en jordförlagd gasledning löper parallellt en längre sträcka med en kraftledning eller en järnvägs kontaktledning. Vanligen behöver parallellismen vara i storleksordningen en kilometer eller mer för att den induktiva spänningspåverkan skall bli betydande. Man skiljer mellan:

- Permanent induktiv spänningspåverkan orsakad av driftsströmmen i parallellgående kraftledning, eller kontaktledningen hos en järnväg, under normaldrift i den elektriska ledningen, och
- Kortvarig induktiv spänningspåverkan (normalt kortare än delar av en sekund) orsakad av en jordfelsström i parallellgående kraftledning/kontaktledning eller vid åsknedslag i närheten av rörledningen.

Spänningen och strömflödet i en kraftledning vid normal drift medför att kraftledningen omges av ett elektromagnetiskt fält. Fältstyrkan ( $\mu\text{T}$ ) varierar med effektuttaget i kraftledningen (strömstyrkan i fasledarna). På grund av bland annat osymmetriskt avstånd mellan gasledningen och kraftledningens tre fasledare kan en

permanent växelspanning induceras i den parallella gasledningen, om denna ligger inom det nämnda fältet. Se **figur 4:2**. Den permanent inducerade spänningen överskrider i praktiken sällan storleksordningen 100 V AC.



**Figur 4:2.** Induktiv växelspanningspåverkan på en gasledning från en parallell högspänningskraftledning. (Bild: G. Camitz).

Den inducerade växelspanningen ökar med ökad längd hos parallellsträckan och med minskat avstånd mellan gasledning och kraftledning. Ytterligare faktorer som inverkar är strömstyrkan (effektuttaget) i kraftledningen, markens och berggrundens resistivitet, rörledningens diameter och "längsledningsförmåga", korrosionsskyddsbeläggningens isolerande förmåga och faslinornas inbördes konfiguration i kraftledningsstolparna.

Vid ett jordfel i en kraftledning/kontaktledning flyter det en mycket stor jordfelsström i ledningen under den korta tiden (normalt inte längre än delar av en sekund) tills kraftledningen löser ut, det vill säga tills spänningsutmatningen har brutits automatiskt i ställverket. Under denna korta period kan en mycket hög spänning induceras kortvarigt i den parallella gasledningen. Den inducerade spänningen kan då uppgå till i storleksordningen några tusen volt. Också vid blixtnedslag i kraftledningen kan det induceras en mycket hög spänning i gasledningen under ett kort ögonblick. På analogt sätt kan en jordfelsström i kontaktledningen hos en järnväg inducera en växelspanning i en parallellgående gasledning.

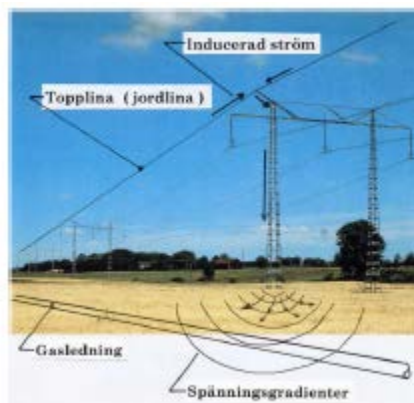
Den permanenta växelspanningspåverkan från en kraftledning varierar i förhållande till effektuttaget i kraftledningen. Därför är spänningspåverkan vanligen större på dagen än på natten och större under vinterhalvåret än under sommarhalvåret. Av samma skäl varierar spänningspåverkan från kontaktledningen i en elektrifierad järnväg i förhållande till tågtrafiken. Se **figur 4:3**.



**Figur 4:3.** Induktiv och konduktiv växelspanningspåverkan på en gasledning från kontaktledningen hos en parallell, elektrifierad järnväg. (Bild: Banverket).

#### 4.3 Konduktiv spänningspåverkan

Vid ett jordfel i en kraftledning antar kraftledningens stålstolpar en mycket hög spänning mot avlägsen jord. En hög växelström flyter då från stolpens stålfundament, och dess eventuella markförlagda jordningslina, ut i jorden. När växelströmmen flyter genom jorden ger den upphov till spänningsgradienter i marken, vilka avtar utåt från det ställe (stolpfundamentet, jordtaget etc.) där strömmen introduceras i jorden. Ligger gasledningen nära detta ställe, där skillnaderna i markpotential är stora, kan den bli växelspanningspåverkad och genomfluten av växelström. Denna typ av konduktiv spänningspåverkan är normalt kortvarig; någon tiondels sekund, tills kraftledningen löser ut i ställverket.



**Figur 4:4.** Konduktiv växelströmspåverkan på en gasledning från stålstolpen i en kraftledning. Stolpen leder ner växelström från kraftledningens topplinor som är växelströmpåverkade genom induktion från ledningens fasledare. Strömmen går ut i marken och ger upphov till spänningsgradienter i jord. (Bild: G. Camitz).

I vissa fall kan den konduktiva spänningspåverkan vara mer eller mindre permanent. Till exempel kan marken lokalt vara permanent genomfluten av ström från ett jordtag som avleder en obalansström, som beror på ojämn strömbelastning av fasserna i 3-fassystemet. Ström kan också ledas permanent från topplinorna i en

kraftledning ned genom stålstolpen och vidare ut i marken via stolpfundamentet och ge upphov till skillnader i markpotential, spänningsgradienter. Även den permanenta konduktiva påverkan varierar i takt med effektuttaget i kraftledningen. Se **figur 4:4**

## 5. Risker med växelspanningspåverkan

Vid växelspanningspåverkan på en gasledning föreligger det i första hand två risker: 1) risk för personfara respektive 2) risk för växelströmskorrosion. I vissa fall kan båda dessa risker föreligga samtidigt.

### 5.1 Personfaran

Det är i första hand personfaran, på grund av hög beröringsspänning i rörledningen, som föranleder att risken för högspänningspåverkan måste beaktas. Risk för farlig beröringsspänning kan förekomma både vid kortvarig och vid permanent spänningspåverkan.

Vidrör en person en spänningspåverkad gasledning eller en metalldel ansluten till gasledningen kan personen börja fungera som ett "jordtag" och ström kan flyta genom kroppen. Människan tål endast en liten ström genom kroppen, under en kort tid, särskilt om strömmen leds genom hjärtat. Vid en och samma spänning blir emellertid strömmen olika genom kroppen vid olika fall. Bland annat inverkar luftfuktighet, personens resistans mot jord (t ex. "gummistövlar eller inte") och markresistiviteten. Gränsen för personfara uttrycks dock som en spänningsnivå. Här används ofta begreppet "maximalt tillåten beröringsspänning", vilket motsvarar spänningen mellan kontaktstället på rörledningen och en punkt på marken cirka en meter därifrån. Vid uppmätning av förväntad beröringsspänning med en högimpedansvoltmeter används ett lämpligt motstånd över denna som då motsvarar den mänskliga kroppen.

Ställen där man kan beröra en markförlagd gasledning är till exempel där ledningen går upp ovan mark, i mätstolpar (mätuttag för kontroll av det katodiska skyddet), i likriktarskåp (matningsenhet för det katodiska skyddet), vid reglerdon (t ex ratt för manuell avstängning av linjeventil) och liknande anordningar. Försiktighetsåtgärder i samband med kontrollmätningar av det katodiska korrosionsskyddet på en jordförlagd gasledning måste därför tillgripas.

### 5.2 Växelströmskorrosion

Mycket hög växelströmstäthet, alltså strömstyrka per stålarea, (totalt  $A/m^2$ , dvs. några  $mA/cm^2$ ) på stålytan i ett felställe i rörets skyddsbeläggning kan orsaka växelströmskorrosion trots att rörledningen är katodiskt skyddad. Det finns ingen absolut gräns för vid vilken strömstäthet, och heller ingen gräns för vid vilken växelspanning, som korrosionen kan börja ske. Risken kan bara bestämmas indirekt genom mätning av olika faktorer direkt på gasledningen eller på nedgrävda mät- eller provkupper som är elektriskt anslutna till gasledningen. De värden som

anges i europeiska standarder och i denna handbok får anses vara "flytande", det vill säga gränserna är oskarpa.

Risken anses dock för närvarande med dagens kunnande vara liten om gasrörets växelspanning är 4 V<sub>ac</sub> eller lägre. Risken anses också med ledning av dagens kunnande vara liten om växelströmstätheten är lägre än 30 A/m<sup>2</sup> vilket motsvarar 3 mA/cm<sup>2</sup>. Se vidare kapitlet 8 "Undersökning av risk för växelströmskorrosion" i handboken samt Växelströmskorrosion på jordförlagda stålrörsledningar – Sammanställning av dagens kunnande (**Ref. 10**).

### 5.3 Gränsvärden för tillåten växelspanning och växelströmstäthet

Med hänsyn till personfara får växelspanningen i rörledningen inte överstiga vissa gränsvärden, vilka anges av Elsäkerhetsverkets föreskrifter. Vid permanent spänningspåverkan anges gränsen normalt vid 50 V AC. Vid kortvarig (någon tiondels sekund) spänningspåverkan, till exempel vid jordfel i en närbelägen kraftledning (högspänning), tillåts högre spänningvärden (t ex 600 V vid max ca 150 ms enligt IEEE 80) -. Se vidare Appendix D "Undersökning av personfarliga växelspanningsnivåer" och SS EN 61936 Starkströmsanläggningar med nominell spänning överstigande 1 kV AC.

Gränsvärden med hänsyn till risken för växelströmskorrosion redovisas i Appendix C "Bedömning av korrosionsrisk". Dessa gränsvärden baserar sig på praktisk erfarenhet och de bör betraktas som flytande men vägledande. Anledningen är att växelströmstätheten kan vara olika i olika felställen i rörledningens skyddsbeläggning trots samma växelspanning i rören beroende på olika jordresistivitet vid felställena. Frågan om gräns för acceptabel strömstäthet är ännu inte helt klarlagd. Forskning pågår vid olika FoU-institut och gasbolag runt om i Europa.

### 5.4 Beaktande av risk för personfarlig spänningspåverkan

Enligt NGSÄ måste risken för högspänningspåverkan beaktas under olika stadier för en gasledning, såsom på projekteringsstadiet, under byggnationsperioden och i driftskedet.

Vid projekteringen beräknas väntade spänningsnivåer, både vid permanent och vid kortvarig spännings-/strömpåverkan, där rörledningen går nära kraftledningar, ställverk och elektrifierad järnväg. Manuella beräkningar är mycket komplicerade varför beräkningarna vanligen sker med datorprogram. Beräkningarna visar om förebyggande motåtgärder, till exempel jordning eller inmontering av isolerkoppling, behöver vidtas.

Resultatet från beräkningen kan kontrolleras genom att man gör en "nedskalad" spänningssättning av en nylagd gasledning med hjälp av en simulerad jordfelsström i den parallellgående kraftledningen.

I byggnadsskedet måste åtgärder vidtas för att eliminera personfara vid arbete på en gasledning i närheten av högspänningsanläggningar. Rörledning som ligger sammansvetsad på uppallning invid ledningsgraven måste vara jordad. I detta skede måste även hänsyn tas till farlig spänningspåverkan som kan orsakas av

blixtströmmen vid åsknedslag. Arbeten på rörledningen måste därför avbrytas vid åska.

Under drift av rörledningen måste man med jämna intervall kontrollera att installationer på rörledningen, som ska förhindra höga beröringsspänningar, fungerar och är i god kondition. Vid risk för åska får inte rörledningens katodiska skydd mätas med mätledningar anslutna i mätstolpar.

#### 5.4 Beaktande av risk för växelströmskorrosion

Risken för växelströmskorrosion måste enligt NGSA 2011 beaktas både under projektering av gasledningen och senare, under drift. Hur detta kan göras beskrivs i handbokens Appendix B, "Undersökning av risk för växelströmskorrosion" och Appendix C, "Bedömning av risk för växelströmskorrosion".

### 6. Projektering för undvikande av växelspänningspåverkan

#### 6.1 Förberedande undersökningar

På ett tidigt stadium av projekteringen av en ny rörledningssträckning ska, enligt NGSA 2011, undersökningar genomföras med avseende på risken för växelspänningspåverkan i den tänkta ledningssträckningen. Undersökningarna genomförs dels genom en genomgång av kartor för den tänkta ledningssträckningen, dels genom att på kartorna föra in ställen med närhet till elektriska anläggningar (kraftledningar, HighVoltageDirectCurrent (HVDC)-anläggningar, radiomaster, järnvägsspår, telekablar, vattenledningar) som kan komma att störa den tänkta rörledningen. Dessutom bör praktiska fältundersökningar utföras vid besök på platser i den tänkta ledningssträckningen där det föreligger närhet till de elektriska anläggningarna. Se även appendix A Checklista.

En lämplig arbetsmetodik är att först göra upp en förteckning av alla korsningspunkter med eller närhet till främmande elektriska anläggningar och sedan mäta avståndet till parallella kraftledningar och ställverk. Därefter besöks de platser som bedöms utgöra störst risk. Vid dessa besök kan det vara nödvändigt att genomföra mätningar av potentialgradienter i den tänkta rörledningssträckningen.

En kompletterande metod kan vara att lägga ut en isolerad ledare (till exempel RK 1,5 mm<sup>2</sup>) med en längd av några 100-tal meter i den tänkta rörledningssträckningen där denna är parallell med kraftledningar och jorda ledaren i ena ändan samt mäta den inducerade spänningen i andra änden i förhållande till lokal jord på den platsen. Vid dessa mätningar måste stor försiktighet beaktas då det kan uppstå kraftiga inducerade spänningsnivåer i ledaren. Uppmätta värden ska alltid korreleras till aktuell ström (belastning) i kraftledningen varför man behöver etablera kontakt med ansvarig driftledning för den aktuella kraftledningen. Vidare ska denna spänning räknas om till den verkliga längden för parallellsträckan för den tänkta rörledningen.

Alla uppgifter ska dokumenteras. Vidare ska en bedömning göras av behovet av åtgärder som är nödvändig för antingen rörledningssträckningen eller för utformningen av rörledningen. Även rekommenderade åtgärder ska redovisas



## 6.2 Förebyggande åtgärder vid nyförläggning

### 6.2.1 Rörledning

Vid projektering av en rörledning bör bland annat följande faktorer beaktas:

1. närhet till kraftledningslinjer (40 – 400 kV) med parallellism
  2. korsningar med kraftledningar (40 – 400 kV) – med förhöjda potentialgradienter i mark
  3. närhet till kraftledningsstolpar och/eller jordlinor – med förhöjda potentialgradienter i marken
  4. närhet till högspännings ställverk, med risk för potentialgradienter (beakta även vid jordfel)
  5. närhet till jordtag för eldistributionsnätet som kan ge markgradienter (beakta även vid jordfel)
  6. induktion från järnväg med elektrisk drift 16 2/3 Hz samt risk för vagabonderade strömmar
  7. markresistiviteten i den planerade rörledningssträckningen
  8. närhet till radiomaster
  9. närhet till signalspårsträckor med likspänning, vid järnväg - potentialgradienter DC
  10. närhet till andra DC påverkande anläggningar, HVDC, spårväg, cellulosaindustri – potentialgradienter DC
- närhet till andra katodiskt skyddade konstruktioner, telekablar, vattenledningar – potentialgradienter DC

Det är flera åtgärder vid nyförläggning av naturgasledningar som kan förebygga risken för växelströmskorrosion och personfarliga spänningar. En av de viktigaste åtgärderna är att minimera längden på rörledningssträckor som är parallella med kraftledningar där det är korta avstånd (ca 100 till 500 m) mellan planerad rörledningssträckning och kraftledning. Även längre avstånd kan ställa till problem om det är långa rörledningssträckor (ca 5 till 30 km) som är parallella.

### 6.2.2 Kraftledningar

För nyförläggning av kraftledningar är det viktigt att beakta den elektriska påverkan som man beräknar att närmiljön (några km) utsätts för kring kraftledningssträckningen. De faktorer som då normalt måste bedömas är:

- induktiv påverkan i parallella isolerade rörledningar
- korsningspunkter med isolerade markförlagda rörledningar
- konduktiv (resistiv) påverkan i framförallt högresistiva (>500  $\Omega$ m) markområden
- potentialgradienter och induktiv påverkan vid jordfel på kraftledningen med de kortslutningsströmmar som kraftledningen beräknas för

Vid induktiv påverkan är det i huvudsak två åtgärder som står till buds, nämligen att ändra rörledningssträckningen så att parallellsträckningen undviks eller minimeras.

Den andra åtgärden är att vid projekteringen föreskriva att rörledningen förses med isolerkopplingar på de ställen som beräknas att bli utsatt för förhöjda växelspanningsnivåer. Hur många som behövs beror på styrkan i de faktorer som nämns ovan. Beräknat dygnsmedelvärde för växelspanningen i rörledningen skall med största sannolikhet understiga ca 5 V. Inom Europeiska korrosionskommittén CEOCOR rekommenderas max 4 V<sub>AC</sub> vid markresistivitet under 25 Ωm.

#### *6.2.4 Elektrifierad järnväg (AC – påverkan)*

För nyförläggning av elektrifierad järnväg som går parallellt med isolerade rörledningar eller som skall korsa dessa rörledningar är det viktigt att beakta den elektriska påverkan som denna kan ge i närområden. De faktorer som då normalt måste bedömas är induktiv påverkan i parallella isolerade rörledningar, korsningspunkter med isolerade markförlagda rörledningar och konduktiv (resistiv) påverkan i framförallt högresistiv (>500 Ωm) mark. Potentialgradienter och induktivpåverkan vid jordfel på kontaktledningen för eldriften med de kortslutningsströmmar som kraftledningen beräknas för. Normal spänning i Sverige för drift av tåg är 16 kV vid 16 2/3 Hz, det kan dock även förekomma distribution av 50 Hz högspänningshjälpkraft för andra hjälpsystem för tågdriften längs järnvägen.

Vid induktiv påverkan är det i huvudsak två åtgärder som står till buds, nämligen att ändra rörledningssträckningen så parallellsträckningen undviks eller minimeras. Den andra åtgärden är att vid projekteringen föreskriva att rörledningen förses med isolerkopplingar på de ställen som beräknas att bli utsatt för förhöjda växelspanningsnivåer. Hur många som behövs beror på styrkan i de faktorer som nämns ovan. Beräknat dygnsmedelvärde för växelspanningen i rörledningen skall med största sannolikhet understiga ca 5 V.

