

KORROSION I NYA NÄTSTATIONER

RAPPORT 2015:167



ELNÄT



Korrosion i nya nätstationer

MÄRIT FORSSANDER

ISBN 978-91-7673-167-3 | © 2015 ENERGIFORSK

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

Förord

Rapporten 2015:167 är resultatet av ett projekt i det samlade ramprogrammet för Underhåll, diagnostik och reinvesteringsstrategi som startade 2010.

Målsättning med ramprogrammet är att:

- *identifiera utvecklingsinsatser för det strategiska reinvesterings- och underhållsarbetet som kan leda till förbättrad nätekonomi, samt att medverka till att dessa genomförs*
- *öka kunskapen om nya möjligheter med diagnostiska metoder för underhåll av elnät*
- *skapa möjligheter till att förbättra underhållets styrning och planering*
- *sprida kunskap med syfte att höja kompetensnivån inom området*
- *vara en brygga mellan högskoleforskningens resultat och branschens möjliga applikationer*

Prioriteringar inom programmet har gjort att måluppfyllelsen är mycket god vad beträffar kortsiktiga och handgripliga projekt, men svagare vad beträffar långsiktiga frågor och managementfrågor. Reinvesteringsstrategier liksom reservdelshållning saknas i projektportföljen.

De finansierande företagen i ramprogrammet är följande:

Svenska Kraftnät	Jönköping Energi Nät AB
Vattenfall Eldistribution AB	Gävle Energi AB
E.ON Elnät Sverige AB	Eskilstuna Energi & Miljö AB
Fortum Distribution	Sundsvall Elnät AB
ABB AB	Borås Elnät AB
Göteborgs Energi AB	Växjö Energi Elnät AB
Skellefteå Kraft Elnät AB	Borlänge Energi AB
Jämtkraft Elnät AB	Pite Energi AB
Umeå Energi Elnät AB	Mälarenergi Elnät AB

Ramprogrammets styrgrupp består för närvarande av följande personer:

- Hans-Erik Carlsson E.ON Elnät Sverige AB, ordförande
- Rikard Persson Svenska Kraftnät
- David Håkansson Borås Elnät AB
- Mats-Erik Jansson, Jämtkraft Elnät AB
- Torbjörn Jernström Vattenfall Eldistribution AB
- Catarina Naucler, Fortum Distribution
- Ferruccio Vuinovich, Göteborgs Energi Nät AB
- Örjan Kvist, Växjö Energi Elnät AB
- Robert Saers ABB Power Transformers
- Reyna Lind, Sundsvall Elnät AB
- Johan Fält, Mälarenergi Elnät AB
- Sven Jansson Energiforsk AB, programansvarig

Sammanfattning

Höljet till nätstationer består av metall, oftast nersänkt i jord, och är därför utsatt för korrosion. Själva korrosionshastigheten beror på en rad olika faktorer där våttiden är den största. Stationerna är också utsatta för galvanisk korrosion som kan öka korrosionshastigheten ytterligare. För att minska korrosionshastigheten måste man minska våttiden. Bästa sättet är att bygga stationen på en betongplatta ovan mark. Om inte detta är möjligt bör man tänka på att stationen ska placeras högt i väl-dränerad mark. Tillfört grus och sand ska vara rent från föroreningar. Om stationerna målas måste man kontrollera att det inte finns några skador i färgen eftersom korrosionshastigheten kan bli mycket hög i skadorna på grund av galvanisk korrosion.

Efter att ha uppmärksammat korrosionsangrepp på nyare nätstationer besöktes 25 nätstationer med olika åldrar utplacerade över Sverige. Utgående från dessa stationer kan man se att korrosionshastigheten är högre på de nya stationerna än på de äldre. Nya nätstationer på betongplatta ovan mark uppvisar nästan ingen korrosion.

Summary

The housing of the substations consist of metal, often submerged in soil, and are therefore subject to corrosion. The actual corrosion rate depends on a number of factors which wet time is the greatest. The stations are also exposed to galvanic corrosion that can increase the corrosion rate further. To reduce the corrosion rate wet time must be reduced. The best way is to build station to a plate above ground. If this is not possible, one should keep in mind that the station should be placed high in well-drained soil. Processed gravel and sand should be free of contaminants. If the stations are painted, make sure that there is no damage in the paint because the corrosion rate can be very high in damages caused by galvanic corrosion with unfavourable area of the anode compared to the cathode.

After having drawn attention to corrosion attack on newer network stations 25 substations with different ages deployed across Sweden was visited. Based on these stations can be seen that the corrosion rate is higher at the new stations than on the older. New substations on the concrete slab above ground exhibits almost no corrosion.

Innehåll

1	Bakgrund	7
2	Mål	8
3	Syfte	9
4	Utförande	10
5	Resultat och slutsatser	12
6	Diskussion och slutsatser	17
7	Korrosionsskyddsmetoder	21
7.1	Varmförzinkning	21
7.1.1	Varmförzinkning med mikrolegeringsämnen (vanlig varmförzinkning)	21
7.1.2	Varmförzinkning med makrolegeringsämnen (Aluzink®)	21
7.2	Målning med rostskyddsfärg	22
7.3	Katodiskt korrosionsskydd	23
8	Sammanfattande slutsatser	25
9	Rekommendationer	26
10	Referenser	27
Bilaga Fotografier		

1 Bakgrund

Korrosion i nätstationer är ett problem som varit känt sedan lång tid tillbaka. Tidigare har detta drabbat äldre stationer i utsatta lägen men på senare tid har även relativt nya stationer fått avsevärda korrosionsangrepp. För att minska korrosionsangreppen i framtiden måste orsaken utredas.

2 Mål

Målet med undersökningen är att öka kunskapen så att LCC (livscykelkostnaden) minskar för nätstationerna.

3 Syfte

Syftet med studien är att utreda orsaken till korrosionsangrepp på nätstationer samt föreslå åtgärder för att minska korrosionen. Detta leder till ett verktyg till inköpare av

4 Utförande

Nätstationer har besökts i oktober/november 2014 i fält enligt tabell 1. Nummer 1-6 hade valts ut av Peder Nordin, Övik Energi. Nummer 7-14 hade valts ut av Peter Niklasson, E.ON. Elnät Sverige AB. Nummer 15-25 hade valts ut av Andy Karlsson, Österlens Kraft AB. Man hade valt ut nätstationer man visste hade korroderat och även referensobjekt som skulle vara i bra skick. Dessutom besöktes även nätstationer spontant vid besöken i mån av tid.

