



Sammanställning av resultat i Underhållsprogrammet 2005 – 2010 projektnummer 3933

Elforsk rapport 10:98



Sven Jansson

november 2010

ELFORSK

Sammanställning av resultat i Underhållsprogrammet 2005 – 2010 projektnummer 3933

Elforsk rapport 10:98

Förord

Syftet med rapporten är att göra en sammanställning över de resultat som uppnåtts i Underhållsprogrammet under åren 2005 till 2010, samt redovisa respektive genomfört projekts sammanfattningar med hänvisning till utgiven rapport. Dessutom finns Utvärderingsrapporten med som ett eget avsnitt.

Rapporterna är projektresultat av det samlade ramprogrammet för Underhåll, Diagnostik och Reinvesteringsstrategi som startades under 2005. Programmet har pågått under tre år och har i maj 2008 förlängts med två år.

Målsättningen 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 underhålllets styrning och planering
- sprida kunskap med syfte att höja kompetensnivån inom området
- vara en brygga mellan högskoleforskningens resultat och branschens möjliga applikationer

Ramprogrammet syftar till att vara användarorienterat med tillämpade inriktningar. Avsikten är att resultaten i huvudsak skall kunna tillämpas direkt i verksamheten. De finansierande företagen i ramprogrammet är följande:

Vattenfall Eldistribution AB
E.ON Elnät Sverige AB
Svenska Kraftnät
Göteborg Energi AB
Fortum Distribution AB (2008-2010)
Mälarenergi Elnät AB
Jämtkraft Elnät AB
Öresundskraft AB (2005-2008)
Jönköping Energi Nät AB
Gävle Energi AB
Eskilstuna Energi & Miljö AB
Sundsvall Energi Elnät AB
Borås Energi Nät AB
Borlänge Energi AB
Mölnadal Energi Elnät AB
Energiverken i Halmstad Elnät AB
Nacka Energi AB

Ramprogrammets styrgrupp har bestått av följande personer:

Sverker Ekehage Vattenfall Eldistribution AB 2005 - 2008

Kjell Anderén, Vattenfall Eldistribution AB 2008 -2010

Peter Hjalmar E.ON Elnät Sverige AB 2005 - 2008

Hans-Erik Carlsson, E.ON Elnät Sverige AB 2008 - 2010

Per Kvarnefalk, Svenska Kraftnät 2005 – 2009

Rikard Persson Svenska Kraftnät 2010

Christer Lindgren Fortum Distribution AB 2008 – 2010

Bo Lindgren Fortum Distribution AB 2010

Lennart Karlsson Göteborg Energi Nät AB 2005 - 2008

Benny Sporre, Göteborg Energi Nät AB 2008-2010

Sven Jansson Elforsk AB, programansvarig 2005 - 2010

Jag vill här också passa på att tacka alla finansiärer och alla som deltagit i styr- och referensgrupper inom Underhållsprogrammet 2005 – 2010. Ni har gjort denna satsning möjlig och att programmet blivit en framgång.

Sammanfattning

Lista på alla avslutade rapporter inom programmet

D1 proj 3968 "Livslängdsfördelning och prediktering av krafttransformatorer", Anna Gabrielsson Vattenfall Power Consultants AB. Rapport 06:46.

D2 proj 3995 "Jordfelsdetektering av högohmiga fel i icke direktjordade distributionsnät", Mats Häger STRI AB. Rapport 06:44.

D3 proj 3969 "Framtagning av guidelines för termografering" Fredrik Ståhle Sweco Energiguide. Rapport 07:06.

D5 proj 3967 "Utredning om äldre kopplingsapparaters förmåga att bryta kapacitiv ström", Olof Karlén Vattenfall Power Consultants. Rapport 06:07.

D6 proj 31007 "Felsökningsmetoder i kabelnät på landsbygden", Ulf Grape Vattenfall R&D AB och Lars Adeen ElektroSandberg. Rapport 07:60.

D8 proj 31014 Inventering av ställverk ur korrosionssynpunkt, Märit Forssander Terracorrosion AB, Rapport 07:56.

D9 proj 31004 "Katodiskt korrosionsskydd – utarbetande av handbok", Märit Forssander KIMAB Rapport 06:74.

D12 proj 31012 "Diagnostik av porslinsisolatorer med hjälp av ultraljud", Andreas Dernfalk STRI AB. Rapport 08:03.