#### *6.2.5 Elektrifierad järnväg (DC - påverkan från signalsystem)*

Vissa järnvägar (framför allt äldre sådana) har ett signalsystem med likström (DC) i den ena rälen ("signalrälen"). Vid dålig elektrisk isolation mellan rälsen och banvallen kan periodvis en del av signalströmmen gå ut i omgivande mark och ge upphov till DC-spänningsgradienter i marken och på så sätt påverka rörledningen elektriskt med likström. Därvid kan framför allt rörledningens katodiska korrosionsskydd påverkas negativt samt temporärt störa kontrollmätningar av skyddet.

Vid projektering av en ny rörledning som ska gå nära (inom ett 100-tal meters avstånd) eller korsa en äldre, elektrifierad järnväg bör man beakta risken för den likströmspåverkan på rörledningen som signalrälen kan ge upphov till. Genom att mäta de potentialgradienter som förekommer i den planerade av rörledningens sträckning kan man få en uppfattning om eventuell kommande DC- påverkan på rörledningen. En motåtgärd vid befarad elektrisk påverkan är att lokalt förbättra den elektriska isolationen mellan räls och banvall genom påfyllning av ny makadam. En annan åtgärd är att ändra ledningssträckningen lokalt intill järnvägen.

### 6.2.6 Radiomaster och telemaster

Radiomaster har ofta en förmåga att "dra" till sig blixtnedslag på grund av sin höjd över omgivningen och att de är jordade. De orsakar därmed lokala potentialgradienter vid åsknedslag. Om nyförläggning av isolerade rörledningar planeras i närområden för radiomaster är det viktigt att beakta den elektriska påverkan som dessa beräknar att få i närmiljön för masten. Vid projektering av rörledningsstäckningen är det därför extra viktigt att tillräckligt avstånd (mer än ca 100 m beroende på markresistiviteten) till radiomastens jordtag kan hållas för att undvika påverkan från de lokala potentialgradienterna. Kan man av andra orsaker inte få tillräckligt avstånd måste andra åtgärder vidtas som extra isolering (coatingen) för rörledningen mellan närmaste delen från den externa konstruktionen (masten) som är i direkt kontakt med jorden och jordtag. Vidare bör man inte jorda en rörledning i närheten (inom en km) av en radiomast.

### 6.2.7 Andra DC-elektriska anläggningar

Cellulosaindustrier med en stor mängd av likströmsmotordrifter och med rörledningar i marken kan ge upphov till DC – påverkan även utanför industriområdet. Andra typer av anläggningar som också kan ge denna påverkan i omgivande markområden är HVDC-anläggningar och spårvägstrafik.

## 7. Växelströmskorrosion

Gasledningarna utsätts sällan för korrosionsangrepp. Där det trots allt sker inträffar angreppet i vanligtvis små felställen, "hål", (ofta med liten area endast några cm<sup>2</sup>) i rörens skyddsbeläggning. Korrosionens orsak kan vara inverkan av korrosivt, till exempel salt eller svavelhaltigt, grundvatten. Men detta är också sällan förekommande eftersom gasledningarna är skyddade med katodiskt skydd. Det som i stället kan ge upphov till korrosionsangrepp är om gasledningen är elektriskt påverkad. Det vill säga om det flyter en ström i rörgodset och som går ut från stålroret genom ett felställe i skyddsbeläggningen och vidare till omgivande mark. Strömmen kan antingen vara av typen likström eller växelström. Vid samma strömstyrka och samma påverkanstid ger likström betydligt djupare angrepp än växelström.

Här nedan jämförs korrosionens hastighet (hastigheten för avverkning av stålytan) vid korrosion orsakad av likström med korrosion orsakad av växelström. Hastigheten för växelströmskorrosion brukar, när växelströmstätheten är känd, anges i procent av den korrosionshastighet som orsakas av motsvarande strömstyrka hos en likström.

Faradays lag anger följande samband mellan likströmmens styrka och korrosionen (elektrolytisk) på järn och stål (Fe):

Viktsförlust: 9,1 kg Fe/A·år

Avfrätning av stålytan: 1 A/m<sup>2</sup> (0,1 mA/cm<sup>2</sup>) = 1,1 mm Fe/år

Slutsats: Korrosion sker redan vid liten anodisk ström, det vill säga likström som lämnar stålytan och går ut i omgivande vatten eller mark.

I omfattande fält- och laboratorieundersökningar i Tyskland, Frankrike och Belgien har man jämfört korrosionshastigheten på stål med respektive utan katodiskt skydd med korrosionshastigheten vid korrosion orsakad av likström med samma strömstyrka. Man fann följande:

- växelströmskorrosion på icke katodiskt skyddad stålyta är 1 - 5 % av korrosionen vid motsvarande likströmstyrka
- växelströmskorrosion på katodiskt skyddad stålyta är 0,1 – 1 % av korrosionen vid motsvarande likströmstyrka

Slutsats: Växelströmskorrosionen blir påtaglig på katodiskt skyddat stål, till exempel ett gasrör, först vid mycket hög strömtäthet på stålytan,  $J_{ac} > \text{cirka } 20 \text{ A/m}^2$  (cirka  $2 \text{ mA/cm}^2$ )

Denna handbok behandlar i huvudsak bara korrosion orsakad av växelström. För korrosion orsakad av likström, se svensk standard SS-EN 50162, "Åtgärder mot korrosion orsakad av likström från likströmsanläggning". (Standarden finns på svenska). (ref. 4)

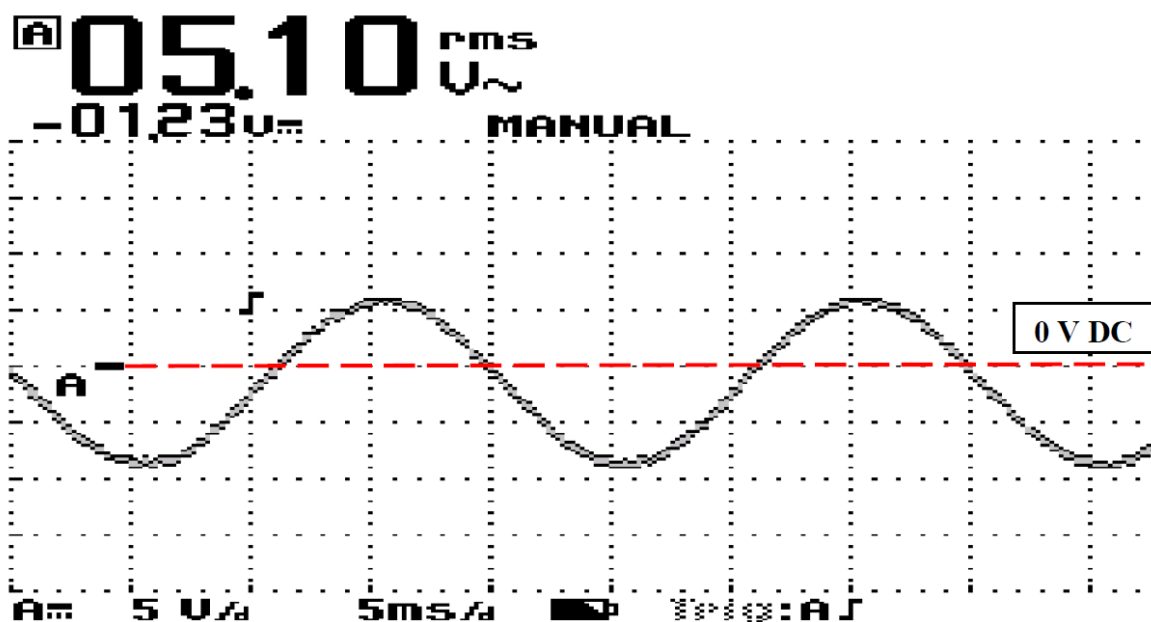
I felställen, det vill säga mekaniska skador i korrosionsskyddsbeläggningen på en gasledning, är rörstålet i direkt kontakt med jordfuktigheten. Avsikten med gasledningens katodiska skydd är att förhindra att jordfuktigheten orsakar korrosionsangrepp på stålet i felställena. Den katodiska skyddsströmmens verkan är att den kraftigt alkaliserar fukten på stålytan från cirka pH 7 till cirka pH 12 och att den förskjuter stålets elektrodpotential i negativ riktning till så lågt värde att korrosionen undertrycks och stålytan blir immun mot korrosion. På grund av att den katodiska skyddsströmmen (likström) matas ut kontinuerligt med ungefär samma strömstyrka kommer stålets elektrodpotential att ligga still i tiden på ett negativt värde. Detta under förutsättning att stålytan inte är påverkad av en växelström eller en annan likström med varierande strömstyrka.

Felställen kan betraktas som ineffektiva jordtag på röret. Är rörledningen växelspanningspåverkad förmår de små felställena inte att avleda rörets växelström till jord. Eftersom det kvarstår en växelspanning i röret kommer det att kontinuerligt flyta en växelström mellan stålytan i felstället och omgivande jord. På grund av att felstället normalt är litet, i storleksordningen några  $\text{cm}^2$ , kan växelströmtätheten bli hög på den blottade stålytan även vid måttlig växelspanning i röret.

Växelströmmen i felstället utgörs av dels en konduktiv ström, som kan orsaka korrosionsangrepp, dels en kapacitiv ström, som inte orsakar korrosion utan som enbart omväxlande oxiderar/reducerar kemiska föreningar på stålytan. Det är i huvudsak relationen mellan dessa två typer av ström och strömstyrkan hos den konduktiva strömmen som bestämmer huruvida det kommer att uppstå ett korrosionsangrepp och om angreppet kommer att växa till på djupet med tiden. Strömstyrkan beror av storleken hos rörets växelspanning och den elektriska kretsens impedans, det vill säga dess "elektriska motstånd". Praktisk erfarenhet visar att det

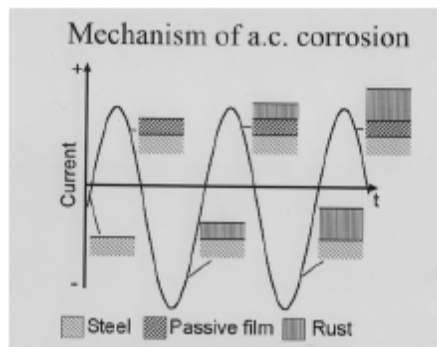
fordras att växelspanningen i röret överskrider omkring  $5 V_{ac}$  för att den konduktiva växelströmmen ska bli så stark att den kan orsaka ett korrosionsangrepp.

Den katodiska skyddsströmmens negativa potential på rörledningen ( $-1,2 V_{DC}$ ) förskjuts av växelströmmen, såsom är fallet när gasledningen är växelspanningspåverkad ( $5 V_{AC}$ ), då kommer stålets elektropotential att börja variera och följa växelströmmens sinuskurva. Se **figur 7:1**.



**Figur 7:1.** Elektropotentialens variation följer växelspanningens sinuskurva (Figur: R Lundberg)

Under varje negativ strömperiod flyter det ytterligare ström, utöver den katodiska skyddsströmmen, in i stålytan varvid potentialen förskjuts kortvarigt i negativ riktning. Det sker då elektrokemiska reduktionsreaktioner på stålytan och stålet blir immunt mot korrosion. Under varje positiv halvperiod flyter ström kortvarigt ut ur stålytan och stålets potential förskjuts kortvarigt i positiv riktning varvid det sker oxidationsreaktioner. Stålet förlorar då sin immunitet, men skyddas mot korrosion genom att det bildas ett passiverande oxidskikt på ytan. Se **figur 7:2**.



**Figur 7:2.** Elektrodpotentialens variation följer växelströmmens sinuskurva. Stålytan är omväxlande immun (ström in i stålytan) och omväxlande oxiderad/passiverad (ström ut ur stålytan). Det bildas hela tiden nya skikt med korrosionsprodukter på ytan. (Bild: Fluxys Gas Belgien, tidigare Distrigaz A/S)

Denna omväxlande och snabba negativa och påföljande positiva förskjutning av potentialen medför emellertid att det skyddande passivitetsskiktet omväxlande bryts ned och omväxlande återuppbyggs. Processen kan betraktas som att stålet "oscillerar" mellan immunitet och passivitet. Återuppbyggnadsprocessen sker dock med en kort fördröjning. Det innebär att stålet under korta och återkommande ögonblick oxideras det vill säga korroderar.

Växelströmskorrosion kan också uppträda på rostfria stålrör i marken och beroende på växelströmstätheten i det lokala området kan denna korrosionsprocess gå mycket snabbt, flera mm på mindre än ett år. Användning av rostfria stålrör är alltså ingen garanterad åtgärd mot växelströmskorrosion.

Hur olika faktorer inverkar på växelströmskorrosionen beskrivs i rapporten "Växelströmskorrosion på jordförlagda stålrörsledningar – Sammanställning av dagens kunnande" (Ref. 10).

## 8. Undersökning av risk för växelströmskorrosion

Risken för växelströmskorrosion ska, enligt NGSA, undersökas såväl vid projektering av gasledningen som på befintlig gasledning, som är i drift om det finns indikationer på risk för växelströmskorrosion. Som sagts tidigare är växelströmskorrosion på katodiskt skyddade gasledningar ett komplicerat fenomen. Det gör att undersökning av denna typ av korrosion och metoder för riskbedömning också är komplicerade. Utrustning och metoder för undersökning, samt hur korrosionsrisken kan bedömas redovisas i Appendix B och C

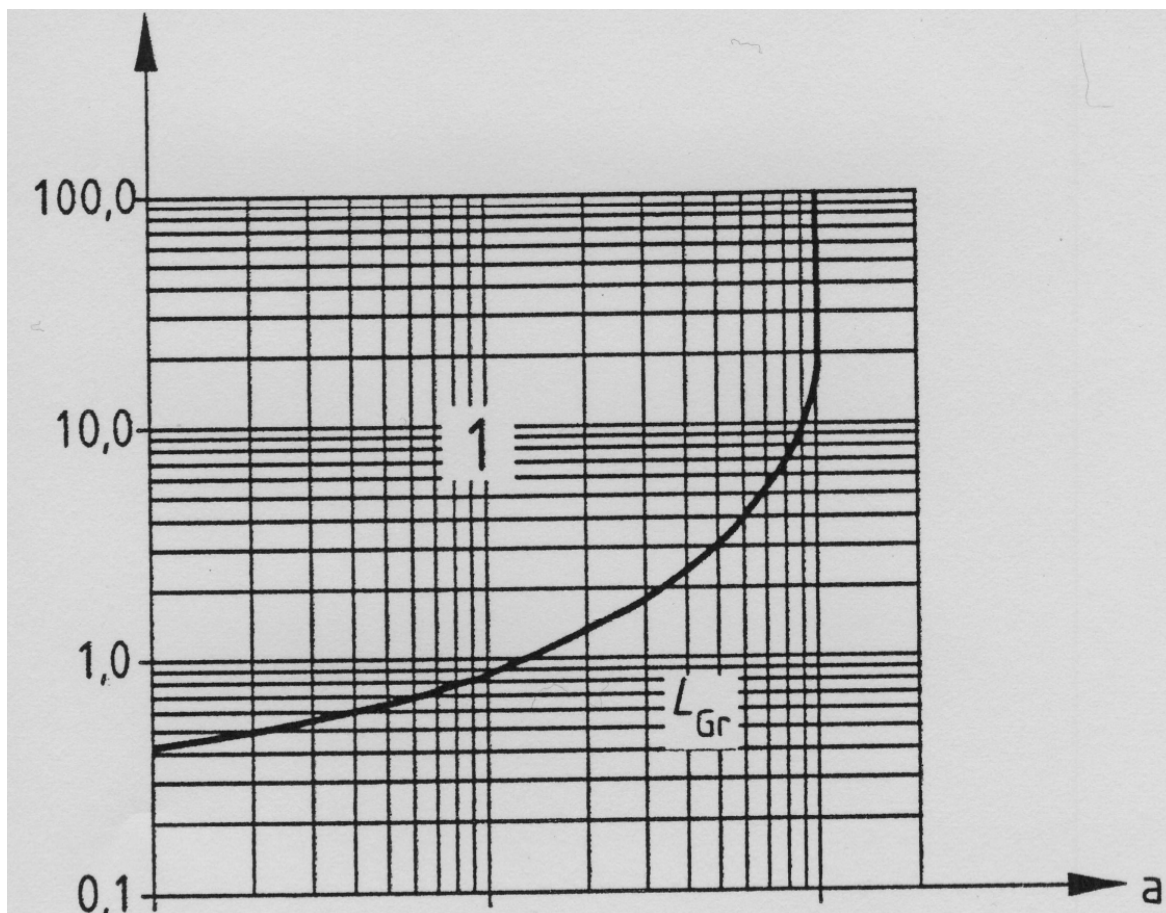
### 8.1 Undersökning på projekteringsstadiet

Redan på projekteringsstadiet av en gasledning och innan ledningssträckningen är slutgiltigt fastställd bör växelspanningspåverkan beräknas och korrosionsrisken

bedömas. Det gäller där ledningen planeras att gå nära en högspänningsanläggning. Detta förfaringssätt medger att man i ett tidigt skede kan besluta om åtgärder för minimering av risken för att rörledningen ska bli utsatt för växelströmskorrosion eller farlig beröringsspänning när den sedan är byggd och i drift. Motåtgärder som beslutas på projekteringsstadiet blir i allmänhet mindre kostsamma än om samma åtgärder beslutas under byggperioden eller senare när rörledningen är i drift.

## 8.2 Beräkning av rörledningens växelspanning

Diagrammet i **figur 8.2:1** ger vägledning för under vilka förhållanden beräkning av väntad växelspanningspåverkan bör genomföras vid planerad förläggning av en rörledning parallellt med en högspänningskraftledning. De dominerande parametrarna i vägledningen är parallellsträckans längd ( $L$ ) och genomsnittligt avstånd mellan rörledningen och kraftledningen ( $a$ ) utmed parallellsträckan. Beräkningen görs för värsta fall ("worst case situation") och med hjälp av specialutvecklade datorprogram. För procedur vid beräkningar, se handbokens Appendix A "Projektering för undvikande av personfarliga växelspanningsnivåer". Se även (**Ref. 8**).