Tabell 1 Besökta nätstationer

Nummer	Ägare	Objekt	Installationsår	Leverantör
1	Övik energi	T255 Lakasund	2007	Norrmontage
2	Övik energi	T235 Strömsön	2009	Norrmontage
3	Övik energi	T228 Lakasund södra	2007	Norrmontage
4	Övik energi	T266-Pråmdalen	1991	Norrmontage
5	Övik energi	T195 Vallahallav	2007	Norrmontage
6	Övik energi	T186- Vallahallav	2004	Holtab
7	E.ON	N118016 Grevaryd S	2007	Holtab
8	E.ON	N117519	2007	Holtab
9	E.ON	N129141 Fräjen	2007	KL Industri AB
10	E.ON	N129170 Ramsås	2008	Holtab
11	E.ON	N129175 Holma	2007	Holtab
12	E.ON	N140454	2012	Holtab
13	E.ON	MHA-076 Torpsbruks södra	Ca 1975	Holtab
14	E.ON	T6047 Ullman	1988	Holtab
15	Simrishamns energi	T102 Stärkan	1986	Combi Malmö Lomma
16	Simrishamn energi	T065 S Mellby	2011	Holtab
17	Simrishamn energi	T068	2009	Holtab
18	Simrishamn energi	T071	1996	Holtab
19	Simrishamn energi	T064	2013	KL Industri AB
20	Simrishamn energi	T096	2012	KL Industri AB
21	Simrishamn energi	T050	2010	Holtab
22	Simrishamn energi	T047 Marknadsfältet	1992	Combi Malmö Lomma

Nummer	Ägare	Objekt	Installationsår	Leverantör
23	Simrishamn energi	T104 inne i Kivik	1987	Combi Malmö Lomma
24	Simrishamn energi	T13	1997	Holtab
25	Simrishamn energi	T65 (står på gård)	2011	Holtab

Varje station som besöktes inspekterades visuellt avseende på korrosionsskydd, eventuell korrosion, placering, dränering och konstruktion ur korrosionssynpunkt.

På några mättes den elektrokemiska potentialen. På några ställen mättes jordresistiviteten. Denna mättes utanför stationen med Wenners fyrpinnelektrodmeter (1). Metoden möjliggör mätning av jordens resistivitet på olika djup.

På flertalet stationer mättes korrosionsskyddets skiktjocklek samt notering gjordes om troligt korrosionsskydd. Skiktjockleken mättes på insidan av nätstationen nära marken där det gick att komma åt.

Utseendet fotograferades när vädret tillät.

En nätstationstillverkare besöktes.

5 Resultat och slutsatser

Nätstationerna är utsatta för korrosionsangrepp i varierande grad, främst i mark, men även i atmosfären. En sammanställning av detta ses i tabell 2.

Tabell 2 Sammanställande resultat av undersökta nätstationer

Nr	In-stallationsår	Korrosions-skydd invändigt markdel	Uppmätt skikt-tjocklek markdel (µm)	Uppmätt jordresistivitet (Ωm)	Uppskattat markförhållande	Potential (mV) mot koppar/kopparsulfat-referens	Utseende
1	2007	Aluzink	Ca 20	0,5m:1706 1,0m:1715 1,5m:1231 Marken är fuktig	Skog, uppbyggt, sand invändigt, grus och hummus utvändigt	Ca -600 mV Jordningslina och plåt har samma potential	Mkt korroderat, främst i markbandet men korrosion även uppåt väggarna, det fanns ej angripna plåtar bredvid angripna plåtar, se foto 1
2	2009	Aluzink		1,0m:122	Åker, ej uppbyggt, sand invändigt, grus och jord utvändigt, tidvis står det vatten inne i skåpet (LS) ca 1 dm ovan markytan	-284 Jordningslina och plåt har samma potential	Angripet i markbandet
3	2007	Aluzink	Ca 20	41 000	skog, något högre än omgivningen, sand inne, grus, hummus utanför	-798	Något angripet i markbandet
4	1991	Aluzink	Ca 20		I sluttning bredvid väg, dräneras nog väl, sand inne, grus utanför		Ingen korrosion
5	2007	Aluzink	Ca 20		Bredvid väg, sluttning ovanför, sand inne, gräs/grus utanför		Relativt mycket korrosions-angrepp i markbandet och något ovanför
6	2004	Aluzink och målning	Ca 50		Bredvid väg, något högre, sand inne, grus/gräs utanför		Ingen korrosion
7	2007	Målad och aluzink			Torrt, relativt väl-dränerat runt om, skog	-509	Mycket lite rostgenomslag längst ner i färgen. Kopparlinan isolerad ca 20 meter
8	2007	Målad och aluzink	Plåt som är ihopsvetsad med		Skog, kan nog stå vatten ibland	Ca -500	Tydlig rand av korrosion längst ner mot marken, se

Nr	In-stallationsår	Korrosions-skydd invändigt markdel	Uppmätt skikt-tjocklek markdel (μm)	Uppmätt jordresistivitet (Ωm)	Uppskattat markförhållande	Potential (mV) mot koppar/kopparsulfat-referens	Utseende
			fundament: 70-110. Annan plåt mot mark: ca 50				foto 2, kopparlinan troligen isolerad ca 20 meter, grävning på utsidan visar också korrosion i mark
9	2007	Betongfundament, blandning av aluzink och målad plåt			Uppbyggd på Betongfundament ovan mark		Lite korrosion i kanten mellan aluzink och Betong, ingen korrosion, se foto 3
10	2008	Målad och aluzink		500	Står relativt lågt	-369	Mycket lite korrosion i ett hörn mot marken vid uppvikt plåt, se foto 4
11	2007	Målad och aluzink			Står relativt högt	-535	Korrosion inne i skåpet där det är sand, ingen korrosion där det är grus
12	2012	Målad och aluzink	95-150		Upphöjd	-692	Bubblor i färgen längst ner mot mark, speciellt där kabelsanden ligger mot plåten
13	1970-talet	?			Betongfundament		Ingen korrosion
14	Ca 1990	Aluzink			Står lågt, har stått vatten ca 30 cm inne		Korrosion i markbandet invändigt
15	1980-talet	Målat och aluzink?	Ca 20		Relativt lågt inne i samhälle, sand inne, jord utanför		Lite korrosion längst ner under markytan. Dörrar inne i transformatordelen mycket korroderade i ventilationshålen.
16	2011	Målad och aluzink	100-200		Relativt lågt, i sluttning, det har stått vatten ca 15 cm upp		Tydlig korrosion i underkant där det ligger sand emot.
17	2009	Målat och aluzink	70-80		Vid åker, sand inne, grus utanför		Korrosion i marken, bubblor i färgen ovanför mark
18	1996	Målad och aluzink	Ca 50		Uppbyggd, i skogsbacke, sand inne, grus utanför	-527	Ingen korrosion invändigt, korrosion i mark utvändigt, se foto 5