U5 proj 3994 "Distanstillsyn för mottagnings-/fördelningsstationer", Sofia Heino Vattenfall R&D AB. Rapport 06:45.

U6 proj 31013 AMS och Reläskydd. Lars Messing, Gothia Power Rapport 07:34.

U10 proj 31017 Alternativa material för jordlinor, Lena Sjögren KIMAB. Rapport 07:55.

D4 proj 31019 Förstudie beträffande alternativa stolpmaterial, Jöran Jermer SP. Rapport 08:67

U8 proj 31016 Oljor och fetter. Sylva Arnell ABB CRC AB. Rapport 08:68

U12 proj 31032 Korrosion av grundbult på stolpfundament i ställverk – förstudie till framtagande av kontrollmetod, Märit Forssander Terracorrosion AB. Rapport 08:70

D15 proj 31018 3D-modellering av kraftledningsgator, Kristian Lundberg SAAB Dynamics. Rapport 08:69

R1 proj 31025 Brandrisker i transformatorer, ställverk och kringutrustning, Rolf Hammarström SP. Rapport 08:72

U2 proj 31038 Rengöring av Värnamostationen T2, Petra Hammarstedt, Servicestaden, Endast fotografier finns.

U13 proj 31033 Robotar för underhåll av kraftledningar, Erling Petersson och Valentinas Dubickas STRI AB, Rapport 09:85. Både Svensk och Engelsk rapportversion.

U11 proj 31031 Utveckling av nya material för jordlinor, Lena Sjögren Swerea-Kimab. Rapport 10:88.

U14 proj 31040 Isolationsunderhåll av transformatorer fas 3, Bengta Andersson, Grontmij-EON ES. Rapport 10:20

D16 proj 31037 Jämförande av olika metoder för röjningsbesiktning av kraftledningsgator, Peter Larsson och Henrik Lövdahl, Sweco. Rapport 10:21.

R3 proj 31041, Besiktning/kontroll av nya kreosotstolpar, Michael Eriksson, Linjebesiktning AB

R3 proj 31051 Analys av material från projekt 31041, Carl-Johan Johansson, SP.

Gemensam rapport 10:32

Pågående projekt, överförs till Underhållsprogram 31150

U3 proj 31039 Marktäckande växter på ställverksmark för miljöfördelar och minimering av skötselkostnader, Mats Linde, SLU.

Innehåll

1	D1 projekt 3968 "Livslängdsfördelning och prediktering av krafttransformatorer", Anna Gabrielsson Vattenfall Power Consultants AB. Rapport 06:46.	1
2	D2 projekt 3995 "Jordfelsdetektering av högohmiga fel i icke direktjordade distributionsnät", Mats Häger STRI AB. Rapport 06:44.	2
3	D3 projekt 3969 "Framtagning av guidelines för termografering" Fredrik Ståhle Sweco Energuide. Rapport 07:06.	4
4	D5 projekt 3967 "Utredning om äldre kopplingsapparaters förmåga att bryta kapacitiv ström", Olof Karlén Vattenfall Power Consultants. Rapport 06:07.	6
5	D6 projekt 31007 "Felsökningsmetoder i kabelnät på landsbygden", Ulf Grape Vattenfall R&D AB och Lars Adeen ElektroSandberg. Rapport 07:60.	7
6	D8 projekt 31014 Inventering av ställverk ur korrosionssynpunkt, Märit Forssander Terracorrosion AB, Rapport 07:56.	9
7	D9 projekt 31004 "Katodiskt korrosionsskydd – utarbetande av handbok", Märit Forssander KIMAB Rapport 06:74.	10
8	D12 projekt 31012 "Diagnostik av porslinsisolatorer med hjälp av ultraljud", Andreas Dernfalk STRI AB. Rapport 08:03.	11
9	U5 projekt 3994 "Distanstillsyn för mottagnings-/fördelningsstationer", Sofia Heino Vattenfall R&D AB. Rapport 06:45.	12
10	U6 projekt 31013 AMS och Reläskydd. Lars Messing, Gothia Power Rapport 07:34.	14
11	U10 projekt 31017 Alternativa material för jordlinor, Lena Sjögren KIMAB. Rapport 07:55.	16
12	D4 projekt 31019 Förstudie beträffande alternativa stolpmaterial, Jöran Jermer SP. Rapport 08:67	18
13	U8 projekt 31016 Oljor och fetter. Sylva Arnell ABB CRC AB. Rapport 08:68	19
14	U12 projekt 31032 Korrosion av grundbult på stolpfundament i ställverk – förstudie till framtagande av kontrollmetod, Märit Forssander Terracorrosion AB. Rapport 08:70	20