**Figur 8.2:1.** Diagram som visar under vilka förhållanden som den planerade gasledningens växelspanning bör beräknas på projekteringsstadiet.  $L$  = parallellsträckans längd.  $a$  = minsta avstånd mellan gasledningen och kraftledningen. Diagrammets område 1 = Beräkning ej nödvändig. (Diagram från tyska korrosionsorganisationen Arbeitsgemeinschaft für Korrosionsfragen, AfK).

## 9. Mätningar och Mätutrustning

Mätningar som görs och mätutrustning som används vid undersökning av växelströmspåverkan beskrivs mera i detalj i handbokens Appendix B.

### 9.1 Växelspanning

Mätning av växelspanningsnivåer på isolerade rörledningar görs ofta i samband med underhållsmätning av det katodiska skyddet. Vid dessa mätningar av den katodiska skyddspotentialen används en referenselektrod av typen koppar/koppar-sulfat ( $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ) som placeras på markytan. Denna elektrod har en mycket hög inre resistans (ca 50 – 100 k $\Omega$ ) varför mätinstrumentets spänningsingång också måste ha ett högt ingångsmotstånd ( $\geq 10 \text{ M}\Omega$ ) för att inte påverka mätningen. Mätningen av växelspanningsnivån görs ofta samtidigt som ovan nämnda mätningar. Eftersom den isolerade rörledningen normalt på grund av ett antal mindre beläggningsskador längs rörledningssektionen har en relativt lågohmig impedans



till jord (100-tal ohm) är detta möjligt. Dessutom finns normalt en kapacitiv koppling till jord som också utgör en relativt sett lågohmig impedans för "växelspänningskällan" i den isolerade rörledningen som då kan betraktas bli en "styv" växelspänningskälla i förhållande till jord.

De mätmetoder som t ex används vid uppmätning av frekvensselektiva växelspanningar vid jordfelskontroller på kraftledningsstolpar och utsatta åtkomliga delar, då mätningar görs med ett belastningsmotstånd på 3 k $\Omega$  mellan utsatt del och tillfälligt jordspett, är därför normalt inte nödvändiga att tillämpa. De går definitivt inte att tillämpa med referenselektrod som är högohmig, utan då måste ett lågohmigt tillfälligt jordspett användas som jordpunkt. Detta kan till exempel vara ett rostfritt spett som trycks ner i marken. En förutsättning är då att marken är tillräckligt mjuk och fuktig för att få ett tillräckligt lågt övergångsmotstånd.

De växelspänningsnivåer som mäts upp längs den isolerade rörledningen måste dokumenteras och det är viktigt att även tidpunkten för när spänningen fastställdes redovisas, detta då nivån alltid måste korreleras till den belastning (strömstyrkan) som den aktuella kraftledningen hade vid tidpunkten för upp mätningen. Kraftledningens belastning måste tillhandahållas av kraftledningsägaren och det är lämpligt att kontakten är etablerad innan fältmätningen på rörledningen genomförs så att eventuella mätdata inte förloras.

## 9.2 Strömmätning

Den parameter som i korrosionssammanhang ofta används som storhet för ström i en beläggningsskada är strömtäthet det vill säga ström per ytenhet till exempel A/m<sup>2</sup> eller mA/cm<sup>2</sup>. Vid mätning av ofta små strömmar, någon mA eller ännu mindre 100-tal  $\mu$ A, är det viktigt att se till hela mätkretsen, så att man inte via strömshunten för in ett för stort motstånd som förändrar de förhållandena för strömmen som man vill fastställa. Normalt bör därför inte strömshuntens motstånd (instrumentets inre motstånd) överstiga 6 – 10  $\Omega$  vid mätning av dessa små strömmar mA/ $\mu$ A och vid mätning av större strömmar (delar av ampere) bör strömshunten inte överstiga 1  $\Omega$  och helst vara mindre.

## 9.3 Resistivitet och övergångsmotstånd

Markresistivitet, d.v.s. jordens motstånd mot att leda elektrisk ström, mäts normalt med "Wenners 4-elektrodmätning" genom en fyrpolig mätning med en växelspanning/ström som i frekvens avviker från normal 50 Hz t ex 108 Hz. Meningen är att det inte ska uppstå interferens med det "vanliga" elnätets växelspanning. Mätinstrument/mätbryggan (Jordresistansmeter) som är avsedda för detta används ofta för jordtagskontroll enligt den så kallade "Svagströmsmetoden".

Vid fastställande av jordtagets övergångsmotstånd och jordtagskontroll för högspännings-ställverk används ofta den så kallade "Starkströmsmetoden" d v s man driver en ström på 20 – 50 A med en frekvens skild från 50 Hz t ex 40 Hz genom jordtaget och mäter upp spänningsfallet (frekvensselektivt) i förhållande till referensjord ("sann jord").

Då kraftledningsägaren/nätägaren genomför ovanstående mätningar är det lämpligt att rörledningsägaren som har rörledningar i närområden, samtidigt genomför egna mätningar på rörledningen för att fastställa vilka överspänningar som

kan uppträda på rörledningen vid jordfel på kraftledningen. En förutsättning är att rörledningsägaren då har tillgång till en frekvensselektiv voltmeter, tidsperioder med testström, nivå på strömmen samt den kortslutningsström som gäller för den provade jordpunkten. Detta så att konstanten mellan provströmmen och kortslutningsströmmen kan beräknas. Denna konstant används sedan för att räkna om de uppmätta värdena till de verkliga värdena, för vad som gäller vid en verklig kortslutningsström.

#### 9.4 Potentialgradienter i mark – jordelektrod

Vid fastställande av markgradienter i planerade rörledningsstäckningar används två jord-elektroder, t ex jordspett i rostfritt stål och en hjälpledare t ex 100 m RK 1,5 mm<sup>2</sup>. Potential-gradienten kan då fastställas med voltmeter per 100 m sträckan. Utrustningen förflyttas i den planerade rörledningssträckningen och mätvärdena dokumenteras. Dessa kan sedan summeras över ledningssträckningen för att ge en indikation på vilken nivå det är på potentialgradienterna över en längre sträcka.

Då potentialgradienter skall fastställas i närheten av kraftledningar som kan ge induktion i hjälpledaren måste den vara utformad med t ex två 50 m skärmade kablar som endast jordas med ett separat jordspett i mittpunkten där voltmeteren placeras, i andra ändan ansluts inte skärmen.

En annan viktig faktor att ta hänsyn till vid fastställande av markgradienter vid befintliga förlagda rörledningar är den ömsesidiga påverkan som rörledningen utgör för markområdena. Det kan då vara nödvändigt att utföra potentialgradientmätningen parallellt med den befintliga rörledningen men på ett tillräckligt avstånd (> 100 m) från den befintliga rörledningen.

### 10. Motåtgärder (inducerad och markgradienter)

Den främsta åtgärden mot både växelströmskorrosion och mot personfara är sänkning av rörledningens växelspanning. Sänkning av växelspanningen kan uppnås med olika åtgärder. En åtgärd som vid en första betraktelse kan tyckas vara en effektiv motåtgärd är att lokalisera och laga "alla" felställen i rörens skyddsbeläggning. Denna strategi används emellertid inte eftersom det inte är möjligt att genom mätning påträffa samtliga felställen. Det innebär att det i praktiken alltid kommer att finnas kvar små felställen. I dessa skulle då växelströmstätheten kunna bli mycket hög med risken för djupa korrosionsangrepp på kort tid.

De standarder som gäller jordning är bland annat följande:

SS 436 40 00 Elinstallationer för lågspänning

SS-EN 50522 Jordning av starkströmsanläggning >1kV AC

SS-EN 61936-1 Starkströmsanläggningar med nominell spänning > 1 kV AC

## 10.1 Jordning av gasledningen

Växelspänningen i en gasledning kan avledas genom att rörledningen ansluts till ett eller flera jordtag. Därigenom minimeras växelströmsflödet, och därmed också korrosionsrisken, i felställen i rörens skyddsbeläggning. Jordningen kan utföras antingen som "punktjordning" eller som "längsjordning". I jordningssammanhang för elkraftsystem används även benämningar som "djupjordning" och "ytjordning"

Vid punktjordning grävs eller drivs två eller flera jordningselektroder ned i jorden på lämpliga platser utmed ledningen. Vid induktiv växelspänningspåverkan från en parallell kraftledning kan jordtag placeras i parallellsträckans ändpunkter. För att punktjordningen ska bli effektiv fordras det att jordtagen placeras i mycket lågresistiv jord så att tillräckligt lågt jordtagsresistans uppnås. Vid installation av flera jordtag på kort avstånd från varandra måste hänsyn tas till deras inbördes influens. I annat fall minskar deras totala jordningseffektivitet.

Längsjordning innebär att ett jordtag i form av förzinkad ställina eller förzinkade plattstänger läggs längs en längre sträcka i jorden utmed rörledningen. Längsjordning brukar endast installeras i samband med läggningen av rörledningen varvid jordningslinan/jordningsstängerna placeras i rörledningsgraven. Därmed behövs inga extra grävningsarbeten.

Jordtagen måste anslutas till gasledningen via någon typ av strömavledare för att förhindra att den katodiska skyddsströmmen ska flyta till jordtaget. Numera används vid nyinstallation strömavledare i form av kondensatorer. Tidigare användes så kallad elektrolytkondensator (KIRK-cell) eller en speciell typ av diodkoppling (parallell- och motriktad koppling av dioder). Dessa senare strömavledare får, enligt NGSA 2011, numera inte användas på svenska gasledningar. Jordtag av koppar får inte användas på grund av risken för galvanisk korrosion vid kortslutning mellan jordtag och rörledning. Krav på jordningens utförande anges i detalj i kapitel 6 "Korrosionsskydd" i Naturgassystemanvisningarna, NGSA 2011.

### 10.1.1 Utformning

Vid jordning av isolerade rörledningar som är katodiskt skyddade skall inte det katodiska skyddets funktion längs rörledningen försämrats. För att uppnå detta så måste jordtaget vara anslutet via ett kopplingselement som inte leder likström. De kopplingselement som kan användas för jordning är olika typer av komponenter som leder växelström till exempel kondensatorer, antiparallella dioder och triacar. Triacar är en tändbar dubbelriktad tyristor med tillhörande "tändelektronik", som styr den växelspänningsnivå som gör triacen fullt ledande.

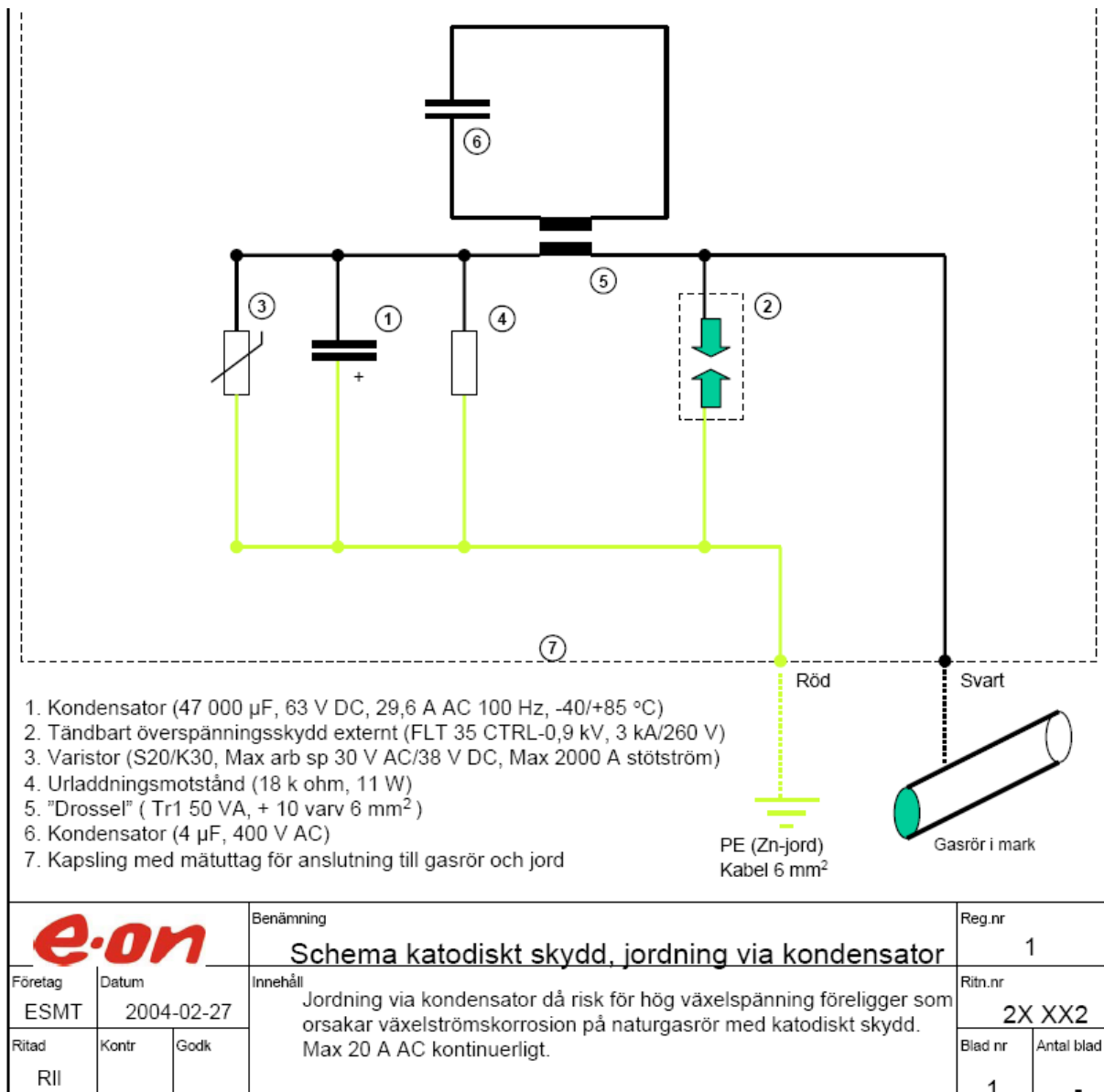
Figur 10.1.1 visar exempel på utrustning som använder kondensatorer för att reducera växelspänningsnivån ur synpunkten växelströmskorrosion. Denna utrustning fungerar även för att reducera risken för personfarliga spänningar förutsatt att jordtaget är tillräckligt lågresistivt och kablarna är tillräckligt grova och korta så att inga stora långsimpedanser uppstår.

För att minska risken för att det katodiska skyddet påverkas kraftigt vid jordning även om kopplingselementen skulle falla, bör jordtaget ur extra säkerhetssynpunkt ha en elektrokemisk potential som i stort överensstämmer med det aktiva katodiska skyddet. Det rekommenderas därför att använda varmförzinkat stål med

extra tjockt lager zink (dubblerad tjocklek baserat på SS-EN/ISO 1461). Den naturliga potentialen för zink är ca -1050 mV DC, vilket är nära det katodiska skyddets nivå och därför sätts inte det katodiska korrosionsskyddet helt ur funktion även om de elektriska kopplingselementen skulle sättas ur funktion (t ex bli kortslutna). Jordningarna kan utformas som plattjärn som förläggs invid rörledningen enligt nedanstående figur 10.1.2.

Vid användning av förzinkade stålband som jordtag och bipolära elektrolytkondensatorer eller elektrolytkondensatorer som är tåliga mot kraftigt växelströmsrippel (10-tals Ampere) så minskas risken för totalt bortfall av det katodiska skyddet om kondensatorn skulle bli kortsluten.

En möjlighet att kombinera jordningar för personfarliga spänningar och kontinuerlig jordning för risken mot växelströmskorrosion kan göras via kraftiga kondensatorer som är så utformade och skyddade att de även kan klara kortvariga kraftiga överspänningar.

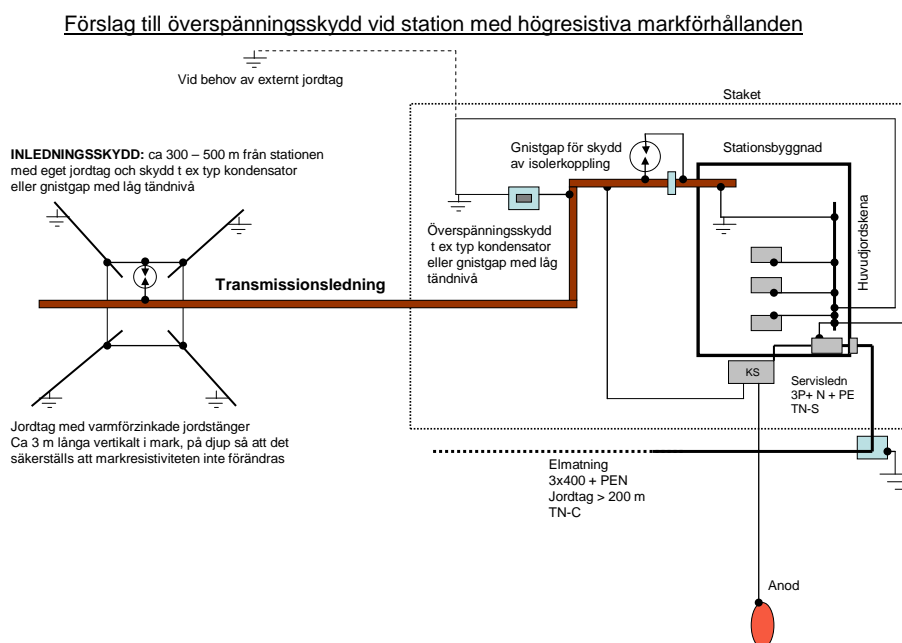


**Figur 10.1.1:** Exempel på utrustning för jordning av växelspänning via kondensatorer

### 10.1.2 Placering

Det viktigaste är att jordningen blir placerad på den lämpligaste platsen för god funktion. De viktigaste parametrarna redovisas i Kapitel 10.1.

En naturlig plats för att jorda en redan förlagd rörledning är vid isolerkopplingarna (längs rörledningen eller vid stationsområden) eftersom där redan finns anslutningar mot rörledningen på ömse sidor om isolerkopplingen. Dessa anslutningar finns för installation av överspänningsskydd (gnistgap), se figur 10.1.2. Detta gnistgap är till för att skydda isolerkopplingen för överslag då rörledningen utsätts för överspänningar t ex vid åskurladdning. Andra platser kan vara vid mätplatser längs rörledningen.