Nr	In-stallationsår	Korrosions-skydd invändigt markdel	Uppmätt skikt-tjocklek markdel (μm)	Uppmätt jordresistivitet (Ωm)	Uppskattat markförhållande	Potential (mV) mot koppar/kopparsulfat-referens	Utseende
19	2013	Betong, lite plåt mot mark på utsidan			Vid åker		Ingen korrosion
20	2012	Betong	Ca 25		Åker, relativt lågt		Ingen korrosion förutom rostiga popnitar
21	2010	Målat och aluzink	Ca 100		Det har stått vatten invändigt		Lite rost i nederkant mot mark, lite bubblor i färgen i nederkant
22	1992	Målat och aluzink?			Gräsmatta, ej uppbyggt, sand inne, jord ute		Mycket korrosion i markbandet, mycket korrosion i ventilationshålen
23	Ca 1990	Målat och aluzink?			Gräsmatta och asfalt, 50 m från havet, ej uppbyggt		Lite korrosion i markbandet
24	1997	Målat grått och svart och aluzink	Ca 60	100	Mycket lågt i sumpmark, det står vatten invändigt		Lite korrosion, där grå färg är borta syns svart färg
25	gammal	Målat grått och svart och aluzink	150				Har korroderat längst ner på utsidan, inget på insidan, se foto 6-8

Resultatet visar

- att nätstationerna är utsatta för galvanisk korrosion från jordningslinan av koppar
- att nätstationer som står på betongfundament inte har korroderat (förutom plåtkanter)
- de yngre nätstationerna har högre korrosionshastighet än de äldre. Detta redovisas även i tabell 3 där korrosionsangreppen uppskattats i siffror från 0 till 4, här kallat korrosionsgrad. 0 innebär ingen synlig korrosion, 1 innebär synlig korrosion i mindre omfattning, 2, 3 och 4 innebär synlig korrosion i ökande omfattning. Resultatet redovisas även i diagram 1 men där har inte betongfundamenten redovisats.

Tabell 3 Nätstationernas ålder mot korrosionsgrad.

Nummer	Ålder	Leverantör	Korrosionsskydd invändigt	Korrosion
1	7	Norrmontage	Aluzink	4
2	5	Norrmontage	Aluzink	2
3	7	Norrmontage	Aluzink	1
4	23	Norrmontage	Aluzink	1
5	7	Norrmontage	Aluzink	4
6	10	Holtab	Aluzink + färg	0
7	7	Holtab	Aluzink + färg	2
8	7	Holtab	Aluzink + färg	3
9	7	KL Industri AB	Betongfundament	0 (plåtkanter 2)
10	6	Holtab	Aluzink + färg	0
11	7	Holtab	Aluzink + färg	2
12	2	Holtab	Aluzink + färg	2
13	Ca 39	Holtab	Betongfundament	0
14	26	Holtab	Aluzink	2
15	28	Combi Malmö Lomma	Aluzink? + färg	2
16	3	Holtab	Aluzink + färg	2
17	5	Holtab	Aluzink + färg	3
18	18	Holtab tillverkningsnummer 8172	Aluzink + färg	0
19	1	KL Industri AB	Betongfundament	0
20	2	KL Industri AB	Betongfundament	0 (rostiga popnitar)
21	4	Holtab	Aluzink + färg	1
22	22	Combi Malmö Lomma	Aluzink? + färg	4
23	27	Combi Malmö Lomma	Aluzink? + färg	2
24	17	Holtab	Aluzink + färg	1
25	Gammal/ur drift. Uppskattad ålder 25 år	Holtab	Aluzink + färg	4 utsida i mark, 0 insida

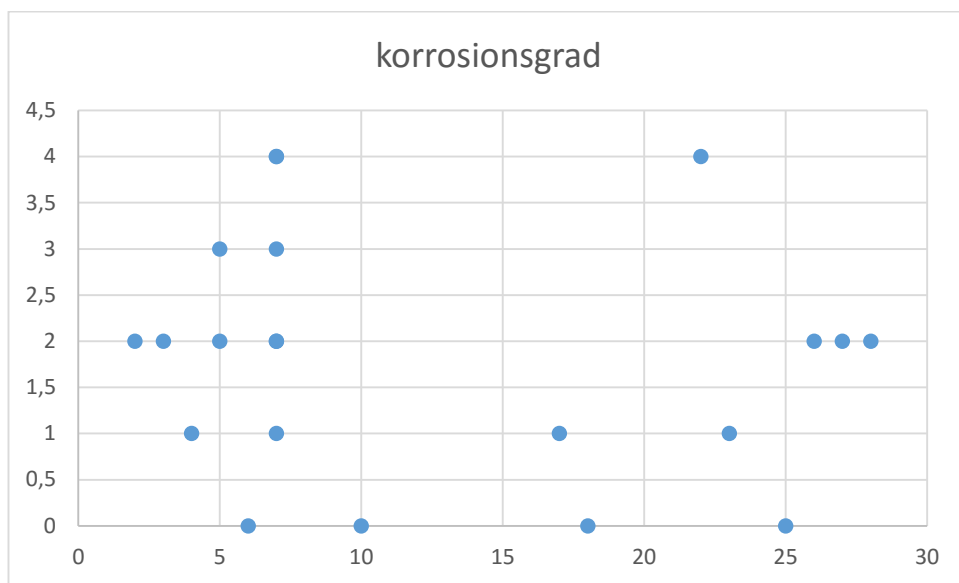


Diagram 1 Nätstationsålder (horisontell axel) mot uppskattad korrosionsgrad (vertikal axel) på insida av skåpen.

Diagrammet visar tydligt att de undersökta nätstationerna uppvisar en ökad korrosionshastighet med sjunkande ålder, se även diskussion och slutsatser.