15	D15 projekt 31018 3D-modellering av kraftledningsgator, Kristian Lundberg SAAB Dynamics. Rapport 08:69	21
16	R1 projekt 31025 Brandrisker i transformatorer, ställverk och kringutrustning, Rolf Hammarström SP. Rapport 08:72	23
17	U2 projekt 31038 Rengöring av Värnamostationen T2, Petra Hammarstedt, Servicestaden	25
18	U13 projekt 31033 Robotar för underhåll av kraftledningar, Erling Petersson och Valentinas Dubickas STRI AB, Rapport 09:85	27
19	U11 projekt 31031 Utveckling av nya material för jordlinor, Lena Sjögren Swerea-Kimab.	28
20	U14 projekt 31040 Isolationsunderhåll av transformatorer fas 3, Bengta Andersson Grontmij	30
21	U3 projekt 31039 Marktäckande växter på ställverksmark för miljöfördelar och minimering av skötselkostnader, Mats Linde, SLU.	31
22	D16 projekt 31037 Jämförande av olika metoder för röjningsbesiktning av kraftledningsgator, Peter Larsson och Henrik Lövdahl Sweco	32
23	R3 projekt 31041, Besiktning / kontroll av nya kreosotstolpar, Michael Eriksson Linjebesiktning AB, projekt	33
24	31051 Analys av observationsprojekt om kreosotimpregnerade trästolpar, Carl-Johan Johan Johansson,SP	34
25	Utvärdering av Elforsk projekt 31042. Utvärdering genomförd av Lennart Klerdal och Dag Holmberg:	35

1 D1 projekt 3968 "Livslängdsfördelning och prediktering av krafttransformatorer", Anna Gabrielsson Vattenfall Power Consultants AB. Rapport 06:46

Inom detta projekt har målet varit att ta fram ett användbart beslutsunderlag inför förnyelser av transformatorer. Beslutsunderlaget ska möjliggöra kvantifiering av sannolikheter för återstående livslängder för transformatorer. En metod för framtagande av statistiska livslängdsfördelningar enligt Bayesiansk metodik har använts. Metoden bygger på att expertbedömningar rörande livslängden för den studerade komponenten kompenserar den för statistiska ändamål ofta bristfälliga fältdatan.

Arbetat har avgränsats till att omfatta 130 kV krafttransformatorer. Ett antal av de nätbolag som finansierar projektet har bidragit med information om sina 130 kV transformatorer till livslängdsanalysen. Dessutom har transformatortillverkare intervjuats för att finna grunder för indelning av den totala populationen 130 kV transformatorer i grupper. Transformatorerna indelades baserat på intervjuresultaten in i grupper med avseende på tillverkare och livslängdspåverkande konstruktionsfaktorer.

En transformatorexpert bedömde därefter vilka livslängder som kunde anses vara sannolika för transformatorerna i respektive grupp. Därefter beräknades livslängdsfördelningar för respektive grupp av transformatorer enligt Bayesiansk metodik för att kombinera expertbedömningar och fältdata. Framtagna livslängdsfördelningar presenteras i form av:

- grafiskt, d.v.s. figurer över täthetsfunktionerna
- täthetsfunktionens parametriska form, inklusive parametrar för respektive grupp
- sannolikheter för relevanta scenarier i tabellformat.

2 D2 projekt 3995 "Jordfelsdetektering av höghohmiga fel i icke direktjordade distributionsnät", Mats Häger STRI AB. Rapport 06:44.

En ökad kablifiering i många 12 – 24 kV distributionsnät tillsammans med mera maskade nät (slingkabelnät som körs radiellt) medför även en ökning av kapacitiva strömmar vid jordfel. Detta kan försvåra en säker detektering och selektiv bortkoppling (förändringar i kapacitans mot jord orsakad av driftomläggningar). Genom att utföra systematiska mätningar i samband med 'kontrollerade' jordfel erhålls en ökad kännedom om egenskaperna för de signaler som jordfelsskyddet använder för detektering av fel och beslut om bortkoppling.