**Figur 10.1.2:** Jordning som "inledningskydd"

Om den lämpligaste platsen inte är vid någon befintlig plats som redan har anslutningar till gasledningen är det nödvändigt att anordna en ny anslutning mot gasledningen vid den lämpligaste platsen för jordningen.

## 10.2 Installation av isolerkopplingar

Om det inte är möjligt att genom jordning uppnå avsedd sänkning av växelspänningen i en gasledning som är elektriskt påverkad av en kraftledning kan elektriskt isolerande rörstycken, isolerkopplingar, installeras på strategiska ställen längs rörledningen. Isolerkopplingar bryter rörledningens ledningsförmåga i längsled så att ledningen kommer att bestå av ett antal från varandra elektriskt isolerade rörsektioner. Därmed reduceras den inducerade spänningen i rörsektionerna. Inmontering av isolerkopplingar kan kombineras med jordning av rörledningen. Tillämpning av isolerkopplingar behandlas i Naturgassystemanvisningarna, NGSA 2011.

Vid installation av isolerkopplingar som blir placerade relativt nära (någon km) på grund av extremt höga växelspänningsmarkgradienter kan, för att bibehålla det katodiska skyddet, det installeras "drosslar" över isolerkopplingen som "blockerar" växelströmmen men som tillåter den katodiska skyddsströmmen att passera. Därvid kan antalet separata aktiva katodiska skydd begränsas.

## 10.3 Åtgärder i påverkande kraftledning

En åtgärd som kan vidtas för att reducera inducerad växelspänning i en gasledning som går parallellt med en kraftledning är att kasta om fasledarna i två kraftledningsstolpar som står på ett antal kilometers avstånd från varandra. Därigenom

minskar det elektromagnetiska fältet, och därmed också induktionen, kring gasledningen på motsvarande sträcka. Åtgärden, som ibland kallas "skruv", har dock begränsad effekt. Omkastning av fasledarna och hur man kan beräkna effekten av åtgärden beskrivs i CIGRÉ (2006).

På kraftledningar kan ibland topplinorna vara isolerade och ibland även ha optofiberkabel. För att begränsa den inducerade spänningssättningen i den isolerade topplinan genomförs potentialutjämning i vissa kraftledningsstolpar. Kring dessa stolpar kan det då bli mycket höga växelspanningsgradienter i marken som kan sprida sig till större markområden speciellt i högresistiva markområden.

## 11. Slutord

Denna handbok visar att det på olika sätt går att effektivt minimera växelspanningen till en acceptabel nivå i en spänningpåverkad naturgasledning eller lång vattenledning med fog-svetsade stålrör. Handboken har också visat att det finns olika metoder med vilka man på ett någorlunda nöjaktigt sätt kan bedöma risken för att det ska uppträda växelströmskorrosion på en befintlig gasledning.

Vid nya tekniska lösningar är det inte alltid möjligt att beakta alla påverkansfaktorer som kan uppträda. Denna handbok ska dock ses som ett verktyg att erhålla ett antal "varningsflaggor" för de faktorer som kan ge upphov till risk för växelströmskorrosion.

Handboken beskriver också hur det kan uppstå förhållandevis höga växelspanningar i en naturgasledning som ligger nära en kraftledning, elektrifierad järnväg, ställverksjordning eller annan växelströmsanläggning. Även åsknedslag i närheten kan orsaka kortvariga höga spänningar.

En växelspanningspåverkad gasledning kan medföra personfara vid direkt beröring av rörledningen och rörledningsdelar eller vid indirekt beröring till exempel vid beröring av mätuttag i ledningens mätstolpar. En måttfull växelspanning kan också innebära risk för uppkomst av korrosionsangrepp på ledningen genom så kallad växelströmskorrosion. Handboken beskriver hur korrosionsrisken kan mätas. Både personfara och risken för växelströmskorrosion kan minimeras genom sänkning av rörledningens växelspanning. Handboken beskriver de åtgärder som kan vidtas för spänningssänkning, såsom elektrisk jordning, inmontering av elektriskt isolerande rörstycken och omkastning av fasledarna i den påverkande kraftledningen.

Handboken vänder sig till projektörer, ägare och förvaltare av naturgasledningar och andra med intresse inom området exempelvis entreprenörer och konsultbolag.

## 12. Referenser

### 12.1 Referenslitteratur

1. Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskaps (MSB:s) föreskrift MSB 2009:7
2. NGSÄ (2011): Naturgassystemanvisningar, NGSÄ 2011. SIS. Stockholm februari 2011.
3. CIGRÉ Technical Brochure 410.
4. Svensk standard SS-EN 50162 Skydd mot korrosion förorsakad av läckströmmar från likströmssystem.
5. Teknisk Specifikation CEN/TC 15280
6. Camitz, G (1980): Korrosionsundersökningar I jord – Bestämning av jordars resistivitet. KI- Bulletin nr. 88 (Göran Camitz). Korrosionsinstitutet. Stockholm 1980. (Kan beställas genom Swerea KIMAB, Stockholm).
7. CIGRÉ (TB 95): Cigré Technical Brochure 95: Guide on the Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines. CIGRÉ, 21 Rue d'Artois, F-75008, Paris.
8. CIGRÉ (2006): Technical Brochure 290: Corrosion on Metallic Pipelines due to Interference from AC Power Lines. CIGRÉ, 21 Rue d'Artois, F-75008, Paris.
9. SIS (2003): Svensk standard SS-EN 13509: Mätteknik i samband med katodiskt korrosionsskydd. SIS Stockholm.
10. Camitz, G (2009): Växelströmskorrosion på jordförlagda stålörsledningar – Sammanställning av dagens kunskande. Swerea KIMAB. Stockholm, 2009.

### 12.2 Övrig litteratur

11. Ellagen SFS 1997:857
12. Starkströmsförordning (SFS2009:22), Elsäkerhetsverket
13. Utförande av elektriska starkströmsanläggningar ELSÄK-FS 2008:1, 2008:2, 2008:3 Elsäkerhetsverket.
14. ELSÄK-FS 1999:5, Starkströmsföreskrifterna "Blåboken", Elsäkerhetsverket
15. Högsäpningshandboken, SEK Handbok 438, utgåva 1
16. SS 436 40 00 Elinstallationer för lågsäpning
17. SS-EN 62305 Åskskydd
18. SS-EN 50522 Jordning av starkströmsanläggning >1kV AC
19. SS-EN 61936-1 Starkströmsanläggningar med nominell säpning > 1 kV AC
20. IEC/TS 60479-1 Effects of current on human beings and livestock
21. Svenska Kraftnäts Teknisk riktlinje TR 10-05, Revision A, Elektriska och icke elektriska anläggningar invid Svenska Kraftnäts anläggningar.
22. Svenska Kraftnäts Tekniska riktlinjer för jordning av kraftledningar 220 kV och 400 kV, TEKNISK RIKTLINJE TR 5-13, 2009-12-21, revision A.
23. Modern elektrisk mätteknik, Per Carlson och Staffan Johansson.
24. Störningsfri Elektronik, Elektromagnetisk kompatibilitet, Sten Benda.



25. Arbetsrapport SGC A38, Växelströmskorrosion på naturgasledningar, Delrapport: Provserien 5 V<sub>AC</sub>
26. Rapport SGC 161, Växelströmskorrosion på naturgasledningar, Rapport: Provserien 5/30 V<sub>AC</sub>
27. A.C. Corrosion on metallic pipelines due to interference from A.C. power lines: Phenomenon, modelling and countermeasures, Draft 10, September 2005, CI-GRE/CIREC.
28. Teknisk Specifikation CEN/TC 15280

### 13. Appendix A (Checklista projektering)

Följande checklista kan användas i samband med projektering av en jordförlagd isolerad rörledning. Denna checklista är ett underlag för att hjälpa till med växelspanningsriskerna vid projektering. Dokument sparas enligt de krav som finns i NGS A kapitel 6.

Anläggning	Projekt-namn/nummer
Projekteringsansvarig	Datum

Pos	Objekt	Arbete	Utförd	Ej Åtg.	Åtgärd
1.	HSP/LSP Kraftledningar, kablar, ställverk och jordtag	Visuell inspektion av kartor avseende korsningar			
2.		Visuell inspektion av kartor avseende parallella objekt			
3.		Visuell inspektion av kartor avseende närhet till objekt			
4.		Kontakt och datainsamling från objektets ägare			
5.		Bedömning av risken och dokumentation (förteckning)			
6.		Fysiskt besök i rörledningssträckningen vid riskobjekt			
7.		Förändrad bedömning av risken			
8.		Mätning av spänningssättning vid riskobjekt			
9.		Mätning av markpotentialer och markresistivitet			
10.		Slutbedömning av risker och behov av åtgärder, rapport			
11.					
12.					
13.					
14.					
15.	Järnväg, spårväg, Telekablar, HVDC, Cellulosa-industri	Visuell inspektion av kartor avseende korsningar			
16.		Visuell inspektion av kartor avseende parallella objekt			
17.		Visuell inspektion av kartor avseende närhet till objekt			
18.		Kontakt och datainsamling från objektets ägare			
19.		Bedömning av risken och dokumentation (förteckning)			
20.		Fysiskt besök i rörledningssträckningen vid riskobjekt			
21.					
22.					
23.					
24.					
25.	Generellt Radiomaster andra katodiskt skyddade rör- ledningar	Visuell inspektion av kartor avseende närhet till objekt			
26.		Kontakt och datainsamling från objektets ägare			
27.		Bedömning av risken och dokumentation (förteckning)			
28.		Fysiskt besök i rörledningssträckningen vid riskobjekt			
29.		Mätning av markpotentialer och markresistivitet			
30.		Dokumentation av riskerna och förslag till åtgärder			
31.					
32.					
33.					
34.					

## 14. Appendix B (Undersökning av växelströmskorrosion)

### 14.1 Beräkning av växelströmstäthet i ett felställe

Växelströmstyrkan, och därmed växelströmstätheten, på stålytan i ett cirkulärt felställe i rörets skyddsbeläggning är avgörande för bedömning av risk för växelströmskorrosion. Strömstätheten kan beräknas på nedanstående sätt. Beräkningen fordrar att jordresistiviteten är känd eller kvalificerat bedömd utmed den aktuella ledningssektionen. Beräkningen bör göras av växelströmstätheten på en tänkt cirkulär stålyta med arean 1 cm<sup>2</sup>. Valet av arean 1 cm<sup>2</sup> grundar sig på undersökningar i Tyskland, bland annat vid Ruhr Gas AG.

#### Beräkningsgång:

*Stålytans utbredningsresistans*

$$R_f = \rho/2d$$

där:

$R_f$  = stålytans utbredningsresistans ( $\Omega$ )

$\rho$  = jordresistiviteten strax intill felstället ( $\Omega \cdot m$ ), uppmätt eller uppskattad

$d$  = felställets diameter (m)

*Växelströmstyrkan i felstället:*

$$I = U / R_f = U \cdot 2d / \rho$$

där:

$I$  = växelströmstyrkan (A)

$U$  = växelspänningen i röret (U)

*Stålytans area i det cirkulära felstället*

$$A = d^2 \cdot \pi / 4$$

där:

$A$  = felställets area (m<sup>2</sup>)

$d$  = felställets diameter (m)

*Växelströmstätheten i felstället*

$$J_{ac} = I / A = 8U / \rho \cdot \pi \cdot d$$

där:

$J_{ac}$  = växelströmstätheten i felstället (A/m<sup>2</sup>)

Korrosionsrisk baserad på beräknad växelströmstäthet i felställen bedöms enligt Appendix C.

### 14.2 Mätutrustning

Millivoltmeter, multimeter och datalogger

Millivoltmeter, multimeter och datalogger används för mätning av korrosionspotential och elektrisk spänning. Instrumentet ska ha hög ingångsimpedans, minst 10 megaohm ( $M\Omega$ ). Se **figur 14.2:1** och **14.2:2**.



**Figur 14.2:1.** Multimeter med millivoltmeter med hög ingångsimpedans (Foto: FLUKE)



**Figur 14.2:2.** Datalogger med hög ingångsimpedans för kontinuerlig registrering av elektropotentialer, växelspänning och strömstyrka (Foto: Weileke AG, Tyskland)

#### Referenselektroder

Referenselektrod används för mätning av korrosionspotential. Den ska vara av typen mättad koppar/kopparsulfat- elektrod (sat.  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ - elektrod). Elektroden består av ett plaströr, en till två decimeter långt, med en porös keramisk plugg i ena änden. Centralt i röret sitter en kopparstav. Röret är fyllt med mättad kopparsulfatlösning (sat.  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ - lösning). Se **figur 14.2:3**. Lösningen är grön-blå. Den framkallar kräkning om man får i sig

endast en liten mängd av lösningen. Man bör därför tvätta händerna efter att man har hanterat vätskan. Tecken på att lösningen är mättad är att det finns fria, olösta kopparsulfatkristaller i vätskan. Vid behov fylls lösningen på med nya kopparsulfatkristaller.



**Figur 14.2.3.** Referenselektrod av typen mättad koppar/kopparsulfat- elektrod (sat. Cu/CuSO<sub>4</sub>- elektrod). (Bild: Lena Sjögren).

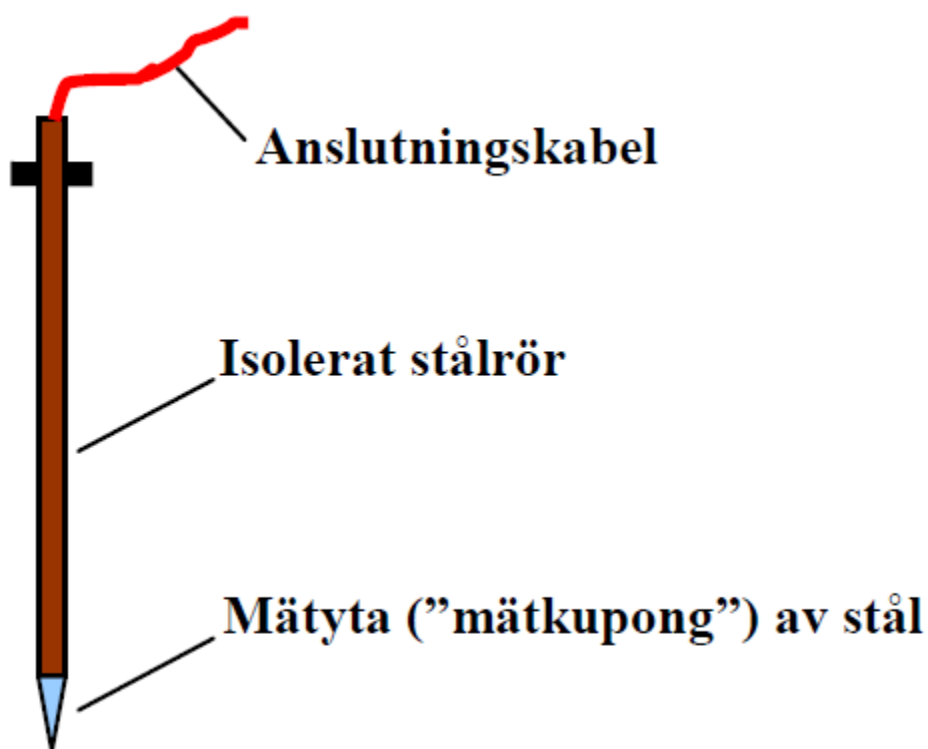
Referenselektroder kan köpas fabriksnya. Kopparsulfat, i form av torra kristaller, kan köpas på flera apotek eller färghandlare. Kristallerna löses upp i rent vatten, helst avjoniserat vatten, till exempel vatten till bilbatterier. När kristallerna har lösts upp fylls blandningen på med lite ytterligare kristaller. Blandning med icke lösta kristaller är grön-blå och visar att den är mättad på kopparsulfat.

#### Mätstavar

Mätstavar används för mätning av olika elektriska faktorer, som är av betydelse vid bedömning av risken för växelströmskorrosion.

En mätstav består av en tunn, men oböjlig stång av kolstål med spetsig nederände. Staven ska alltså inte bestå av rostfritt stål. Stångdiametern är cirka 10 mm och stånglängden cirka 1,5 m. På stångens överände sitter ett handtag som underlättar nedtryckningen i jorden. På handtaget finns uttag för anslutning av mätkabel. Hela stången är belagd med elektriskt isolerande, väl fastsittande plastbeläggning ned till spetsändan, där 1 cm<sup>2</sup> av stångstången är frilagd och utgör mätyta. Se **figur 14.2.4**.

Ett hål borrar i jorden till ett djup strax ovanför där stavens mätyta ska hamna. Staven trycks ned i borrhålens botten så att mätytan hamnar någon decimeter under botten. Efter att staven har tryckts ned i jorden och anslutits till gasledningen via mätplinten i en närliggande mätstolpe kan man med stavens mätyta mäta gasrörets korrosionspotential, flödet av katodisk skyddsström samt växelströmsflödet mellan stav och omgivande jord. Det senare motsvarar nöjaktigt strömflödet på gasröret i ett närbeläget felställe med samma area som stavens mätyta.



**Figur 14.2:4.** Mätstav. a) mätstavens utformning b) mätstavens placering i jorden vid mätning (Bild: G. Camitz).

#### Mät- och provkupper

Mätkupper används för mätning av växelström, likström och elektropotential. Provkupper används för undersökning av om växelspanning/växelström i gasröret kan ge upphov till korrosionsangrepp och för mätning av djupet hos eventuella angrepp. Vidare kan korrosionsprodukter (”rost”) som bildas på en nedgrävd och intill röret ansluten provkupper analyseras och ge upplysning om orsaken till eventuella korrosionsangrepp.

En kupper består av en liten plåt av kolstål som är täckt med tjock plasttejp. På plåtens ena sida finns ett hål i tejpens där stålet är frilagt. Kupongen grävs ned i jorden intill gasledningen och ansluts elektriskt till gasröret i en närbelägen mätstolpe. Den frilagda stålytan får då representera stålytan i en tänkt beläggningsskada (”felställe”) på gasröret.