6 Diskussion och slutsatser

De undersökta stationerna är inte slumpvis uttagna vilket naturligtvis kan påverka resultatet. Ju fler stationer som hade granskats desto större säkerhet av resultatet hade erhållits. Det är också en ganska grov uppskattning av korrosionsgrad. En vetenskaplig undersökning hade krävt inspektion av korrosionsangreppen på laboratorium. Man hade kunnat montera provkupper i nätstationerna och tagit in dem för underökning efter ett år, men korrosionsangreppen var ojämnt utspridda i nätstationerna och därför hade även ett sådant förfaringssätt kunnat innebära fel slutsatser.

Vid mätning av skiktjocklek kalibrerades mot folie med tjockleken 120 μm . Kalibreringskurvan är dock inte helt linjär vilket medför att vid så låga värden som 20 μm kan felet i mätvärdet ligga på $\pm 5 \mu\text{m}$. Enligt tillverkarna ska skiktjockleken på Aluzink® vara 25 μm vilket således säkert stämmer.

För att elektrokemisk korrosion ska uppstå krävs en metall, en elektrolyt och syre. Detta finns periodvis i nätstationerna och därför ska korrosion uppstå. Korrosionshastigheten beror däremot på en lång rad faktorer varav de viktigaste i aktuellt fall är:

- våttid
- syretillförsel
- temperatur
- pH
- resistans i korrosionscellen
- övrigt som kan påverka

Det kan finnas synergistiska effekter. Om två olika förhållanden som var och en ökar korrosionen måttligt finns närvarande samtidigt kan korrosionshastigheten öka betydligt mer än förväntat.

Våttid

Den tid då fukthalten är så stor på en metall att korrosion kan ske kallas våttid. Utomhus infaller den normalt när relativa luftfuktigheten är minst 80% och temperaturen är över 0°C. (3)

Skåp och kapslingar som är otäta och är utsatta för utomhusklimatets temperaturväxlingar har stor tendens att samla vatten. Det ökar våttiden. Ju högre temperatur luften har, desto mer fukt kan den innehålla utan att det kondenserar ut på kalla ytor. När temperaturen höjs på dagen genom bland annat solens inverkan kan det då bli relativt mycket fukt i luften inne i stationerna. När sedan temperaturen faller kan inte luften hålla fukten utan den kommer att kondensera på kalla ytor vilket då främst blir längst ner på plåten nära markytan där marken kyler ner plåten. Detta kan även ske på dagen när den varma, fuktiga luften når markområdet som ofta är betydligt kallare.

Plåt i kontakt med jord kan hålla fuktigheten längre än en bar plåt. Detta beror på att vid uppvärmning av luften torkar den bara plåten fortare. Därför kan man förvänta sig att korrosionen är störst i marken ~~men~~ högt upp nära ytan där syretillförseln är störst. Men här blir också våttiden kortast då det kommer att torka snabbast nära markytan.

Våttiden i en väl dränerad mark kommer naturligtvis att vara kortare än våttiden i mark som inte är väl dränerad. Regnvatten och kondensvatten kommer att dräneras bort fortare i väl dränerad mark.

Grundvattnets läge varierar under året och mellan år och ibland kan det vara så lågt att stationen står över grundvattennivån. Detta förhållande ska man sträva efter vid byggande och installation. Ibland kan nätstationen stå så lågt att grundvattnet eller annat vatten som strömmar ner tränger in i skåpet. Detta kunde ses i flera fall vilket dock inte behöver betyda att skåpet korroderar om någon annan viktig parameter överväger t.ex. att vattnet är mycket högresistivt. Om man gräver en grop kommer en grundvattenyta att ses distinkt på en nivå. Men i jord övergår grundvattnet successivt från att jorden är helt vattenmättad (alla porer och hålrum i jordmassan är fyllda med vatten) till att det inte finns något vatten i de då luftfyllda porerna och hålrummen. Det finns undersökningar som visat att när det är ca 30-40% vatten i porer och hålrum är korrosionshastigheten högst (4).

I ebr handbok från 1999 (7) står om nät- och kabelskåp att dessa bör isoleras mot mark för att avhjälpa kondensproblem.

Syretillförsel

Som tidigare nämnts krävs förutom elektrolyt även syretillförsel för att korrosion ska uppstå. Ovanför markytan är tillgången oändlig i ett öppet system. Ju längre ner i jorden desto sämre är tillgången till syre. Därför kan man se fall med hög grundvattennivå med hög korrosionshastighet i markytan medan konstruktionen är intakt längre ner. I en väl dränerad jord kan syretillförseln genom porer och luftfickor vara hög ner till lägre områden och därför är syretillförseln hög i väl dränerad jord (ovan grundvattennivån), men det är torrare.

Temperatur

Eftersom korrosion är en elektrokemisk process där kemisk står för att det sker en kemisk reaktion ökar korrosionen med ökad temperatur. Kemiska reaktioner ökar exponentiellt med ökad temperatur vilket innebär att ökningen blir större ju högre temperaturen är. Korrosion i jord av kraftledningsstolpar med samma ålder och samma korrosionsskydd men placerade i olika delar av Sverige uppvisar stora variationer i korrosionshastighet. Ju längre norrut i landet stolparna är placerade desto lägre är korrosionshastigheten om stolparna i övrigt står i likvärdig jord.

pH

Jordfuktighetens pH-värde påverkar korrosionshastigheten. Vid pH-värden under 4, vilket innebär att jorden är sur, kan korrosionshastigheten öka. Låga pH-värden kan förekomma i vissa jordar, till exempel torv eller oxiderande sulfidjordar. Vid låga pH-värden motverkas på zink bildandet av det täta oxidlager som hindrar fortsatt korrosion. Vid neutrala pH-värden bestäms korrosionshastigheten av andra faktorer.

Resistans i korrosionscellen

Eftersom korrosion sker i korrosionsceller ska elektroner och joner transporteras mellan olika delar i konstruktionen. Om resistansen i kretsen är låg kommer korrosionshastigheten då naturligt att kunna bli hög. Resistansen i jord uttrycks i värden på jordresistivitet. Resistiviteten är beroende av olika faktorer där fuktighet är den viktigaste komponenten. En jord utan fukt har nästan oändlig resistivitet med

förväntad låg korrosionshastighet. Men även om det finns mycket vatten i jorden spelar innehållet i vattnet stor roll.