I projektet har följande två huvudaktiviteter utförts:

- Utvärdering av mätsystem omfattande instrument och givare. Det system som tagits fram har använts vid de laboratorieprov som utförts för att utvärdera olika metoder för felinitiering.
- Utvärdering av metoder för felinitiering. Huvuddelen av arbetet har ägnats åt prov då en fast isolation (PVC och PEX) vid olika spänningsnivåer gradvis punkteras för att få fram ett kontrollerat intermittent överslagsförlopp. Prov har även utförts då ett hål borrats i isolationen som sedan fyllts med vatten av olika salinitet.

Vid laboratorieproven har initierade felförlopp registrerats med bl. a. en Rogowskispole. Resultaten har jämförts mot givare med högre bandbredd. De förlopp som registrerats i samband med glimning och genomslag är mycket snabba och Rogowskispolen har återgett dessa tillfredställande. Resultaten visar att Hioki-instrumentet och föreslagna givare uppfyller de krav som kan ställas vid mätningar i fält.

En successivt ökad påkänning av torr och fast isolation ger vid högre spänningar (>ca 2 kV) momentan överledning och ett kvarstående genomslag utan föregående glimning. De intermittenta 'felförlopp' som är av intresse har alltså inte kunnat initieras med denna metod. Ett borrarat hål fyllt med avjoniserat vatten och de metoder som använts vid tidigare mätningar ger i de flesta fall ett förlopp som kan liknas vid ett intermittent fel som övergår till ett kvarstående fel. Metoden är dock lite osäker beträffande repeterbarhet, och även hur representativa felförloppen blir, men föreslås trots detta att användas vid eventuella fältmätningar. En fortsatt metodutveckling, med ambitionen att få

fram en mera representativ och repeterbar felinitieringsmetod att användas vid kommande fältmätningar, känns därför inte meningsfullt.

Genomförande av fältmätningar kan med fördel utföras tillsammans med en eller flera tillverkare av jordfelsskydd. Förslagsvis kan också deras produkter och system temporärt installeras och provas i samband med mätningarna.

3 D3 projekt 3969 "Framtagning av guidelines för termografering" Fredrik Ståhle Sweco Energuide. Rapport 07:06.

Termografering används för att identifiera felaktigheter hos elektrisk utrustning under drift. Med termografering är det möjligt att detektera uppvärmning som kan vara förorsakad av fel. En felaktig komponent som kan identifieras och åtgärdas innan haveri innebär att kostnader förknippade med fel och följdfel kan undvikas.

Ett antal viktiga slutsatser från rapporten bör lyftas fram. För det första är det viktigt att komma ihåg och påminnas om vilket ansvar som kan läggas på beställare respektive utförare. I utförarens ansvar räknas in att bedöma värmebilder och påverkan på specifik utrustning beroende på mätningens förutsättningar. I beställarens ansvar ligger att utifrån utförarens klassificering bedöma konsekvenser på en övergripande nivå.

I utförarens ansvar ingår att beakta, men begränsas inte av, följande faktorer:

- Väderförhållanden (framförallt vindförhållanden) och dess inverkan
- Aktuella lastförhållanden¹
- Har mätningar gjorts från olika vinklar?
- Är tillståndet kritisk för utrustningens specifika funktion?
- Är emissionsfaktorn tillräckligt hög för att vara tillförlitlig?
- Är mätningen utförd på dolda kontakter?

I beställarens ansvar ingår att beakta, men begränsas inte av, följande faktorer:

- Är lastförhållanden representativa?
- Kommer det att ske förändringar i lastförhållanden?
- Är utrustningen kritisk för övergripande funktion?
- Hur ser anläggningens historia ut?

En annan viktig lärdom som har framkommit är vindens påverkan på mätresultaten. Termografering bör inte utföras vid vindhastigheter

¹ Dessa erhålls oftast via driftcentral

överstigande 5 m/s. Det är inte tillräckligt att mäta från läsidan eller från olika håll på vindutsatt utrustning.

När begränsningar i tekniken är kända och förstådda, så är tekniken för att uppnå ett tillfredsställande resultat ganska rakt på och enkel att anamma. Informationen som har samlats i denna rapport har använts för att sammanställa riktlinjer som är tänkta att användas dels som underlag vid beställning av termografitjänster, dels som stöd och vägledning för entreprenörer som utför mätningarna.

4 D5 projekt 3967 "Utredning om äldre kopplingsapparaters förmåga att bryta kapacitiv ström", Olof Karlén Vattenfall Power Consultants. Rapport 06:07.