## Tillverkning av kuponger

Mätkuponger tillverkas av plåt av enkelt kolstål som är fritt från valshud, med enkelsidig area på cirka 25 cm<sup>2</sup> och plåttjocklek cirka 2 mm. Lämplig stålqualität är SS-EN 1210, vilket motsvarar tidigare svensk standard SS 1312. Plåten ska alltså inte vara av rostfritt stål. Två hål borras intill varandra i plåten cirka 1 cm från plåtkanten för fastskruvning av mät-kabelns två kabelskor.

En mätkabel, 2- ledarkabel, ansluts till plåten med hjälp av kabelskor. Kabelarean bör vara förhållandevis grov, t ex. 2 mm<sup>2</sup>. Anslutningen ska utformas varaktig så att den inte lossnar under exponeringen i jord. Stålytan görs ren från smuts och fett med lösningsmedel. Hela plåten täcks sedan med tjock plasttejp med god vidhäftning till stålet. Lämplig tejp är PE- tejp med butylgummi som vidhäftningsmassa. Tejpen ska gå ut ett par centimeter utanför plåtkanten runt om hela plåten. Tejpen trycks fast mot plåten. Tejsidorna utanför plåten trycks fast ordentligt mot varandra så att inte jordvatten kan tränga in till plåtytan. På plåtens ena sida görs ett cirkulärt hål i tejen så att 1 cm<sup>2</sup> av stålplåten blir frilagd. Därefter kontrolleras att det inte finns någon spalt mellan plåt och tejp runt om hålet. Se **figur 14.2:5**.



**Figur 14.2:5.** Mät- och provkupong. Till vänster: Innan tejpning. Hålet för fritt exponerad stålyta är tillfälligt markerat med tuschpenna. Till höger: Tejpad kupong med hål i tejen = mätyta. (Bild: G. Camitz)

Provkuponger tillverkas på samma sätt som mätkuponger. Den enda skillnaden är att provkuponger vägs med stor noggrannhet. Efter att hålen för anslutning av mätkabeln har borrats och innan mätkabeln ansluts vägs den nakna plåten på laboratorievåg med stor noggrannhet. Onoggrannheten bör inte vara större än +/- 0,001 g (+/- 1 mg). Vikten dokumenteras och sparas tills kupongen senare tas upp ur jorden. Då görs en förnyad vägning för bestämning av korrosionen genom mätning av den viktsförlust, som har uppkommit som följd av korrosion under den tid kupongerna varit exponerade i jorden.

## Val av plats för installation av kuponger

Eftersom risken för växelströmskorrosion ökar med sjunkande jordresistivitet, det vill säga med ökande elektrisk ledningsförmåga i jorden, bör man välja en mätplats/mätstolpe för nedgrävning av kupongerna där jordresistiviteten är låg. Exempel på sådana ställen är markområde med blöt lera (till exempel åkermark), sankmark, torvmosse, korsning med vattendrag, korsning under landsväg som vägsaltas, i dalsänkor etc.

#### Antal provkuponger på mätplatsen

Undersökningar i bland annat Tyskland och Slovakien har visat att korrosionen kan variera starkt mellan två olika provkuponger, som varit utsatta för växelström, trots att de varit nedgrävda lika länge intill varandra på samma plats. För att öka sannolikheten att den mest omfattande korrosionen ("worst case corrosion") kommer att mätas på mätplatsen bör trippelprover användas, det vill säga tre likadana provkuponger med separata mätkablar grävs ned intill varandra på mätplatsen.

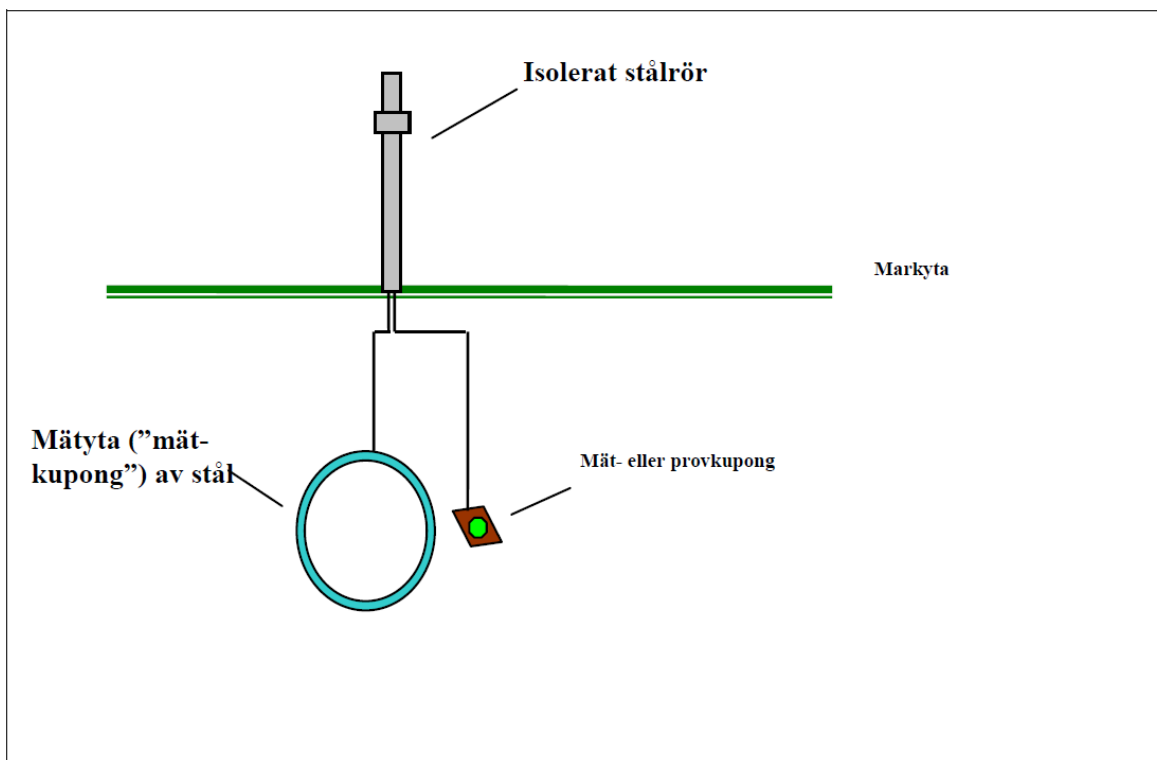
#### Kupong med plastnät för undersökning av korrosionsprodukter

I de fall man avser att undersöka eventuella korrosionsprodukter efter exponeringens slut kan kupongen bakas in i lite jord, som tas från rörledningsdjup. Plåten, med jorden, ska då omges av ett finmaskigt plastnät som håller kvar jord och korrosionsprodukter när kupongen senare tas upp ur jorden efter exponeringen slut.

#### Installation av kuponger

Kupongerna grävs ned i jorden vid ett mätställe/en mätstolpe och ansluts med mätkabeln till rörledningen via kopplingsplinten. Se **figur 14.2:6**.





**Figur 14.2:6.** Mät- respektive provkupong installerad intill gasröret.

Kupongerna placeras i jorden så nära gasledningen som möjligt så att dess stålplatta hamnar i samma jordart som närmast omger ledningen. Ligger till exempel rörledningen i lermark men den är omgiven av en sandkringfyllning ska kupongerna också placeras i en sandkringfyllning. Kupongerna läggs i ungefär 30 graders vinkel mot markytan med den fritt exponerade stålytan uppåtvänd. På så sätt bibehålls jordfuktigheten på stålytan/mätytan. Jorden trycks till mot kupongen så att det inte uppstår några hålrum mot stålytan. Där flera kuponger installeras på samma plats bör avståndet dem emellan vara omkring 1 m.

### Specialutrustning

På senare år har man utvecklat några specialutrustningar för mera sofistikerade mätningar av risken för växelströmskorrosion. Dessa beskrivs i det följande.

#### ER- sond

Med ER- sond mäter man hastigheten för pågående medelavfrätning alternativt ackumulerad medelavfrätning. Hastigheten för lokal korrosion (gropfrätning) kan inte mätas. Mätningen innebär att man registrerar den ökning av resistansen i en tunn plåtfolie, som en minskning av tvärsnittsarean som korrosionen medför. Efter omräkning till materialförlust erhåller man ett mått på medelavfrätningen.

Sonden består av ett plaströr i vilket två tunna stålfolier (kolstål) är monterade. Den ena folien är exponerad för jorden och utgör själva mätytan. Den andra folien ligger dold i plaströret och utgör referensyta för korrigerande av mätvärden för aktuell jordtemperatur. Mätningen bygger på att när mätfolien angrips av korrosion minskar dess tvärarea vilket registreras som en ökad resistans genom folien. Resistansökningen räknas om till medelavfrätning. Olika stora mätareor (folieareor) kan väljas: t ex. 0,4 cm<sup>2</sup>, 1,0 cm<sup>2</sup> eller 10 cm<sup>2</sup>. Folietyjckleken är vanligen 100 eller 500 µm. Se **figur 14.2:7**.

Sonden grävs ned invid gasröret och mätfolien ansluts till röret via närmaste mätstolpe. Därigenom kommer eventuell ström i rörledningen att avledas till jorden genom folien. Kontinuerlig registrering av mätdata (resistans) med datalogger rekommenderas. Registreringsintervallen är ställbara. Vissa instrument kan, utöver korrosionen också mäta potential och växelströmstäthet på stålfolien.



**Figur 14.2:7.** ER- sond av typ MetriCorr. (Foto: MetriCorr, Danmark)

Med mätutrustningen kan följande parametrar registreras:

1. korrosionen på stålfolien
2. stålfoliens potential med IR-fall (ON- potential)
3. stålfoliens potential utan IR- fall (OFF- potential)
4. likströmstyrka (katodisk skyddsström) på stålfolien
5. växelströmstyrka (växelströmstäthet) på stålfolien

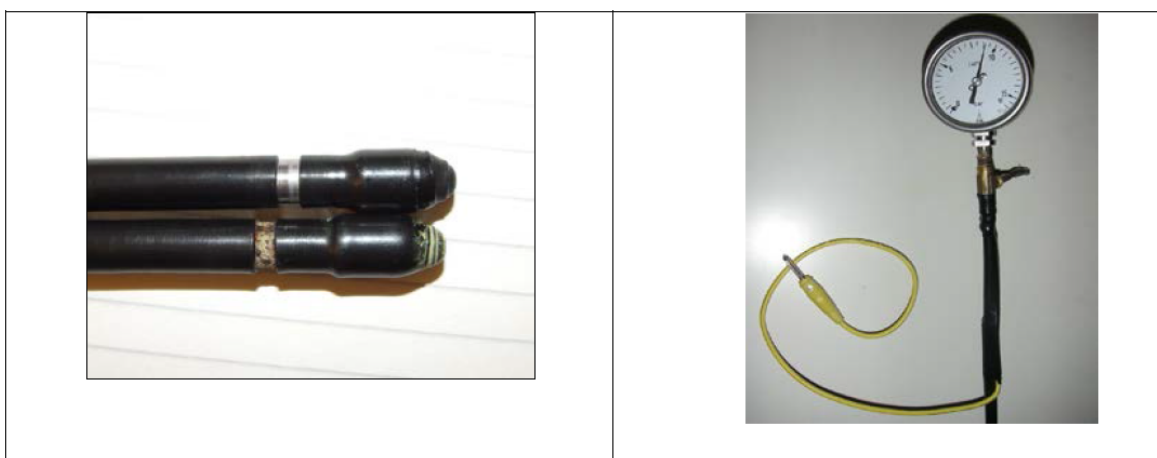
Exempel på ER- sond med tillhörande instrumentering är den s.k. MetriCorr- utrustningen, som har utvecklats av den danska instrumentfirman MetriCorr ApS i samarbete med det danska gasbolaget Dansk Olie og Naturgas, DONG

#### Korrosionssond (LC-sond)

Mätning med korrosionssond innebär att man med hjälp av en manometer registrerar när ett stålmembran (tunn kupong), som sitter på en behållare med gasövertryck, har perforerats till följd av gropfrätning och när alltså gastrycket har sjunkit till noll.

Med korrosionssond mäter man den faktiska lokala korrosionen, gropfrätningen, på en kupong som är fäst i spetsen på en specialutformad mätstav. Kupongen är utformad som en liten plåtfolie, som går runt mätstavens spets och sluter där till en liten behållare som är fylld med gas. Gasen har ett visst övertryck och utgörs av kvävgas, som inte är brännbar. Från behållaren går ett metallrör, som är elektriskt välisolerat mot jorden med plast, till en manometer ovan mark, på vilken man kan läsa av gastrycket.

Metallröret är böjbart för att inte skadas av till exempel tjälförskjutningar i marken. Mätstaven med behållaren grävs ned intill gasröret, på samma sätt som mät- och provkupper. Röret med manometern leder upp genom jorden och manometern placeras skyddad i intilliggande mätstolpe/mätskåp. Kupongen, det vill säga plåtfolien, ansluts till gasröret via kopplingsplinten i mätstolpen/mätskåpet. Manometern kan också utformas för fjärravläsning i till exempel gasbolagets kontrollrum. Se **figur 14.2:8**.



**Figur 14.2:8.** Korrosionssond av typen LC-sond. Till vänster: Mätstavens ände med gasbehållare och provkupong (stålfolie), som går i form av ett band runt behållaren. Den övre (blanka) är ny och ännu inte exponerad i jord. Den nedre (brunrostiga) sonden visar utseendet efter en tids exponering i jorden. Till höger: Manometer och anslutningskabel mellan provkupong (stålfolie) och gasledning. (Foto: SCS, Swedish Corrosion Engineering AB).

Eventuell elektrisk ström (likström och/eller växelström) i gasröret kommer därigenom att flyta mellan kupongen och omgivande jord. Om och när kupongen perforeras av korrosion

till följd av strömflödet kommer gastrycket att sjunka till noll, vilket kan läsas av på manometern. Med kännedom om kupongens plåttjocklek och hur lång tid det har tagit till perforering kan man beräkna korrosionshastigheten. Perforerad kupong innebär att lokal korrosion sannolikt också pågår med ungefär samma hastighet på stålytan i ett närbeläget felställe i gasrörets skyddsbeläggning. En fördel med korrosionssonden är att den ger information om faktisk hastighet för lokal korrosion (gropfrätning).

Kupongen area är i standardutförandet 1 cm<sup>2</sup>, men andra areor på kupongen kan väljas. Likaså kan man välja fjärravläsning av gastrycket med varningssignal när trycket har sjunkit till noll. Även kupongens plåttjocklek kan väljas. Vald plåttjocklek måste vara betydligt mindre än gasrörets godstjocklek, så att varning om eventuellt pågående lokal korrosion erhålls på ett tidigt stadium. Kupongen kan vägas innan den monteras på behållaren, vilket medger bestämning av vikstförlusten efter upptagning ur marken. Vikstförlustbestämning kompletterar informationen av den lokala korrosionshastigheten, genom att vikstförlusten ger information om hastigheten för medelavfrätning.

Med mätutrustningen kan följande parametrar registreras:

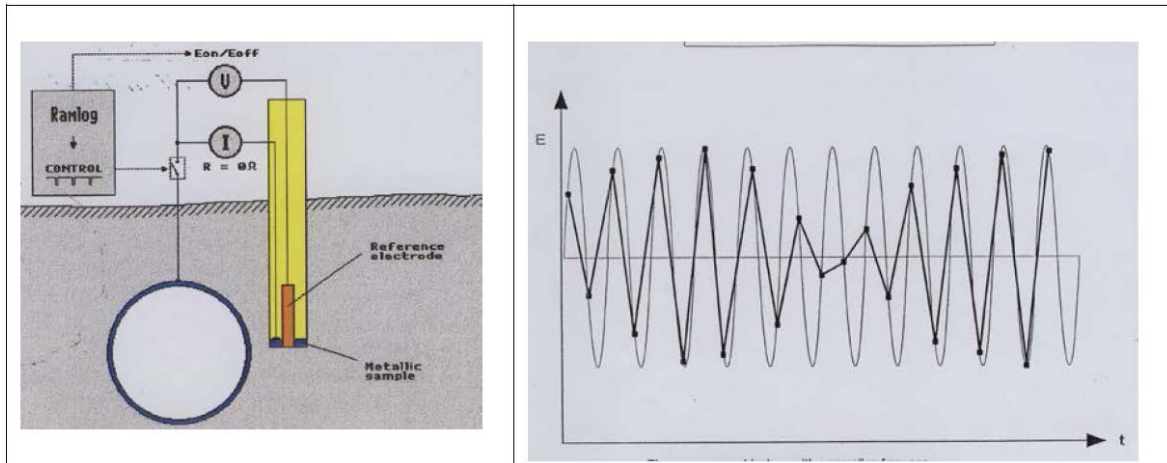
- hastigheten för lokal korrosion (gropfrätning) på kupongen
- kupongens potential med IR-fall (ON- potential)
- kupongens potential utan IR- fall (OFF- potential)

Korrosionssonden och instrumenteringen har utvecklats av den svenska instrumentfirman SCS Swedish Corrosion Engineering AB och är patentsökt.

#### Polarisationsmätare

Med polarisationsmätare registreras elektrodpotentialen (OFF- potential) på en mätkupong under en viss tid med mycket korta och ojämna intervall. Kupongen är monterad i spetsen på en speciellt utformad mätstav som sticks ned i jorden nära gasledningen. Den registrerade potentialkurvan visar om växelström förskjuter kupongens IR- fria potential (OFF- potential) till ett värde mera positivt än gränsen för fullständigt katodiskt skydd. Mätningen visar alltså om stålet är utsatt för växelströmskorrosion. Polarisationsmätare ger ingen information om korrosionshastighet. Den ger endast en antydning om sannolikheten för pågående växelströmskorrosion.

Utrustningen består av en specialutvecklad datalogger med hög samplingshastighet, en elektronisk strömbrytare och en mätstav. Mätstaven består av ett kraftigt plaströr i vars nederände det sitter en stålplatta, som utgör mätyta. En referenselektrod sitter i ett hål i plattans centrum på så sätt att elektrodmembranet befinner sig på stålplattans utsida. Därigenom kommer både referenselektrod och stålplatta att komma i kontakt med jorden när mätstaven förs ned i marken. Därmed kan stålplattans elektrodpotential registreras. Mätstaven sticks ned i marken i ett hål som är förborrat ned till ungefär samma djup som gasröret. Stålplattan ansluts till rörledningen med kabel via kopplingsplinten i närmaste mätstolpe. Är rörledningen växelspanningspåverkad kommer växelström att avledas från gasröret genom stålplattan till omgivande jord. Dataloggern och strömbrytaren kopplas in i mätkabeln. Se **figur 14.2:9**.