Om det finns t.ex. klorider i vattnet (kan komma utifrån eller finnas i sanden i enstaka fall) så ökar koncentrationen av dessa när vattnet torkar upp och det kan bli mycket aggressivt tills det torkat helt. Klorider är hygroskopiska och drar åt sig vatten vilket ökar våttiden. Klorider kan också tränga genom oxidskiktet som finns på ytan och som skyddar mot korrosion. Klorider finns i havet, i vägsalt och i kalciumklorid som man saltar vägar med på sommaren för att förhindra dammbildning. Även låga halter kan vara avgörande.

Grus och sand har normalt hög resistivitet. Med gruset/sanden kan det finnas ämnen som sänker resistiviteten. Det är därför mycket viktigt att gruset/sanden som används vid installation av nätstationer inte kommer från material från vägar som saltats t.ex. Hur detta ska garanteras kan enbart göras genom att man antingen litar på entreprenören som då måste förstå hur viktigt det är så att rätt material används eller att man utför analyser. De föroreningar som kan påverka korrosionshastigheten är oftast vattenlösliga och därför kan man tänka sej en metod där man tar ut stickprov och tvättar med viss mängd vatten och därefter mäter konduktiviteten. Det finns fältmetoder för detta men viss utveckling krävs för att ta fram en metodbeskrivning. Inom området rostskyddsmålning har en standardmetod tagits fram som säger vilken konduktivitet ett prov från vätning av yta som ska målas får ha. Man kan ta fram en liknande metod för grus/sand. Detta förfarande skulle också visa om materialet i sig är lämpligt att använda eller ej.

Övrigt som kan påverka korrosionshastigheten i nätstationer

Galvanisk korrosion

Om det finns två olika metaller ihopkopplade elektriskt i samma elektrolyt uppstår galvanisk korrosion varvid den minst ädla metallen offerar sig och metallens korrosionshastighet ökar medan den mest ädla metallen skyddas och dess korrosionshastighet minskar. Samtliga nätstationer som granskats har kopparjordning i direkt elektrisk kontakt med plåten. (Några mindre plåtar i skåpen är undantagna) I vissa fall har kopparjordningen isolering runt jordlinan, upp till 20 meter från nätstationen. Detta behöver inte påverka korrosionshastigheten nämnvärt eftersom där isoleringen slutar är kopparn exponerad för jorden (elektrolyten). Den hastighet med vilken den galvaniska korrosionen går bestäms av de olika resistanserna i kretsen. Dessa kan delas in enligt följande:

- resistans i metallerna
- övergångsresistanser mellan olika metaller
- övergångsresistanser mellan metaller och jord samt
- resistansen i jorden.

Av dessa är normalt resistans i jord och övergångsresistenser mellan metall och jord störst.

Den metall som korroderar i den galvaniska cellen kallas anod och den metall som skyddas kallas katod. En viktig faktor som påverkar korrosionshastigheten är areaförhållandet mellan anod och katod. Ju större katoden är i förhållande till anoden desto högre kan korrosionshastigheten bli under i övrigt samma förhållande (resistivitet i jorden och temperatur). Detta innebär att när man målar en nätstation så blir anoden först isolerad och skyddas. Men om det uppstår skador eller porer i färgen

blir arean på den exponerade anodytan liten i förhållande till katodytan vilket leder till ökad korrosionshastighet på det blottade stålet i skadan/poren. Om förhållandena är ogynnsamma kan det till och med gå hål i plåten, vilket naturligtvis inte är bra under transformatorn även om det enbart är av estetisk betydelse på andra ställen. Galvanisk korrosion kan dock normalt inte uppstå ovan mark, i luft. Ett specialfall kan uppstå om det finns en fuktfilm på stålet nära marken, om denna film är tillräckligt tät och tjock så att joner kan vandra i filmen kan det teoretiskt uppstå galvanisk korrosion på stålet i luft nära marken.

På foto 1 kan man se att det finns en plåtbit i hörnet som bara har korroderat på den horisontella delen som ligger mot marken. Högre upp är den intakt medan den bakre plåten till höger (och även till vänster) har betydligt större korrosionsangrepp. Skillnaden är troligen beroende på att de bakre plåtarna är utsatta för både jordkorrosion och galvanisk korrosion. Plåten med endast lite korrosion har troligen inte så mycket kontakt med övrig plåt att elektroner kan vandra mellan plåtarna. Denna plåt är således inte i kontakt med jordning och således inte utsatt för galvanisk korrosion. Denna konstruktion har bekräftats av tillverkaren.

Syrekonzentrationscell

Ett annat korrosionsangrepp som kan uppstå i nätstationerna är om en syrekonzentrationscell uppstår. Denna uppstår om syrekonzentrationsen är olika vid olika delar på samma metall. Den totala syrekonzentrationsen kan vara låg, men det är skillnaden som ger den drivande kraften för korrosionen. Om till exempel jorden vid plåtarna inte är homogen kan syrekonzentrationsceller uppstå. Det blir då lägst syrehalt där jorden är som tätast och det uppstår korrosion där syrehalten är lägst. På samma sätt kan korrosionen lokalt bli högre under nätstationen där det trots totalt låg syrekonzentrationsen ändå uppstår områden med olika halter av syre. Där halten är lägst uppstår då korrosion medan syret tas upp i en katodreaktion som lokalt skyddar stålet. Katoden måste dock ha kontakt med luft antingen direkt eller via luftfyllda och/eller delvis vattenfyllda porer i jorden.

Glimmning

Ett nämnt specialfall är att det kan uppstå glimmning i nätstationen på grund av elektriska urladdningar. Dessa urladdningar har hög energi och kan därför påverka luftmolekyler. Ett känt fenomen är att syret i luften ombildas till ozon vilken främst bidrar till ökad nedbrytning av plast, gummi, färg och andra organiska material (2). Ozonet med sin höga energi borde även kunna påverka andra material. Vid urladdningar spjälkas även kväve i luften upp och finns det närvaro av vatten bildas då salpetersyra vilken är mycket aggressiv mot metaller.

7 Korrosionsskyddsmetoder

De korrosionsskyddsmetoder som kan vara aktuella för nätstationerna är följande:

- varmförzinkning
- målning med rostskyddsfärg
- katodiskt skydd.

Metoderna kan kombineras.