Den allt mer omfattande kablifieringen av lokalnätet medför helt nya förhållanden för befintlig skyddsutrustning. Detta projekts målsättning är att kartlägga om och hur installerade brytare kan användas även i nya nätstrukturer. En inventering av brytarbeståndet har genomförts samt en kartläggning av de vanligaste typernas prestanda. För de vanligast förekommande brytarterna har simuleringar gjorts för att utreda deras kapacitet. Fokus har legat på kopplingsfall med tomgående ledningar bestående av jordförlagd kabel. Simuleringarna visar att det finns vissa sorters brytare som är mer tveksamma att använda än andra. Detta gäller främst brytare av oljeminimumtyp, speciellt av äldre modell. Även valet av kabel spelar stor roll för om de redan existerande brytarna skall kunna nyttjas. En trefaskabel ger avsevärt större påkänningar än tre separata enfaskablar.

5 D6 projekt 31007 "Felsökningsmetoder i kabelnät på landsbygden", Ulf Grape Vattenfall R&D AB och Lars Adeen ElektroSandberg. Rapport 07:60.

Det intensiva arbetet med att kablifiera landsbygdsnäten förväntas ge den eftersträlvade förbättringen av leveranssäkerheten, men den forcerade utbyggnaden kan också innebära risk för nya problemtyper. Föreliggande rapport avser att ge vägledning för att möta såväl kända som befarade nya problemtyper och beskriver effektiva metoder för diagnostik, felsökning/-lokalisering och felavhjälpning. Fokus ligger på mellanspänningskablar i renodlade eller mixade radiella kabelnät i landsbygdsmiljö, men givetvis finns direkta kopplingar till befintliga slingmatade kabelnät i tätbebyggda områden.

Det blir alltmer angeläget att minimera avbrottstiden i samband med kabelfel. Felavhjälpning består av flera kopplade aktiviteter och det första steget, identifiering av drabbad sträcka, är viktigt eftersom det i bästa fall finns möjlighet att begränsa avbrottstiden för en del av abonnenterna. Installation av felindikeringsystem föreslås som en förbättringsåtgärd.

I många nät sker de flesta kabelfelen genom avgrävning och i dessa fall är felstället oftast känt. Därefter kommer kabeltillbehör i felstatistiken. Många gånger är bristande dokumentation över skarvarna ett problem och i detta läge måste en felaktig skarv snabbt kunna lokaliseras genom mätning.

Ett antal metoder för att lokalisera fel i kabelisolationen beskrivs i rapporten. På marknaden förekommer en rad olika tillverkare av system med till viss del olika egenskaper. De vanligaste metoderna för att detektera och lokalisera fel är fortfarande en pulsgenerator (vanligtvis högspänd) i kombination med en pulsekometer samt utrustning för grov- resp. finlokalisering. Många fel hittas inte med enklare utrustningar. Storleken på effekt, spänningsnivå etc. hos felsökningsutrustningen är en mycket viktig framgångsfaktor för att lyckas hitta fel på lite längre mellanspänningskablar, dvs. på den typ av kabellängder som det nu är vanligt att installera på landsbygden.

För att kunna undvika respektive snabbt kunna avhjälpa framtida isolationsfel är det en fördel om kabelanläggningarna anpassas för diagnos och felavhjälpning redan i samband med projekteringen. Detta

gäller inte minst de nya kompakta nätstationerna och installation av sektioneringsmöjligheter i nätet. Valet av kabelkonstruktion kan förväntas ha en betydande inverkan på felfrekvensen, särskilt sett på längre sikt. Totalvattentät (TT) kabel rekommenderas i detta avseende. Även förläggningsmetoden inverkar på framtida felfrekvens. Flertalet nätbolag ser mantelprovning som en ovillkorlig metod vilken med fördel upprepas som en del i ett tillståndsstyrt underhåll. Det skulle vara av stort värde om en metod för mantelprovning under drift togs fram. Även andra nya metoder efterlyses i rapporten, exempelvis effektiva diagnosmetoder för nyare PEX-kablar.

6 D8 projekt 31014 Inventering av ställverk ur korrosionssynpunkt, Märit Forssander Terracorrosion AB, Rapport 07:56.

Allteftersom tiden går åldras materialet i komponenterna i ett ställverk. Åldringen består ofta av korrosionsangrepp i olika former. Dessa angrepp kan till slut leda till haverier om de inte upptäcks och åtgärdas.