**Figur 14.2.9.** Mätning med polarisationsmätare. Till vänster: Principen för installation av utrustning för mätning av polarisation. Till höger: Polarisationskurva, som erhålls vid mätning med polarisationsmätare. Feta kurvan är OFF-potentialen registrerad genom ”ögonblicksmätning” i olika punkter på växelspänningens sinus-kurva (tunna kurvan). (Foto: COREAC, Fluxys S/A, Belgien).

Växelströmmen, som avleds från gasröret genom stavens stållyta till omgivande jord, ger upphov till att stållytans potential följer växelströmmens sinuskurva med en viss fasförskjutning. Vid mätning bryts kontakten till gasröret temporärt med ojämna men korta intervall. Omedelbart innan brytningen registreras växelströmstätheten (eg. växelströmstyrkan) på stållytan och stållytans ON- potential, i vilken ett IR- fall är inkluderat. Detta IR-fall utgörs egentligen av två olika IR- fall: IR- fallet som den katodiska strömmen ger upphov till och IR- fallet som växelströmmen ger upphov till.

Mindre än 1 millisekund efter strömbrytningen mäts potentialen ånyo varvid stållytans OFF- potential utan förfalskande IR- fall erhålls. Därefter ansluts stållytan automatiskt åter till gasröret. Strömbrytningen upprepas med ojämna intervall vilket medger registrering av potentialen i olika punkter på strömmens sinuskurva. Se **figur 14.2.9** En mätning kommer att innehålla tiotusentals potential- och strömregistreringar.

Med mätutrustningen kan följande parametrar registreras:

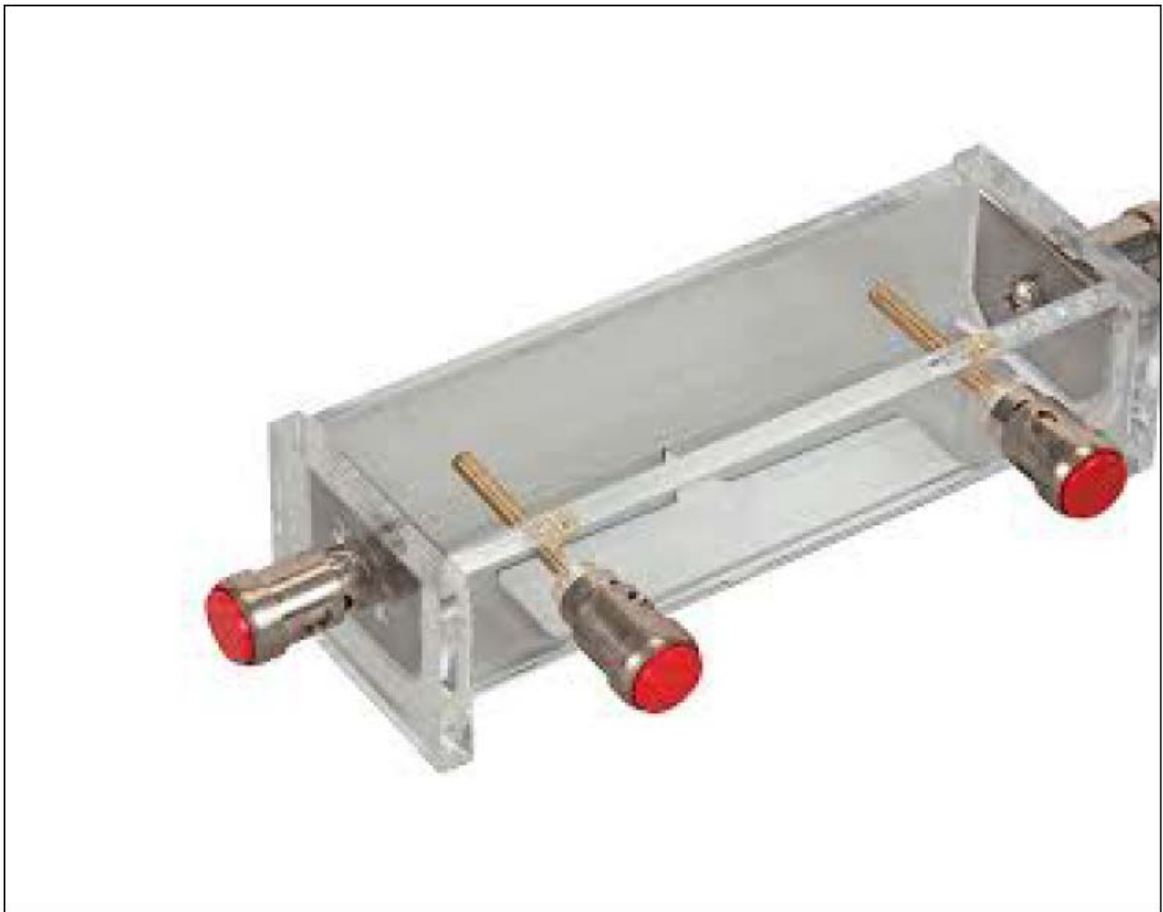
- mätstavens potential med IR-fall (ON- potential)
- mätstavens potential utan IR- fall (OFF- potential)
- växelströmstyrka (växelströmstäthet) på mätstaven
- potential på gasledningen

Exempel på utrustning för polarisationsmätning är det s.k. CORREAC- systemet, som har utvecklats i samarbete mellan det belgiska gasbolaget Fluxys (f.d. Distrigaz) och det belgiska korrosionscentret Centre Belge d'Etude de la Corrosion (CEBELCOR)

## Mätning av jordresistivitet

Jordresistiviteten visar jordens elektriska ledningsförmåga vid mätstället. Mätningen kan utföras enligt två olika metoder. Enligt den ena mätmetoden, Soil-Boxmetoden” mäter man på laboratorium eller liknande inrättning resistiviteten i ett jordprov som tagits där man vill veta den lokala resistiviteten i marken i provtagningspunkten. Jordprovet packas i en speciell mätlåda, Soil-box.

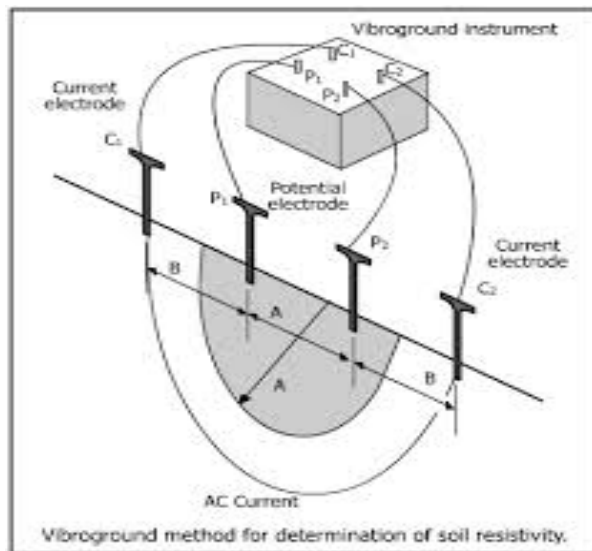
Lådan har två motstående väggar av rostfritt stål, ”strömplåtar”. Övriga delar är av plast. Två rostfria nålar, ”mätnålar”, sitter instuckna på långsidorna. En växelström, ”mätströmmen”, matas från en bärbar strömkälla (typ jordmegger) mellan strömplåtarna och spänningsfallet i jorden mäts mellan mätnålarna. Se **figur 14.2:10**. Detta förfarande används för undersökning av den lokala jordresistiviteten intill en kupong, mätstav eller stålytan i ett felställe på gasröret.



**Figur 14.2:10.** Soil-box för mätning av jordresistiviteten i upptaget jordprov.

Enligt den andra mätmetoden, Wenner 4-elektrodmeter, mäter man i fält resistiviteten i en större jordvolym. Fyra stålstavar sticks ned i markytan på rät linje. Avstånden mellan

stavarna ska vara lika. Man väljer avståndet lika som det djup man önskar mäta resistiviteten på, till exempel rördjupet. En växelström, ”mätströmmen” matas från en bärbar strömkälla (jordmegger) mellan de två yttre stavarna och spänningsfallet i marken mäts mellan de två inre stavarna. Se **figur 14.2:11**.



Figur 14.2:11. Mätning av jordresistiviteten i fält enligt Wenner 4-elektrodmotoden.

Korrosionsinstitutet (nu Swerea KIMAB) har givit ut en detaljerad anvisning för både fältmätning av jordresistiviteten direkt i jorden, Wenners 4-elektrodmotoden, och för mätning i upptaget jordprov på laboratorium, Soil-boxmetoden, Camitz (1980). Mätprocedurerna beskrivs ingående i Korrosionsinstitutets anvisning alternativt i mätutrustningens medföljande instruktionsbok.

Vid val av mätförfarande ska man alltså observera att olika förfaranden ger olika information om jordresistiviteten. Vid upptagning av en resistivetsprofil utmed en gasledning eller utmed en planerad rörledningssträckning används vanligen Wenners 4-elektrodmotoden. Avståndet mellan mätstavarna ska normalt motsvara rörledningsdjupet.

#### Lokalisering av skador i rörskyddsbeläggningen – ”Intensivmätning”

Felställen (hål) i gasrörens skyddsbeläggning kan lokaliseras genom mätning av spänningsgradients (mV DC) i markytan ovanför rörledningen och längs med ledningssträckningen. Mätningen kan utföras på olika sätt. Ett vanligt sätt är att två personer vandrar utmed ledningssträckningen och på ungefär 10 meters avstånd från varandra. De har varsin stav med en referenselektrod fästad i stavens nedre ände. Staven sätts ned i markytan för varje steg personerna tar.

Referenselektroden är förbundna med varandra med en mätledning som går till en datalogger, som den ena personen bär med sig. Loggerprogrammet är utformat så att avståndet från varje mätpunkt i markytan till startpunkten kan utläsas. För att spänningsgradients ska bli mätbara måste skyddsströmutfästningen från rörledningen katodiska skydd (strömtransformator- och likriktarenhet) vara temporärt förhöjd.

För att minska påverkan från andra tillfälliga förändringar kan den katodiska skyddsströmmen brytas och återigen slås på med korta tidsmellanrum ("Interruptas") under intensivmätningen.

För att veta att man befinner sig i markytan precis ovanför rörledningen kan det även vara nödvändigt att använda en ledningssökare vid mätningen.

Den på så sätt registrerade mätkurvan visar om och var det förekommer förhöjda spänningsgradienter lokalt i marken. En registrerad spänningsgradient ("topp eller dip" på kurvan) visar att det föreligger ett felställe, skada, i skyddsbeläggningen på röret under mät-punkten.

Påträffas ett felställe kan det inte uteslutas att det förekommer fler skador i skyddsbe-läggningen i närheten av den först påträffade.

### Mätning av elektrodpotential på mät- och provkupong

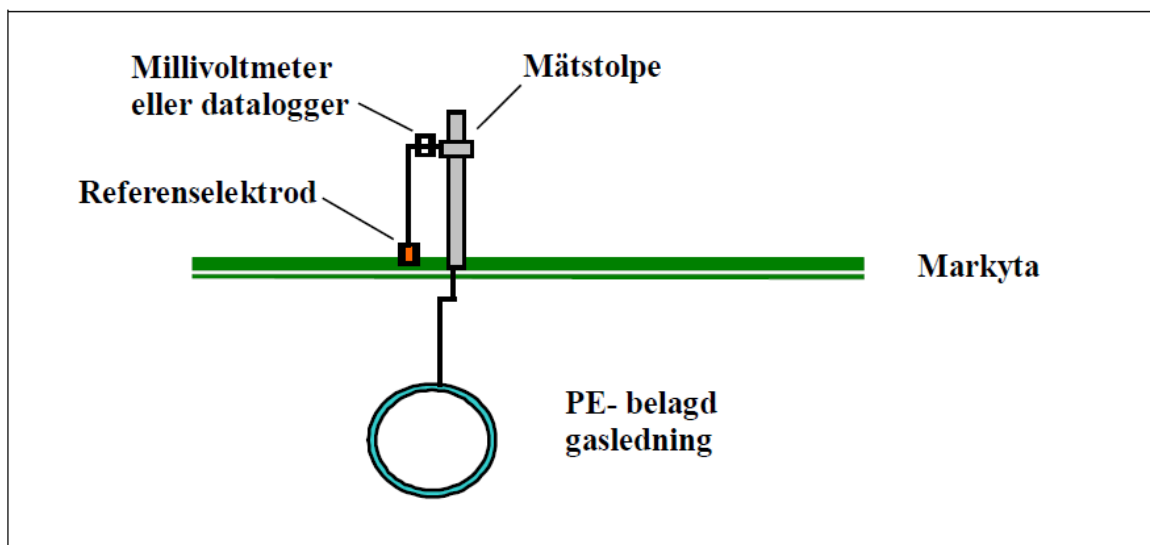
Elektrodpotentialen hos mät- eller provkuponger är en viktig parameter vid undersökning av växelströmskorrosion. Potentialmätning kompletterar mätning av elektrisk ström på ku-pongerna.

Vid mätning av elektrodpotential (fri korrosionspotential eller potential som är påverkad av elektrisk ström) på mät- eller provkupong placeras referenselektroden i en liten grop i markytan rakt ovanför kupongen. Referenselektroden ska ha god kontakt med fuktig jord. Är jorden torr i markytan kan den behöva vattenbegjutas där elektroden ska placeras. Referenselektroden och kupongen ansluts till millivoltmetern. Kupongen ska vara ansluten till gasledningen via kopplingsplinten i den närbelägna mätstolpen lång tid (flera veckor) innan mätningen görs, så att stålytan har hunnit polariseras tillräckligt av den katodiska skyddsströmmen. Se **figur 14.2:12**.

Elektrodpotentialen läses av med kupongen ansluten till gasledningen, varvid kupongens ON- potential (elektrodpotential med IR-fall) erhålls. Därefter bryts mätanslutningen mellan millivoltmetern och kupongen/kopplingsplinten och elektrodpotentialen läses av omedelbart (inom delar av en sekund) efter brytningen, varvid kupongens OFF- potential (elektrodpotential utan IR-fall) erhålls. Väntar man för länge (längre än en sekund) kommer stålytans katodiska polarisation att avta och värdet på avläst OFF- potential blir missvisande.

Mätning av rörledningars elektrodpotential beskrivs mera i detalj i svensk standard SS-EN 13509.





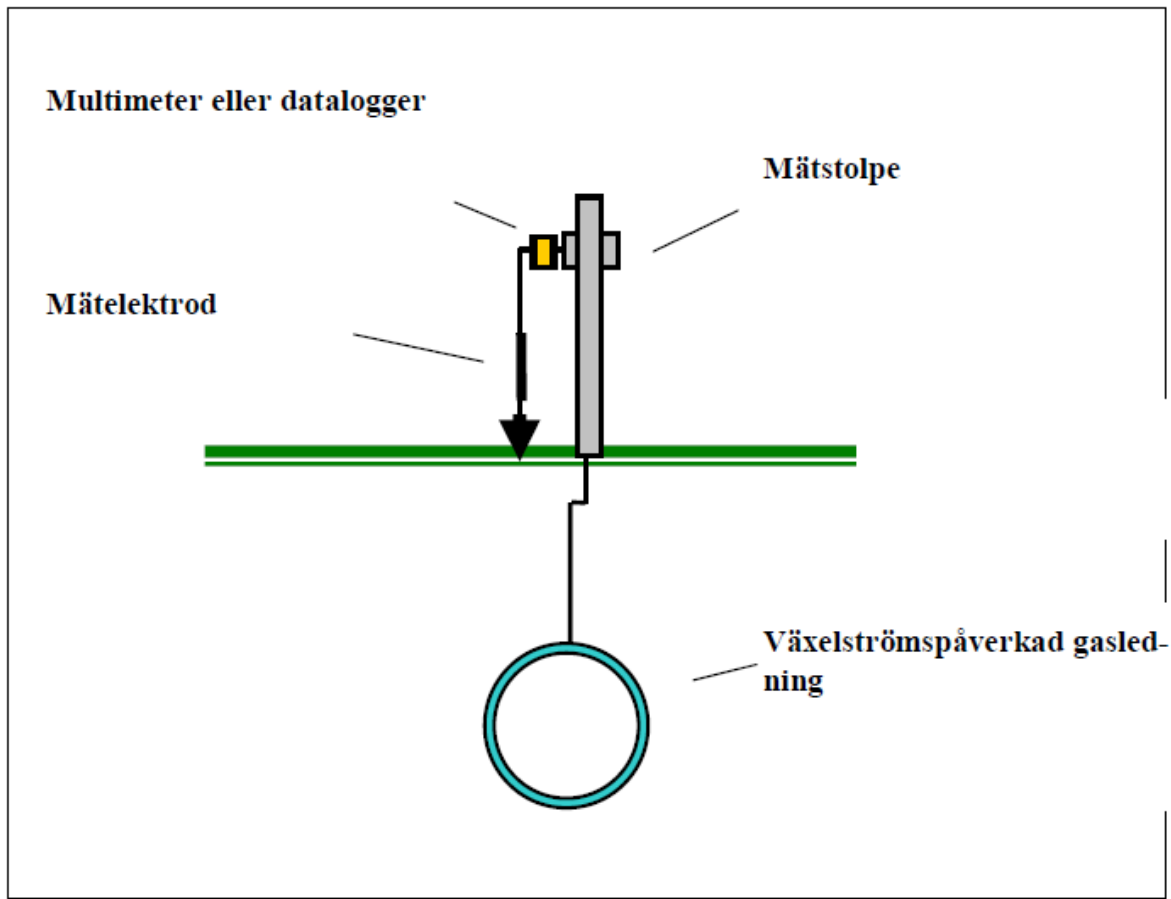
**Figur 14.2:12.** Mätning av rörledningens elektropotential vid mätstolpe (Bild: G. Camitz)

#### Mätning på nyinstallerad kupong

Det tar en viss tid innan de elektrokemiska reaktionerna har stabiliserats på en nyinstallerad kupong. De första mätningarna av växelström eller katodisk skyddspotential på kupongen bör därför påbörjas först någon månad efter installationen för att mätresultaten ska bli representativa för förhållandena på gasledningen.