7.1 VARMFÖRZINKNING

7.1.1 Varmförzinkning med mikrolegeringsämnen (vanlig varmförzinkning)

Vid varmförzinkning bildas en legering av grundmaterialets järn och zink. Varmförzinkning av tunnplåt sker kontinuerligt och mikrolegeringsämnet är ofta 0,2% aluminium. Erforderlig zinktjocklek enligt standard SS-EN ISO 1461 är 55 µm för godstjocklek mellan 1,5 och 3 mm. Eftersom zink är mindre ädelt än grundmaterialet järn kommer visst skydd att ges av zinken vid skador. Erfarenhetsmässigt finns detta skydd ut till ca 1 mm från zinkkanten. Korrosionshastigheten på zink exponerat för atmosfär ges i tabell 4.

Tabell 4 Avfrättningsvärden för zink vid långtidsexponering vid olika korrosivitetsklasser.

Korrosivitetsklass (SS-EN ISO 12944-2)	Korrosion på zink vid långtidsexponering, m (µm/år)
C1	$m \leq 0,1$
C2	$0,1 < m \leq 0,7$
C3	$0,7 < m \leq 2,1$
C4	$2,1 < m \leq 4,2$
C5	$4,2 < m \leq 8,4$

För stål med tjocklek mellan 1,5 och 3 mm och som har 55 µm zink blir då beräknad minimal tid till rostbildning mellan 6 och 550 år beroende på den lokala atmosfärens korrosivitet. I Norrlands inland kan det vara en korrosivitetsklass lika med C2 medan den i nära kustområden i södra Sverige kan vara C4 där rostgenomslag kan ske efter 13 år. I Norrlands inland kan det bli rostgenomslag efter tidigast 78 år.

För konstruktioner exponerade för jord rekommenderas ett zinkskikt på minst 200 µm. (8) Det är dock inte möjligt att få på så tjockt på så tunt material som nätstationerna består av.

7.1.2 Varmförzinkning med makrolegeringsämnen (Aluzink®)

När zinkbadet består av 43,4 vikts% zink, 55 vikts% aluminium och 1,6 vikts% kisel erhålls det som säljs under handelsnamnet Aluzink® eller Galvalume®. Det är samma process för båda handelsnamnen och stålverk kan få licens att tillverka enligt processen vilken ägs av Bethlehem Steel Co. Man får utgå från att kvaliteten undersöks

kontinuerligt både av tillverkande stålföretag och av Bethlehem Steel. Men självklart blir det lite olika kvaliteter beroende på hur skicklig man är på stålverket, men de korrosionsundersökningar som har lett till slutsatsen att Aluzink® är överlägsen varmförzinkat i luft skiljer inte på varifrån provplåten kommer. I ren lantatmosfär är Aluzink® överlägsen vanlig varmförzinkning. En amerikansk undersökning av exponering av 25 mikrometer tjock aluminium/zink/kisel legering som pågick under 20 år i olika korrosivitetsklasser visade att förväntad livslängd var 513 år för aluminium/zink/kisel legeringen i lantatmosfär medan den var 20 år för vanlig zinklegering(2). Skillnaden mellan förväntad livslängd mellan de båda legeringarna minskar ju mer aggressiv miljön är. Men i sträng havsatmosfär är förväntad livslängd 15 år för aluminium/zink/kisel legeringen medan den är 4 år för zinklegeringen. Korrosionsinstitutet utförde en undersökning av stål belagd med aluminium, zink och dess legeringar under 11 års exponering i jord (8). Slutsatsen var bland annat att man inte rekommenderar Aluzink® för exponering i jord, inte ens om man ökar skikt tjockleken från 20 till 25 mikrometer.

Observera att ingen av dessa undersökningar har lagt till effekten av galvanisk korrosion. Från omfattande verkliga undersökningar av varmförzinkade kraftledningsstolpars jordfundament med och utan kontakt med jordningslina av koppar har man sett att korrosionshastigheten kan öka markant om kontakt med koppar finns. (Ett 12 mm tjockt varmförzinkat stag rostade av helt på mindre än 2 år i ett fall). Varmförzinkningsskiktet var under 200 µm. Man kan förvänta sej samma effekt på aluzink det vill säga en betydande korrosionshastighetsökning vid galvanisk korrosion.

7.2 MÅLNING MED ROSTSKYDDSFÄRG

Rostskyddsmålning innebär att ett system av organiska produkter byggs upp som skyddar stålet från omgivande miljö. I ett organiskt rostskyddsmålningssystem ingår:

- förbehandling.
- grundmålning.
- eventuell mellanmålning.
- täckmålning.

Kravet på ett system som ska klara exponering för jord är följande:

- ytan måste vara lämpligt utformad för att systemet ska gå att applicera (ej skarpa kanter, spalter osv).
- förbehandlingen måste vara mycket noggrann, rengöring, sandblästring till minst Sa 2½.
- färgsystemet måste vara fritt från porer, vilket innebär tjocka skikt. För att åstadkomma detta måste rostskyddsmålningen utföras under kontrollerade förhållanden, rätt temperatur, fuktighet och man måste beakta tiderna för övermålningsbarhet och härdningstid. Samtliga dessa faktorer påverkar livslängden på systemet. Rätt utförd och med rätt produkter kan man förvänta sig livslängder på upp mot 40 år.

Färgsystemet hindrar korrosion på tre olika sätt:

- barriärverkan, där pigmenten ökar avståndet som vattnet måste ta för att nå stålytan. Vanligt pigment är järnoxid, men genom att byta detta till järnglimmerflak, aluminiumflak, glasfiber ökar avståndet.

- passiverande, inhiberande reagerar med stållytan och bildar passivskikt (zinkfosfat, blymönja)
- katodiskt skydd (zinketylsilikat, zinkrik epoxi)

Färgtyper delas in i:

- oxidativt torkande,
- fysikaliskt torkande och
- kemiskt härdande färger.

I korrosiv miljö bör kemiskt härdande färgsystem användas. Dessa kräver bland annat utbildning och läkarkontroller då det är en hårdplast. Väl på plats och uthärdad är färgen ofarlig.

Det finns flera olika produkter på marknaden där de flesta grundar sig på tvåkomponent epoxifärg som är kemiskt härdande och som ger en tät struktur i torrt skick.