En inventering har därför utförts av ställverk ur korrosionssynpunkt. Målet är att optimera framtida underhållskostnader och att minska risken för haverier på grund av korrosion.

Sammanfattningsvis gav inventeringen att risken för atmosfärisk korrosion är relativt liten för flertalet komponenter. Det finns dock vissa komponenter som bör uppmärksammas och där återkommande inspektion och underhåll är viktigt att utföra och följa upp. Som exempel kan nämnas kontakter i strömbanor både utanför och inne i komponenter som är känsliga delar ur korrosionssynpunkt.

Risken för korrosion på stålstolparna inne i ett ställverk ökar väsentligt om stålet får kontakt med armeringsjärn. Däremot verkar inte korrosionshastigheten öka om stolparna har kontakt med jordningsnätet av koppar.

Korrosionshastigheten för stolparna runt ett ställverk ökar väsentligt då man överbryggat gnistgapet mellan topplinorna in i ett ställverk och topplinorna utanför. Stolparnas stag och stålfundament blir då utsatta för galvanisk korrosion från ställverkets kopparjordning.

Slutligen bör poängteras att man vid inköp måste öka förståelsen och kunskapen om korrosion för att undvika att ur korrosionssynpunkt dåliga konstruktioner kommer in i ställverken. Detsamma gäller komponenter med kontaktfunktion, där lämpligheten hos konstruktion och material måste försäkras utifrån erfarenhet och provningsresultat.

7 D9 projekt 31004 "Katodiskt korrosionsskydd – utarbetande av handbok", Märit Forssander KIMAB Rapport 06:74.

Katodiskt korrosionsskydd, KKS, är en metod att skydda metaller från att korrodera. Redan de gamla romarna förstod att man inte kunde koppla ihop två olika metaller på konstruktioner i havsvatten, den ena började då korrodera. Att en metall korroderar i kontakt med en annan är utgångspunkten för KKS. Men det var först på 1800-talet som Sir Humphrey Davy enligt uppgift var först med att installera KKS medvetet. Detta gjorde han genom att skydda kopparplåten på träfartyg genom att koppla ihop kopparplåten med zink eller järn.

Därefter började skyddet användas alltmer och i slutet av 1950-talet installerades KKS i full industriell skala och man började forska inom området och utveckla allt fler applikationer. I Sverige var skydd av fartygsskrov den första användningen, därefter började televerket skydda alla blymantlade kablar nergrävda i jord. På 70-talet kom sedan bestämmelser om att alla jordförlagda cisterner skulle skyddas med KKS. En annan applikation som blev allt vanligare var skydd av vattenledningsrör med KKS. Ett stort projekt, som tillkom omkring 1990, var KKS av Ölandsbrons betongpelare vars armeringsjärn hade rostat sönder.

I dag skyddar KKS många olika konstruktioner som är belägna i vatten, jord eller betong.

Från miljösynpunkt är redan principen att skydda konstruktioner från att korrodera i sig bra för miljön då man inte behöver byta konstruktioner eller delar av den i förtid. Genom att använda KKS kan man ibland också utesluta andra, ofta miljöfarliga, metoder för korrosionsskydd. Ofta används KKS för skydd av konstruktioner som innehåller miljöfarliga kemikalier.

Om förutsättningarna är de rätta kan KKS ge ett ekonomiskt överlägset och långvarigt skydd av konstruktioner i framför allt jord, vatten och betong.

Trots detta är KKS fortfarande en relativt okänd metod som ofta möts av skepsis. Anledningen är främst att KKS enkla princip kan vara relativt komplicerad att få i praktisk funktion. Genom rätt projektering kan dock alla eventuella problem undanröjas

8 D12 projekt 31012 "Diagnostik av porslinsisolatorer med hjälp av ultraljud", Andreas Dernfalk STRI AB. Rapport 08:03.

Porslin används sedan många år i stor utsträckning som isolationsmaterial i högspänningstillämpningar. Ett problem med porslin är dock att onormala mekaniska påkänningar och fabrikationsfel kan leda till att isolatorn spricker, vilket i sin tur kan medföra försämrade mekanisk hållfasthet.

I dagsläget är dock möjligheterna att upptäcka potentiellt farliga sprickor i isolatorer mycket begränsade, speciellt om undersökningarna skall utföras med objekten i drift.