#### Mätning av rörledningens växelspanning

Rörledningens växelspanning mäts lämpligen vid en mätstolpe med kopplingsplint. Spänningen mäts mot en metallektrod, t ex. ett stålspett eller en referenselektrod, som sticks ned i markytan så att den får god kontakt med jorden. Elektroden placeras ett stycke ut från rörledningen. För att korrekt spänningsvärde ska kunna erhållas fordras det att jorden är elektriskt neutral där mätelektroden placeras. Växelspanningen mäts med till exempel en multimeter som kopplas in mellan röret och mätelektroden. På detta sätt erhålls ett ögonblicksvärde på rörets växelspanning. Se **figur 14.2:13**.



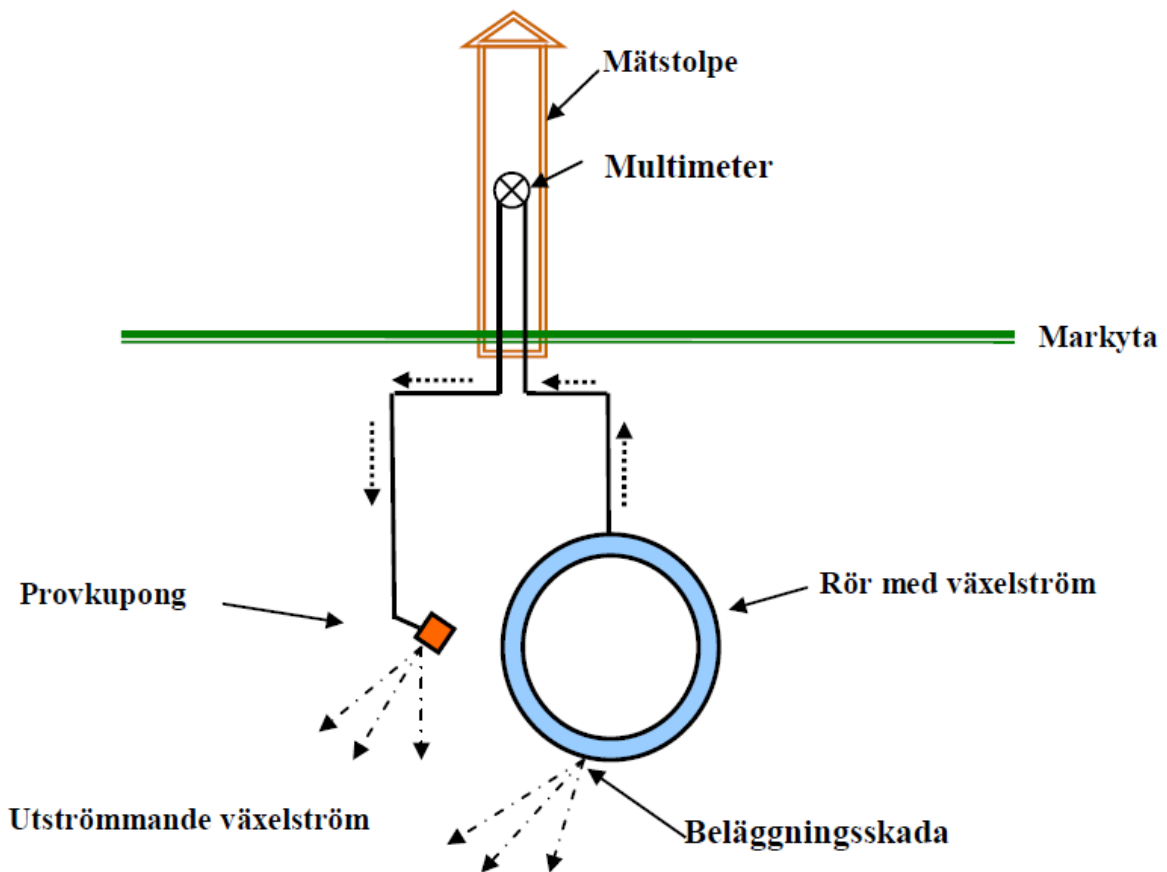
**Figur 14.2:13.** Mätning av rörledningens växelspänning vid mätstolpe

Mätningen kan också göras med datalogger som, om spänningsregistreringen görs under ett dygn eller under en längre period, ger en bild av växelspänningens tidsvariationer och möjlighet att beräkna spänningens dygnsmedelvärde. Det ska observeras att även dygnsmedelvärdet varierar i tid beroende på årstidsvisa variationer i effektuttaget i den påverkande kraftledningen. Rörets växelspänning är därför vanligen lägre på natten än på dagen och vanligen lägre under sommarhalvåret än under vinterhalvåret.

Korrosionsrisken baserad på uppmätt växelspänning bedöms enligt handbokens Appendix C.

#### Mätning av växelström på mätkupong/provkupong

Växelströmmen, som flyter mellan jorden och kupongens fria stålyta, mäts med till exempel multimeter som kopplas in i mätplinten mellan gasröret och kupongen. Se **figur 14.2:14**. Uppmätt växelströmstyrka ( $I_{ac}$ ) räknas sedan om till växelströmstäthet ( $J_{ac}$ ) på den fria stålytan och anges i  $A/m^2$  alternativt i  $mA/cm^2$ . På så sätt erhålls ett ögonblicksvärde på växelströmstätheten.



**Figur 14.2:14.** Mätning av växelström på kupong vid mätstolpe (Bild: G. Camitz)

På samma sätt som vid mätning av rörets växelspänning kan strömmätningen göras med datalogger som, om registreringen görs under ett dygn eller under en längre period, ger en bild av växelströmmens dygnvariationer och möjlighet att beräkna strömmens dygnsmedelvärde. Det ska observeras att även växelströmmen varierar i tid på samma sätt som växelspänningen, beroende på variationer i effektuttaget i den påverkande kraftledningen.

Korrosionsrisk baserad på uppmätt växelströmstäthet för mätkupong/provkupong bedöms enligt Appendix C.

#### Mätning av kvoten likström/växelström på mätkupong/provkupong

Likströmmen, det vill säga den katodiska skyddsströmmen, som flyter genom jorden till kupongens fria stályta, mäts med t.ex. multimeter som kopplas in i mätplinten mellan gasröret och kupongen. Uppmätt likströmstyrka ( $I_{dc}$ ) anges i  $A/m^2$ .

Korrosionsrisk baserad på kvoten mellan växelström och likström ( $I_{ac}/I_{dc}$ ) bedöms enligt Appendix C.

#### Mätning av korrosion på provkupong

Provkuponger bör vara nedgrävda minst ett år innan de tas upp för utvärdering av eventuella korrosionsangrepp. Vid intagning av kuponger tas endast två av de tre kupongerna på mätplatsen upp för inspektion. Om det efter utvärderingen av korrosion på provkupongerna fortfarande råder tveksamhet om korrosionsrisken får den tredje provkupongen sitta kvar ytterligare en tid i jorden, till exempel ett år, innan även denna tas upp för inspektion.

Efter upptagning och borttagning av mätledningen rengörs stålytan från jord genom tvättning i vatten. Sedan avlägsnas tejen och mätkabeln. Ytrostning på stålytan, som uppstår vid tvättningen i vatten, kan förhindras genom att etanol- sprit sprejas på plåten omedelbart efter rengöringen. Rosten avlägsnas genom så kallad upprepad betning i saltsyra innehållande inhibitor, så kallad Clarkes lösning. Korrosionen utvärderas både genom mätning av den viktsförlust som uppstått under exponeringen och genom mätning av djupet i lokala frätgropar på stålytan.

Angreppen vid växelströmskorrosion kan ha olika djup och utseende. I **figur 14.2:15** visas karaktäristiska utseenden hos tre olika typer av angrepp på provkuponger som har angripits genom växelströmskorrosion.



**Figur 14.2:15.** Tre olika angreppsformer vid växelströmskorrosion på katodiskt skyddade provkuponger efter cirka 1½ års exponering för växelström med olika strömtäthet. Kupong A (No. 272): Jämn korrosion, Kupong B (No. 273): Stor mängd ytliga lokala angrepp belägna intill varandra, Kupong C (No. 274): Mycket djupa, sammanhängande lokala angrepp. Däremellan är med icke angripen stålyta. (Foto: G. Camitz)

Vid viktsförlustundersökningen vägs kupongen på laboratorievåg med samma noggrannhet som före exponering av plåten, det vill säga med en mätosäkerhet av högst +/- 0,001 g (+/-

1 mg). Kupongens vikt jämförs med den ursprungliga vikten som kupongen hade innan den grävdes ned. Viktsförlusten, som har uppkommit under exponeringstiden, räknas först ut i g/m<sup>2</sup> exponerad stålyta. Viktsförlusten räknas sedan om till hastighet för jämn korrosion uttryckt i µm/år.

Djupet i lokala frätgropar mäts med stor noggrannhet i metallmikroskop med en mätosäkerhet på högst +/- 0,001 mm (+/- 1 µm). Djupare angrepp kan också mätas för hand med mikrometernål, men då blir mätosäkerheten större. Därefter räknas hastigheten för gropfrätningen ut och anges i µm/år. Slutligen fotograferas stålytan som varit fritt exponerad mot jorden.

Korrosionsrisken baserad på uppmätt korrosion på provkupong bedöms enligt handbokens Appendix C.

#### Mätning av korrosion med ER- sond (specialutrustning)

Korrosionshastigheten på stålytan i ett felställe i gasledningens skyddsbeläggning är inte konstant utan den varierar med tiden under inverkan av flera faktorer, till exempel årstidsberoende variationer hos jordresistiviteten, alltså jordfuktigheten, och variationer i effektuttaget i den påverkande växelströmsanläggningen. Av samma anledning varierar korrosionen också vid mätning med ER- sond. Därför bör registrering av korrosionen ske vid normal drift av den påverkande växelströmsanläggningen och pågå under en längre tid.

Se också instruktion från leverantören av ER- utrustningen.

Korrosionsrisken baserad på mätning med ER- sond bedöms enligt handbokens **Appendix C**.

#### Mätning av korrosion med korrosionssond (specialutrustning)

Mätning med korrosionssond (LC-sond) innebär att man med jämna mellanrum läser av manometern och kontrollerar om gstrycket har sjunkit till noll, vilket innebär att kupongen har perforerats genom lokal korrosion, gropfrätning.

Se också instruktion från leverantören av korrosionssonden.

Korrosionsrisken baserad på mätning med korrosionssond bedöms enligt handbokens **Appendix C**.

#### Mätning av korrosion med polarisationsmätare (specialutrustning)

Potentialvariationen på stålytan i ett felställe i gasledningens skyddsbeläggning är inte lika stor med tiden utan den varierar under inverkan av flera faktorer, främst variationer i rörlingens växelspanning. Därför bör potentialregistreringen ske vid normal drift av den påverkande växelströmsanläggningen och pågå under en längre tid.

Se också instruktion från mätutrustningens leverantör.

Korrosionsrisken baserad på mätning med polarisationsmätare bedöms enligt handbokens **Appendix C**.

#### Analys av korrosionsprodukter

De korrosionsprodukter som bildas i korrosionsangrepp på rörstålet i ett felställe i rörledningens skyddsbeläggning eller på stålytan på en provkupon kan efter kemisk analys ge värdefull information om korrosionsorsaken. Exempelvis vittnar hög kalkhalt (hög karbonathalt,  $\text{CaCO}_3$ ) och högt pH-värde (högre än omkring pH 11) om att det katodiska skyddet varit fullt verksamt på stålytan trots uppkomsten av angrepp. Har stålytan under dessa förhållanden varit genomfluten av växelström visar analysen att angreppet inte har orsakats av bristande katodiskt skydd. I stället är det troligt att angreppet har uppkommit genom växelströmskorrosion.

Analysen görs i tur och ordning enligt följande:

**pH-värde:** Korrosionsproduktens pH-värde mäts genom att avjoniserat vatten droppas på angreppet. Efter några minuter trycks ett pH-papper försiktigt mot de genomfuktade korrosionsprodukterna. Efter ytterligare några minuter noteras färgomslaget på pH-papperet och jämförs med tillhörande färglikare, som normalt medföljer pH-papperets förpackning. Observera att pH-värdet inte kan mätas efter det att saltsyra droppats på korrosionsprodukten för kalkanalys. Notera också att det kan vara svårt att iaktta färgomslaget på grund av att jorden smutsar ner pH-papperet.

**Kalkhalt:** Kalkhalten kan analyseras approximativt genom att 10 % -ig saltsyra ( $\text{HCl}$ ) droppas på korrosionsprodukten varvid styrkan i gasutvecklingen (utveckling av koldioxid,  $\text{CO}_2$ ) som därmed uppstår noteras. Den ungefärliga kalkhalten kan bedömas i enlighet med **tabell 14.2:1** nedan.

**Tabell 14.2:1** Bedömning av ungefärlig kalkhalt i korrosionsprodukter.

Observerad gasutveckling	Ungefärlig kalkhalt (karbonathalt, $\text{CaCO}_3$ )
Ingen gasutveckling	Ingen eller mycket låg kalkhalt, <1 % $\text{CaCO}_3$
Svag gasutveckling	Måttligt hög kalkhalt, 1 - 5 % $\text{CaCO}_3$
Stark gasutveckling	Hög kalkhalt, > 5 till 10 % $\text{CaCO}_3$
Mycket stark gasutveckling	Mycket hög kalkhalt, > 10 % $\text{CaCO}_3$

**Sulfid- förekomst:** Om saltsyran också ger upphov till tydlig och stark doft av svavelväte ("ruttna ägg") är det ett tecken på att det förekommer sulfidföreningar i korrosionsprodukterna och att korrosionen har skett under anaeroba (syrefria) förhållanden. Detta är vanligt i jord som innehåller kemiska svavelföreningar, till exempel lera i strandnära markområden och i älvstränder.

### 14.3 Fältundersökning – "Steg-för-stegmetoden"

Vid undersökning av risken för växelströmskorrosion på en lång rörledningssektion, som är växelströmspåverkad, är det inte realistiskt att installera kuponger vid samtliga mätstolpar utmed rörledningen. En strategi måste tillämpas så att antalet kuponger och grävningsarbetet inte ska bli alltför omfattande.

Ruhrigas AG har utvecklat en sådan strategi som används av gasbolagen i Tyskland. Proceduren innebär att man genom ”steg-för-steg”- mätningar utmed den växelströmspåverkade rörledningen gafflar in de mätstolpar där kuponger bör grävas ned. Förfarandet fordrar en ingående planering men metoden är arbetsbesparande och leder också till att man med större sannolikhet identifierar de mätstolpar som är mest lämpade för installation av kuponger. Arbetsgången beskrivs i **tabell 14.3:1** nedan.

**Tabell 14.3:1.** Tillvägagångssätt vid ”steg-för-steg - undersökning” av växelströmskorrosion med kuponger på rörledning som är växelströmspåverkad på grund av närhet till högspänningskraftledning.

<b>Steg 1</b>	<b>Välj ut mätstolpar där jordresistiviteten är låg. Se den resistivetsprofil som har mätts upp utmed rörledningen.</b>
<b>Steg 2</b>	<b>Mät rörledningens växelspanning (”ögonblicksvärden”) vid de utvalda mätstolparna vid normal drift i kraftledningen. På detta sätt erhålls rörledningens ”växelspanningsprofil”.</b>
<b>Steg 3</b>	<b>Tag reda på, genom kontakt med kraftledningsägaren, effektuttaget i kraftledningen vid mättillfällena.</b>
<b>Steg 4</b>	<b>Räkna upp uppmätta växelspanningar, med ledning av uppgift om effektuttaget i kraftledningen, till växelspanning vid fullt, eller vid ett visst normalt, effektuttag i kraftledningen.</b>  <b>Denna punkt kan kompletteras med kontinuerlig registrering av variationerna i rörledningens växelspanning vid en mätstolpe under t ex. en vecka med hjälp av datalogger.</b>
<b>Steg 5</b>	<b>Välj ut de mätstolpar vid vilka de högsta växelspanningarna har uppmätts.</b>
<b>Steg 6</b>	<b>Mät växelströmstätheten (”ögonblicksvärden”) på en tillfälligt installerad mätstav vid de mätstolpar som har identifierats i steg 5. Mätstaven ska ha 1 cm<sup>2</sup> blottlagd stålyta</b>
<b>Steg 7</b>	<b>Tag reda på, genom kontakt med kraftledningsägaren, effektuttaget i kraftledningen vid mättillfällena.</b>  <b>Räkna upp uppmätta strömstätheter, med ledning av uppgift om effektuttaget i kraftledningen, till strömstäthet vid fullt, eller vid ett visst normalt, effektuttag i kraftledningen.</b>
<b>Steg 8</b>	<b>Installera provkuponger (vägda i förväg) vid de mätstolpar där högsta växelströmstätheter har noterats.</b>