Som tidigare nämnts kan lokalt mycket höga korrosionshastigheter uppstå om en nätstation är målad och får en skada i färgen. Detta beror då på att areaförhållandet mellan anod och katod blir ogynnsam. Men en bra, tät målning utan skador skyddar å andra sidan bättre än stål som t.ex. enbart är utförd i Aluzink®. För rotskyddsmålning i allmänhet användes tidigare färgsystem som verkade bäst ur teknisk synvinkel. På senare år har dock dessa fasats ut alltmer till förmån mot mer miljöanpassade färgsystem. Ur teknisk synvinkel är dessa oftast mindre bra än de tidigare systemen då de kräver mer vid målningstillfället. I dag har man dock lärt sej och målar man inomhus under kontrollerade förhållanden ska man kunna erhålla långa livslängder på färgsystemen. Som exempel kan nämnas att man förr målade kraftledningsstolpars jordfundament med både blymönja och stenkolsjära, två mycket giftiga färgtyper. Vid friläggning av dessa idag är de fortfarande intakta trots en ålder på upp till 80 år. Inte ens de som har blivit utsatta för galvanisk korrosion från kopparjordning i blöt jord med låg resistivitet uppvisar större korrosionsangrepp. Det finns undersökningar (2) som visar att Aluzink® har ca 12 gånger längre livslängd än ren varmförzinkning, även i korrosiv miljö. Men samma källa hänvisar till resultat som visar att om man målar Aluzink® respektive varmförzinkat uppvisar den målade Aluzink®- plåten större korrosionsangrepp än den målade varmförzinkade i marin miljö, speciellt i kanter.

7.3 KATODISKT KORROSIONSSKYDD

Rent teoretisk är en möjlig korrosionsskyddsmetod att installera katodiskt korrosionsskydd. Detta kan ske antingen genom galvaniskt katodiskt korrosionsskydd (med offeranod) eller elektrolytiskt katodiskt korrosionsskydd (med påtryckt ström). I praktiken är det dock svårt att genomföra metoden på ett bra sätt i de aktuella fallen. Principen för katodiskt skydd med offeranoder är enkel; man förbinder den konstruktion man vill skydda med en anod av mindre ädelt material, t.ex. zink, magnesium eller aluminium. I praktiken är det dock svårare för det faktiska katodiska skyddet måste anpassas för varje konstruktion och dess omgivning (resistiviteten i jorden får inte vara för hög t.ex.). I detta fall sitter ju också stålet och koppar ihop och då måste man skydda både och (fast kopparn drar väldigt lite skyddsström). Man kan installera katodiskt skydd som näranod eller fjärranod. Eftersom anoden har ett potentialgradientfält runt sej måste man se till att inga främmande konstruktioner påverkas negativt av detta. Detta undviks om man använder en fjärranod. Men då gäller det att marken inte har för hög resistivitet. Man kan läsa om detta i

Elforskrapport "Potential för skydd av den gömda metallen" (5). Eftersom nätstationerna är isolerade enheter så skulle det vara intressant att prova installation av katodiskt korrosionsskydd med fjärranod på något ställe. Man måste först göra en del beräkningar utifrån konstruktionsritningar och faktiska markförhållanden. Man kan också utföra en så kallad provpolarisering när man simulerar ett katodiskt skydd via en inert anod nerstucken i marken och som matas av ett bilbatteri. Därpå mäts skillnad i konstruktionens elektrokemiska potential före och efter skyddet har startats. Offeranoderna har en livslängd och måste bytas ut så småningom. Det är dock enkelt att mäta sig till när det behövs. Man kan heller inte skydda konstruktioner i luft för resistiviteten blir för hög. Man kan också installera elektrolytiskt katodiskt korrosionsskydd via en inert anod matad med likström. Den följer dock samma princip som ovan.

8 Sammanfattande slutsatser

Den aktuella konstruktionen ska korrodera, alla förutsättningar finns för det.

Materialet i denna undersökning leder till slutsatsen att det inte har skett i så stor omfattning på tidigare nätstationer vilket kan bero på att man var mer medveten om korrosionsrisken och därför såg till att bygga en upphöjning om marken ansågs korrosiv. På Vattenfall utfördes under många år jordanalyser på olika djup på samtliga ställen som kraftledningsstolpar skulle placeras på. Ibland innebar dessa mätningar att man flyttade på stolpplatsen. De kunde även innebära att korrosionsskydden anpassades till varje stolpe utifrån mätningarna. Man kunde också fylla stolpplatsen med sand så att resistiviteten ökade. Det fanns också personliga kvalitetsstämplar som stämplades av en kvalitetsansvarig byggledare efter varje installation. Om man var lika noggrann vid installation av nätstationer förr kan det vara en stor del av förklaringen, våttiderna minskades.

Det är också väl känt att organiska korrosionsskydd (rostskyddsmålning) förr främst bestämdes utifrån tekniska krav, de skulle hålla så länge som möjligt. Idag finns höga miljökrav på färgsystemen vilket kan innebära kortare livslängd. Detta har inte drabbat vanlig varmförzinkning och Aluzink®, vilka ofta är överlägsna målade ytor exponerade i luft. Att varmförzinka och sedan måla (så kallat duplexsystem) kan om det är bra utfört öka livslängden mer än varje skydd för sig ($1 + 1 = 3$). Här måste man dock igen uppmärksamma att skador i färgen kan lokalt öka korrosionshastigheten betydligt.

9 Rekommendationer

Med utgångspunkt från denna undersökning rekommenderas följande vid projektering av nya nätstationer för att minska korrosion i jord:

1. Om möjligt, bygg ett betongfundament så att nätstationen står förankrad ovan mark. Det ska då räcka att plåten är belagd med aluminium och zink (Aluzinc®, Galvalume®).
2. Om detta inte är möjligt bör en upphöjning byggas så att våttiden blir så kort som möjligt. Upphöjningen måste då bestå av material med hög resistivitet. Detta kan innebära att man måste tvätta materialet, då det kan följa med material som i vatten löser upp joner som minskar resistiviteten. Följ ebrs instruktioner. Man kan också undersöka markförhållanden på de platser man tänkt installera nätstationer. Detta görs då genom bland annat att bestämma jordresistiviteten på olika nivåer vilket också kan ge grundvattenytans läge. Detta måste utföras när grundvattenytan är så hög som möjligt, t.ex. efter en längre nederbördsperiod.
3. Teoretiskt rekommenderas att plåten även målas. Färgsystemet ska vara utprovat för den ur korrosionssynpunkt sämsta miljön och vara porfritt, se exempel i MAV (9). Ytorna, framför allt de som ska exponeras för mark, måste granskas vid installation så de inte är skadade, eftersom det vid skador uppstår galvanisk korrosion mellan plåt och jordlinor av koppar där anodytan blir liten i förhållande till katodytan vilket kan leda till mycket höga korrosionshastigheter.
4. Rent teoretisk kan man även installera katodiskt korrosionsskydd. Detta måste då anpassas så att även kopparjordningen skyddas. För att katodiskt korrosionsskydd ska lyckas måste dessutom jordresistiviteten vara tillräckligt låg, se vidare i handbok "Potential för den gömda metallen" (5) och "Katodiskt korrosionsskydd av kraftledningsstolpars jordfundament och stagförankringar" (6).
5. Om skåpet ska stå i korrosiv miljö och om dimensionerna på skruvar är så liten att dessa inte kan varmförzinkas bör de bytas till rostfria med isolering mot plåten.
6. Utred om det är möjligt ur säkerhetssynpunkt att isolera jordlinan från plåten med gnistgap.
7. Teoretiskt skulle det också vara möjligt att isolera enheten och värma upp den med värmeelement. Men då måste den också vara isolerad neråt, annars kommer kondensering att ske vid marknivån.

10 Referenser

- (1) Forssander, M., "Korrosion i jord av kraftledningsstolpar och –stag. Identifiering av riskstolpar. Fältmätmetoder", Elforsk rapport 99:43 Del 3, Februari 2000.
- (2) Igetoft, L., "Att konstruera för korrosiva miljöer", ABB, Västerås 2001.
- (3) Mattsson E., Kucera V., "Elektrokemi och korrosionslära", swerea KIMAB, Stockholm 2009.
- (4) Vinka, T-G., swereaKIMAB, personlig referens.
- (5) Forssander, M., Sandberg, B., "Potential för den gömda metallen", Elforskrapport 06:74, Stockholm 2007.
- (6) Sandberg, B., Forssander, M., "Katodiskt korrosionsskydd av kraftledningsstolpars jordfundament och stagförankringar", Elforskrapport 13:20, Stockholm 2013.
- (7) "Underhåll ledningar 0,4 - 420 kV", ebr 1999.
- (8) Johnsson, T., "Korrosionshårdigheten hos beläggningar av aluminium, zink och deras legeringar. Resultat av elva års exponering i jord" KI Rapport 1992:4, (swerea KIMAB)
- (9) Forssander, M., m fl, "Målningsanvisning för vattenkraftstationer", Elforskrapport 13:34, Stockholm 2013.

Bilaga Fotografier



Foto 1 Nummer 1. Mycket korrosion, "korrosionsgrad 4", i nedre hörnet. Nästan ingen korrosion på en plåt i hörnet.



Foto 2 Nummer 8. Lite korrosion, "korrosionsgrad 3".



Foto 3 Nummer 9. Betongfundament men med korrosion på obehandlade plåtkanter.



Foto 4 Nummer 10. Ingen korrosion.



Foto 5 Nummer 18. Ingen korrosion.



Foto 6 Nummer 25. Korrosion utsida på gammal station som tagits ur drift.

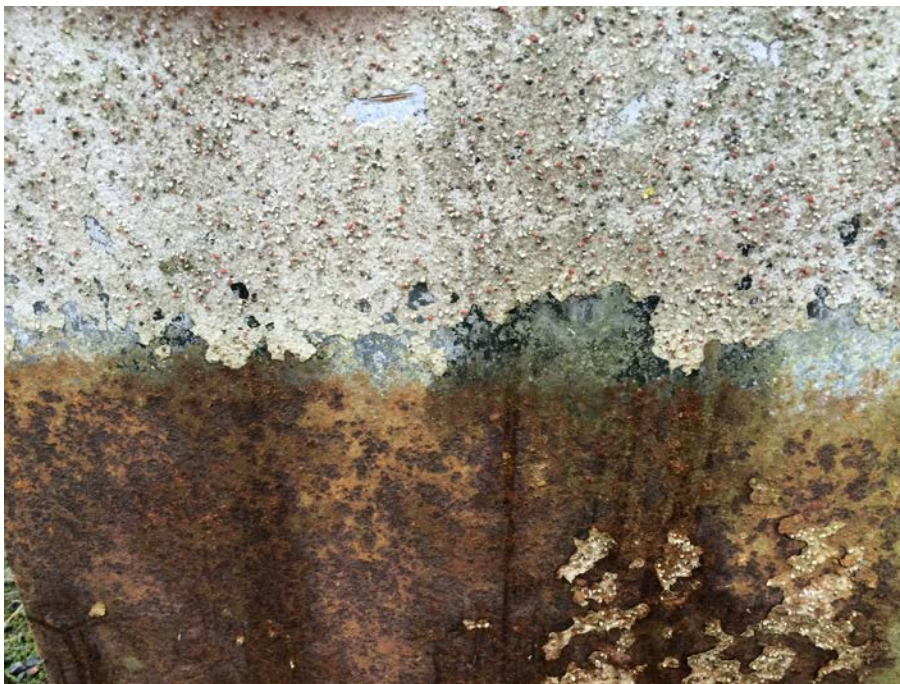


Foto 7 Nummer 25. Närbild på förra. Tydligt svart färg, troligen bitumen.



Foto 8 Nummer 25. Ingen korrosion på insidan trots hög ålder. Målad och tjärad.

KORROSION I NYA NÄTSTATIONER

Höljet till nätstationer består av metall, oftast nedsänkt i jord, vilket gör att det därför är utsatt för korrosion. Korrosionshastigheten beror på en rad olika faktorer där våttiden är den största. Stationerna är också utsatta för galvanisk korrosion som ökar korrosionshastigheten ytterligare.

Korrosionsangrepp har uppmärksammats på nya nätstationer. För att utreda orsaken har 25 nätstationer med olika åldrar på olika orter i Sverige undersökts i den här studien. Resultaten visar att korrosionshastigheten är högre på de nya stationerna än på de äldre. Detta kan bero på att det förr fanns en medvetenhet om korrosionsrisken och att man därför såg till att bygga en upphöjning om marken ansågs korrosiv.

Intressant är också att nya nätstationer på betongplatta ovan mark nästan inte alls är utsatta för korrosion.

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



Energiforsk