Inom ramen för förstudien som redovisas i denna rapport har potentialen hos en teknik baserad på beröringsfria akustiska mätningar undersökts. Grundidén är att isolatorn exciteras akustiskt med en högtalare och att isolatorns svar i form av svängningar (vibration, ljud) mäts och analyseras. På grund av den ändring av geometri och förluster en spricka innebär, kommer svaren från en intakt respektive sprucken isolator att se olika ut. Sprickor medför att de tidigare relativt väldefinierade egenfrekvenserna flyttas och att "ringningen" avtar snabbare på grund av ökade förluster.

Från undersökningarna av det begränsade urval av isolatorer som gick att uppbringa i aktuell studie (klockor och små stödisolatorer) står det klart att de intakta isolatorerna uppvisar mycket stabila och också tydligt skilda akustiska egenskaper från de defekta. Vidare, samtliga provade konceptuella mätmetoder, alla baserade på ljud och/eller vibrationer, förmår särskilja intakta och defekta isolatorer.

Vilket koncept som är mest lämpat för eventuell vidare utveckling beror därför mer på de begränsningar som finns på den reella tillämpningen i fält. Den på tidigt stadium föreslagna metoden för mätningar baserad på laser-doppler-vibrometri anses dock inte vara direkt applicerbar på grund av mätsignalens låga amplitud orsakad av isolatorernas blanka yta. Vidare, de övriga studerade koncepten kräver en mer detaljerad akustisk analys baserad på ytterligare laboriemätningar, men också simuleringar innan ett eventuellt prototypinstrument med framgång kan byggas och prov i fält kan genomföras.

9 U5 projekt 3994 "Distanstillsyn för mottagnings-/fördelningsstationer", Sofia Heino Vattenfall R&D AB. Rapport 06:45.

Projektet Distanstillsyn av fördelningsstationer är en del av Elforsks ramprogram *Underhåll, Diagnostik och Reinvesteringsstrategi*. Syftet är att definiera och fastställa riktlinjer och underlag för implementation och utförande av distanstillsyn på fördelningsstationer.

Som underlag har kvalitativa intervjuer utförts med personer från E.ON, Göteborg Energi, Svenska Kraftnät och Vattenfall.

De tre grupper som har störst intresse av att använda distanstillsyn, för att höja effektiviteten eller kvaliteten på sitt arbete, är *säkerhet*, *drift* och *underhåll*. Vad de vill se och varför skiljer sig dock åt mellan grupperna, därför föreslås att ett rollbaserat system används.

Driftens roll rekommenderas att vara första mottagare av information från ett system för distanstillsyn. *Driften* ansvarar därefter för att vidarebefordra relevant information till *säkerhet* respektive *underhåll*. Underhållsgruppens roll är i detta avseende främst att säkerställa en hög personsäkerhet för omgivningen genom att se till att staket och grindar med mera runt stationerna är hela. Gruppen *säkerhet* är främst intresserade av att identifiera och avskräcka inbrottstjuvar.

För att de olika grupperna skall kunna arbeta effektivt med ett system för distanstillsyn rekommenderas det att systemet skall vara händelsebaserat och bör därför använda automatisk bildanalys.

För ett lyckat införande och inför en upphandling av kamerasystem skall en behovsanalys göras för att definiera och kravställa roller, driftsfordringar, driftsvillkor och tekniska parametrar. Behovsanalysen är den absolut viktigaste delen i förberedelser inför upphandling av kamerasystem. I behovsanalysen identifieras bland annat roller, nödvändig information och hantering av information.

Vid nybyggnation eller ombyggnad av stationer bör det övervägas att förbereda för den infrastruktur som krävs för kamerainstallationer.

Distanstillsyn av fördelningsstationer konstateras vara till nytta främst för två olika typer av stationer. I de fall där fördelningsstationen ligger i ett tätbebyggt område behövs kameror för att snabbt upptäcka inbrott och vandalisering. I de fall där det är stora avstånd till statio-

nerna kan antalet fysiska besök i stationerna reduceras med hjälp av distanstillsyn, vilket ger en positiv ekonomisk effekt.