Steg 9	Registrera växelströmmen på installerade kuponger under en längre tidsperiod med hjälp av datalogger vid normal drift av kraftledningen. Räkna om växelströmstyrkan till växelströmstäthet uttryckt i $A/m^2$ (alternativt i $mA/cm^2$ )
Steg 10	Utvärdera korrosionsrisken med ledning av registrerade växelströmstätheter (Jac) i enlighet med denna handboks vägledning. Vidtag åtgärder enligt punkt 11 nedan.
Steg 11	<p><b><u>Fortsatta åtgärder är beroende av resultatet av bedömd korrosionsrisk:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b><u>Är Jac lägre än <math>30 A/m^2</math> (<math>3 mA/cm^2</math>)</u></b> bedöms korrosionsrisken vara låg och det behövs inga ytterligare åtgärder. Kupongerna får ligga kvar i jorden.</li> <li>▪ <b><u>Är Jac högre än <math>30 A/m^2</math> (<math>3 mA/cm^2</math>) men lägre än <math>100 A/m^2</math> (<math>10 mA/cm^2</math>)</u></b> bedöms det föreligga viss korrosionsrisk. Två av de tre provkupongerna tas upp för inspektion. Uppvisar dessa inga tecken på korrosionsangrepp får den tredje provkupongen ligga kvar i jorden cirka ett år, varefter den tas upp för inspektion med avseende på korrosion. Uppvisar denna kupong korrosionsangrepp (stor viktsförlust och/eller djupa lokala angrepp) fullföljs undersökningen såsom vid uppmätta strömstätheter större än <math>100 A/m^2</math> (<math>10 mA/cm^2</math>), se nästa punkt.</li> <li>▪ <b><u>Är Jac högre än <math>100 A/m^2</math> (<math>10 mA/cm^2</math>)</u></b> tyder det på hög risk för pågående växelströmskorrosion och då måste undersökningen gå vidare. Två av de tre provkupongerna tas upp för inspektion. Uppvisar någon av dessa tecken på korrosionsangrepp tas den tredje provkupongen upp för bekräftelse av korrosionen. I samband med upptagningen sätts nya provkuponger ner i jorden, vilka får ligga kvar i jorden cirka ett år, varefter de tas upp för inspektion. Korrosionsangrepp i form av stor viktsförlust och/eller djupa lokala angrepp fordrar fortsatta åtgärder.</li> </ul> <p>Exempel på fortsatt åtgärd är lokalisering av felställen i rörledningens skyddsbeläggning genom så kallad intensivmätning av markgradienter utmed ledningen vid förstärkt utmatning av katodisk skyddsström (se kapitel 6 i NGSÄ 2011). Påträffade felställen friläggs och inspekteras med avseende på eventuella korrosionsangrepp. Felställena repareras (se kapitel 6 i NGSÄ 2011). Påträffas ett felställe, visar erfarenheten att det är troligt att det finns fler skador i skyddsbeläggningen i närheten av den påträffade skadan.</p> <p>Påträffas korrosionsangrepp på rörledningen måste aktiva motåtgärder vidtas, till exempel i form av jordning av rörledningen eller genom installation av isolerstycken (se kapitel 6 i NGSÄ 2011).</p>



--	--

## 15. Appendix C (Bedömning av risk för växelströmskorrosion)

### 15.1 Osäkerhet vid riskbedömning

Som redan sagts är växelströmskorrosion på jordförlagda stålrörsledningar en mycket komplicerad typ av korrosion, särskilt på rörledningar som är katodiskt skyddade. Det innebär att både undersökningsmetoder och bedömning av korrosionsrisk innehåller en rad osäkerheter. Detta beror bland annat på följande:

- Eftersom man måste göra ett antal antaganden vid beräkningar på projekteringsstadiet blir beräknad växelspanning och beräknad växelströmstäthet i felställen på gasledningen osäkra
- Förhållandena på en befintlig gasledning är inte exakt de samma som på en nedgrävd kupong vilket innebär att växelström, likström, korrosionspotential och korrosionsangrepp uppmätta på en kupong inte blir exakt de samma som på gasröret
- I kalkrika jordarter byggs det upp ett ojämnt kalkskikt på kupongens stålyta, vilket medför att växelströmstätheten lokalt (i mikroskala) blir olika stor på olika ytpartier med lokalt mera djupa korrosionsangrepp som följd. Denna effekt är inte mätbar på kuponger. Den kan bara observeras visuellt, särskilt i stereomikroskop.
- Jordfuktighetens kemiska sammansättning närmast stålytan i ett felställe är okänd
- Effekttuttaget i en högspänningskraftledning varierar mellan olika dagar och årstider vilket innebär att den växelspanning som uppmätts vid ett visst tillfälle ("ögonblicksmätning") i en närbelägen gasledning inte kommer att vara den samma under hela året
- Gränsvärdena vid bedömning av korrosionsrisk baserad på växelspanning, växelströmstäthet och kvoten växelström/likström är inte exakta utan ska uppfattas som flytande, det vill säga som riktvärden
- Mätning med specialutrustningarna ER- sond, korrosionssond och polarisationsmätare visar inte exakt de förhållanden som råder på gasledningen

På grund av dessa osäkerheter blir riskbedömningen endast en uppskattning av sannolikheten för korrosion. Detta gäller vid bedömning baserad på gasledningens beräknade eller uppmätta växelspanning, växelströmstäthet beräknad i felställe på

gasröret respektive uppmätt på kupong eller mätstav och på kvoten växelström/likström. Det pågår dock ett intensivt forskningsarbete i Europa med utveckling av undersökningsmetoder med högre träffsäkerhet. Forskningens kunskapsläge redovisas fortlöpande vid den europeiska intresseorganisationen CEOCOR:s årsmöten ([www.ceocor.lu](http://www.ceocor.lu))

Även om resultat från mätning med specialutrustning inte överensstämmer exakt med de förhållanden som råder på gasledningen så ger riskbedömning med dessa typer av utrustning mindre osäkerhet än bedömning enligt ovan nämnda bedömningsmetoder. Mätning med korrosionssond ger information om hastigheten för pågående lokal korrosion (gropfrätning) och ger därför något säkrare information om korrosionsdjupet än mätning med ER-sond.

### 15.2 Bedömning baserad på rörledningens växelspanning

Bedömning av risk för växelströmskorrosion med ledning av beräknad eller uppmätt växelspanning i rörledningen kan göras med ledning av gränsvärden angivna i **tabell 15.2:1**. Tabellen är baserad på teknisk specifikation CEN/TC 15280, (**Ref. 28**).

**Tabell 15.2:1.** Vägledning för bedömning av risk för växelströmskorrosion med ledning av rörledningens växelspanning enligt Teknisk Specifikation CEN/TC 15280.

Lokal jordresistivitet ( $\rho$ ) vid spänningspåverkad ledningssektion	Gasrörets beräknade eller uppmätta växelspanning, ( $U_{ac}$ )	Risk för växelströmskorrosion
$\rho$ lägre än $25 \Omega \cdot m$	$U_{ac}$ högre än $4 V_{ac}$	Hög risk
	$U_{ac}$ lägre än $4 V_{ac}$	Låg risk
$\rho$ högre än $25 \Omega \cdot m$	$U_{ac}$ högre än $10 V_{ac}$	Hög risk
	$U_{ac}$ lägre än $10 V_{ac}$	Låg risk

### 15.3 Bedömning baserad på växelströmstäthet

Bedömning av risk för växelströmskorrosion med ledning av beräknad eller uppmätt växelströmstäthet på mät- eller provkupong eller mätstav kan göras enligt **tabell 15.3:1**. Tabellen är baserad på Teknisk Specifikation CEN/TC 15280, (**ref.**

nr). Observera att gränsvärdena kan komma att ändras något i nyutgåvor av specifikationen.

**Tabell 15.3:1.** Vägledning för bedömning av risk för växelströmskorrosion baserad på beräknad eller uppmätt växelströmstäthet på stålytan i enlighet med Teknisk Specifikation CEN/TC 15280.

Beräknad eller uppmätt växelströmstäthet ( $J_{ac}$ )	Risk för växelströmskorrosion
$J_{ac} < 30 \text{ A/m}^2$ ( $< 3 \text{ mA/cm}^2$ )	låg risk för korrosion
$J_{ac} = 30 - 100 \text{ A/m}^2$ (3-10 $\text{mA/cm}^2$ )	risk för korrosion ("osäker gråzon")
$J_{ac} > 100 \text{ A/m}^2$ ( $> 10 \text{ mA/cm}^2$ )	hög risk för korrosion

Vilka åtgärder som bör vidtas efter genomförd riskbedömning på befintlig gasledning enligt detta förfarande beror av vilken grad av korrosionsrisk som har bedömts föreligga. Exempel på hur man kan gå vidare efter riskbedömningen beskrivs i avsnitt "Fältundersökning steg- för- stegmetoden" i **Appendix B**

#### 15.4 Bedömning baserad på kvoten växelström/likström

Bedömning av risk för växelströmskorrosion med ledning av kvoten växelström/likström ( $I_{ac}/I_{dc}$ ) uppmätt på mät- eller provkupong eller på mätstav kan göras enligt **tabell 15.4:1**. Tabellen är baserad på Teknisk Specifikation CEN/TC 15280, (Ref. 27).

**Tabell 15.4:1.** Vägledning för bedömning av risk för växelströmskorrosion baserad på kvoten växelström/likström uppmätt på mät- eller provkupong eller på mätstav i enlighet med Teknisk Specifikation CEN/TC 15280.

Kvoten växelström/likström ( $I_{ac}/I_{dc}$ )	Risk för växelströmskorrosion
$I_{ac}/I_{dc}$ är lägre än 5	låg risk för korrosion
$I_{ac}/I_{dc}$ är mellan 5 och 10	risk för korrosion ("osäker gråzon")
$I_{ac}/I_{dc}$ är större än 10	hög risk för korrosion

## 15.5 Bedömning baserad på uppmätt korrosion på provkupong

Korrosionen på provkuponger, som varit anslutna till rörledningen och exponerade för växelström, speglar någorlunda en pågående korrosion på stålytan i felställen i rörledningens skyddsbeläggning i närheten av mätplatsen. Betydelsen av uppmätt korrosion kan utvärderas med ledning av de gränsvärden som anges i NGSA 2011, avsnitt 6.3.2 (ref. nr 2). Utvärdering kan göras enligt **tabell 15.5:1**.

**Tabell 15.5:1. Vägledning enligt NGSA 2011, kapitel 6 (ref. nr 2) vid utvärdering av korrosion på provkuponger som har varit anslutna till rörledningen och exponerade för växelström.**

Typ av korrosion	Uppmätt korrosions-hastighet	Bedömning
Medelavfrätning, bestämmd genom mätning av viktsförlust	större än 10 µm/år	ej acceptabel korrosion - fortsatt undersökning nödvändig
Lokal korrosion (gropfrätning), uppmätt i mikroskop	större än 10 µm/år	ej acceptabel korrosion - fortsatt undersökning nödvändig

## 15.6 Bedömning baserad på mätning med elektrisk resistanssond, ER-sond

För att få en uppfattning om den huvudsakliga korrosionshastigheten uppmätt med ER-sond bör man studera resultaten från en längre tids registrering av korrosionen.

Se också instruktion från mätutrustningens leverantör.

Beslut om fortsatt undersökning alternativt vidtagande av skyddsåtgärd tas med ledning av uppmätt hastighet för medelavfrätning.

## 15.7 Bedömning baserad på mätning med korrosionssond, LC-sond

Har sondens gastryck sjunkit till noll innebär det att kupongen har perforerats av lokal korrosion. I sådant fall beräknas hastigheten för den lokala korrosionen med ledning av kupongens plåttjocklek och hur lång tid kupongen varit ansluten till gasröret fram till perforeringen. Det kan antas att den framräknade hastigheten för den lokala korrosionen någorlunda motsvarar en pågående växelströmskorrosion på gasledningens stålrör i närheten av LC-sondens placering.

Se också instruktion från mätutrustningens leverantör.

Beslut om fortsatt undersökning alternativt vidtagande av skyddsåtgärd tas med ledning av uppmätt hastighet för lokal korrosion (gropfrätning).

## 15.8 Bedömning baserad på mätning med polarisationsmätare

Den kurva med IR- fria potentialer som erhålls vid mätning med polarisationsmätare visar om potentialen under längre tidsperioder överstiger (är mera positiv) potentialgränsen för fullständigt katodiskt skydd. Om så är fallet tyder detta på att gasröret är utsatt för växelströmskorrosion. Korrosionshastigheten, det vill säga hur allvarlig korrosionen är, framgår inte av denna typ av mätning. För att få en uppfattning om korrosionshastighet kan man installera provkupper eller ER-sond alternativt korrosionssond för registrering av faktisk korrosion i de fall man har bedömt att växelströmskorrosion pågår.

Se också instruktion från mätutrustningens leverantör.

Beslut om fortsatt undersökning tas med ledning av uppmätt polarisation.

## 15.9 Bedömning baserad på resultat från analys av korrosionsprodukter

Visar den kemiska analysen av korrosionsprodukter att det katodiska skyddet varit fullt verksamt trots att det uppkommit korrosionsangrepp och har stålytan varit genomfluten av växelström tyder det på att angreppet har uppkommit genom växelströmskorrosion.

Beslut tas om fortsatt undersökning eller om vidtagande av skyddsåtgärd.

## 16. Appendix D (Undersökning av personfarliga växelspanningsnivåer)

### 16.1 Beröringsfarliga spänningar (Personsäkerhet)

Den beröringsspänning (The touch voltage) som överstiger 50 V växelspanning under så lång tid att personfara uppstår vid samtidig beröring av åtkomliga ledande delar benämns beröringsfarlig spänning. I våt och smutsig miljö, t ex jordbruk och byggarbetsplatser gäller lägre nivåer (50 % av ovanstående). Spänningsnivåer över dessa låga nivåer accepteras dock vid jordfel (enpolig jordslutning) i högspännings-anläggningar (> 1 kV) under förutsättning att jordfelet som orsakar spännings sättningen bortkopplas automatiskt inom en mycket kort tid, mindre än en sekund. För direktjordade högspännings-system gäller t ex < 0,5 sekunder och förhöjda markpotentialer som uppträder vid en jordslutning ska jämnas ut. De får därför inte överstiga kraven i SS-EN 61936-1 för  $U_{TP}$  (t ex 600 V mindre än ca 150 ms).

Jordningssystemet för högspänningsanläggningen skall uppfylla kraven i SS-EN 50522.

De ställen där man normalt kan komma i beröring med en markförlagd gasledning är t ex där ledningen går upp ovan mark vid rensdon, i mätstolpar (mätuttagen för kontroll av det katodiska skyddet), i likriktarskåp (matning av det katodiska

skyddet), vid motorventildon (t ex för manuell stängning av ventil) och liknande anordningar.

Underhåll av kraftledningar och dess jordningssystem ska ske vid regelbundna inspektioner och jordningssystemet ska vara utfört för att möjliggöra regelbundna mätningar.

Ombyggnationer av kraftledningar och nya stationer i elnätet kräver att jordningssystemet verifieras genom mätningar.

Vid elanläggningsägarens verifiering av jordningssystemet för den elektriska starkströmsanläggningen är det lämpligt att gasledningsägaren genomför mätningar av beröringsspänningar på rörledningar i närområden.

## 16.2 Starkströmsföreskrifterna, Standarder

Riksdagen stiftar lagar och det är ellagen (SFS 1997:857) som i grunden reglerar på vilket sätt elektriciteten produceras, distribueras och används på ett säkert sätt för personer, egendom och husdjur. För att visa tolkningar av lagen använder regeringen sig av förordningar, t ex

- Elförordningen 1994:1250
- Svagströmsförordningen 1972:463
- Starkströmsförordningen SFS 2009:22

Starkströmsförordningen SFS 2009:22 ställer krav på elanläggningens skick, personalansvar och krav på elentreprenörer.

Underliggande ovanstående förordningar finns elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd;

- ELSÄK-FS 2008:1 "Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda och allmänna råd om tillämpningen"
- ELSÄK-FS 2008:2 "Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om varselmärkning vid starkströmsanläggning"
- ELSÄK-FS 2008:3 "Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om innehavarens kontroll av elektriska starkströmsanläggning och elektriska anordningar"
- ELSÄK-FS 2006:1 "Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om elsäkerhet vid arbete i yrkesmässig verksamhet"

Underliggande ovanstående föreskrifter gäller svenska och/eller internationella standarder t ex;

- SS 421 01 01 utgåva 2- Högsämningsinstallationer (> 1 kV)
- SS 436 40 00 utgåva 2 - Elinstallationsreglerna utförande av elinstallationer för lågsämnning

Underliggande nivå under nationella eller internationella standarder är olika typer av branschstandarder.

Den i elsäkerhetssammanhang tidigare ofta åberopade "Blåboken" är idag ersatt av ovanstående föreskrifter och standarder. "Blåboken:s" Punkten 821, anläggningar med katodiskt skydd är ersatt av nedanstående standarder.

Följande standarder behandlar läckströmmar:

- SS-EN 50162 - Skydd mot korrosion förorsakad av läckströmmar från likströms-anläggningar
- SS-EN 50122-2 - Åtgärder för begränsning av läckströmmar från bananläggningar

### 16.3 Risk för överspänningar

Överspänningar kan uppträda på stålrör i förhållande till jord, på jordförlagda rörledningar av stål med skyddsbeläggning (coating) som är isolerande i förhållande till marken, förutsatt att stålröret inte är jordat. Jord i detta sammanhang är moder jord, lokala markområden, elektriska jorden eller jordade anläggningsdelar. Rörledningen med sin skyddsbeläggning kan betraktas som en isolerad "kabel" i marken, där stålröret är den elektriska ledaren och beläggningen är isoleringen. Om den isolerade rörledningen befinner sig i närområden (upp till några km) till kraftledningar och transformatorstationer kan olika elektriska kopplingar (induktiv, kapacitiv och resistiv) orsaka överspänningar på rörledningen om det inte finns någon begränsning (skydd) för dessa överspänningar som kan uppträda. Dessa överspänningar är normalt kortvariga (delar av en sekund) t ex vid jordfel på en högspänningskraftledning. Även om de är kortvariga kan de vida överstiga nivåerna för beröringsfarlig spänning och därmed också utgöra en risk för personal som vid arbete kommer i kontakt med den isolerade rörledningens ledande delar.

Urladdningarna vid åska kan orsaka stora strömmar (50 – 100 kA) och om dessa leds in i den isolerade rörledningen kan detta orsaka mycket höga överspänningar i förhållande till lokal jord (marken vid gasledningen). Överspänningen är beroende på isoleringens hållfasthet och strömbanans väg genom ledningen och åter till jord (moderjord). Eftersom dessa överspänningar på grund av den isolerade rörledningens isolationshållfasthet kan uppträda på stora avstånd från åsknedslaget utgör de också en risk för personal som vid arbete kommer i kontakt med den isolerade rörledningens ledande delar på andra platser än där åskströmmen leds in i rörledningen.

# VÄXELSTRÖMSPÅVERKAN PÅ NATURGASLEDNINGAR

Växelsströmsinstallationer som kraftledningar, elektrifierade järnvägar, ställverk med mera kan leda till att naturgasledningar i stål som finns i närheten tar skada. Vid höga spänningar kan allvarliga personskador uppkomma vid beröring av gasledningen. Allvarliga korrosionsangrepp på gasledningarna kan dock observeras redan vid måttligt höga spänningar.

Den här handboken beskriver hur man på olika sätt kan minska farligt höga växelspanningsnivåer i rörledningen till ofarliga nivåer. Den vänder sig till projektörer, till ägare och förvaltare av gasledningar och till intresserade entreprenörer och konsultbolag.

## Ett nytt steg i energiforskningen

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