10 U6 projekt 31013 AMS och Relä-skydd. Lars Messing, Gothia Power Rapport 07:34.

I denna rapport behandlas felbortkopplingssystemets funktion i samband med Arbete med Spänning (AMS). Vid AMS-arbete har personsäkerheten prioritet. Trots detta finns viss risk för farliga tillbud, även om de har låg sannolikhet. Utformning av felbortkopplingssystemet har stor inverkan på riskerna för personskada i samband med allt arbete på starkströmsanläggningar. Felbortkopplingssystemet kan inte påverka sannolikheten för att fel uppstår, men feltiden stor betydelse för konsekvenserna av ett fel, dvs skadornas omfattning.

Ett antal frågeställningar har studerats, med följande slutsatser:

Vad innebär ett fel i anläggningen för den som utför AMS-arbete; dels fel vid själva arbetsplatsen, dels fel på annan plats i nätet. **Slutsats:** För en person som befinner sig nära en felbehäftad anläggningsdel finns alltid en fara för person, främst på grund av påverkan från ljusbåge. Vid fel på annan plats kan genomgående felströmmar ge stora mekaniska krafter som kan påverka den aktuella arbetsplatsen. Detta gäller såväl AMS-arbeten som andra arbetsmetoder (Arbete Nära Spänning och Arbete Utan Spänning)

Ökar risken för att fel kan uppstå i anläggningarna i samband med AMS-arbeten? **Slutsats:** på grund av det noggranna säkerhetsarbetet i samband med AMS-arbete kan man dra slutsatsen att sannolikheten för fel **inte** ökar jämfört med andra arbetsmetoder.

Fordrar vissa typer av AMS-arbeten omställning/modifiering av reläskyddssystemet? **Slutsats:** Vissa typer av AMS-arbeten ändrar kopplingsbilden i kraftnätet, varför omställning/modifiering av reläskyddssystemet krävs för att myndighetskrav på felbortkoppling skall uppfyllas. Omställning av reläskydd, så att feltider minskar, innebär minskad personfara om fel uppstår i samband med AMS-arbete. Detta gäller främst skador som beror på närhet till ljusbåge. En riskvärdering bör ligga till grund för beslut om omställning av reläskydd.

Hur påverkas arbetsplatsen där AMS-arbete pågår vid fel i annan punkt i nätet? Kan en sådan påverkan på en AMS-arbetsplats mildras av felbortkopplingssystemets funktion? **Slutsats:** En kort feltid är alltid en positiv faktor för personsäkerhet.

Har tillbud och olycksfall förekommit i Sverige och utomlands vid AMS-arbete och, i så fall, har farligheten hos dessa olycksfall kunnat

påverkas av felbortkopplingssystemets funktion? **Slutsats:** Underlaget är för litet för att man skall kunna dra några slutsatser.

Förslag för rutiner angående felbortkopplingssystemet i samband med AMS-arbete föreslås. Bedömning om anpassning/omställning av reläskydd erfordras bör göras i samråd mellan driftledning och elarbetsansvarig.

11 U10 projekt 31017 Alternativa material för jordlinor, Lena Sjögren KIMAB. Rapport 07:55.

Jordningslinor (marklinor) används förhållandevis sällan internationellt. Därmed finns få publicerade uppgifter om materialutveckling specifikt för linor. Den vanligaste formen för jordelektroder allmänt är jordspett.

Koppar dominerar som material för jordelektroder, i Sverige och internationellt. Obelagt kolstål används i bl a Kina och Indien, främst med hänvisning till det höga priset på koppar. Kopparbelagt stål, förzinkat kolstål, och obelagt kolstål anges som alternativa material till koppar för jordningslinor i SS-EN 50314. Förzinkade ställinor har tidigare installerats i Sverige. Kopparbelagt stål används till viss del. Många föreskrifter anger explicit att aluminium inte skall användas i kontakt med jord i jordningssystemet. Aluminiumlina med stålkärna installerades dock av Electricity Supply Board (ESB) i Irland på 1980-talet, med förväntad livstid av minst 20 år.

Två större korrosionsundersökningar av alternativ till koppar för jordning har gjorts: i USA 1962 – 1969 (fältexponering upp till 7 år) och Tyskland (laboratorie- och fältundersökningar; 1979 – 1981). Undersökningarna avsåg i första hand material för jordspett, och motiverades av risken för galvaniska problem i samband med jordning med koppar. Granskade material var koppar med olika beläggningar (zink, tenn, bly), förzinkat kolstål, kopparbelagt kolstål, kolstål med beläggning av rostfritt stål (302), rostfritt stål typ 304, kiseljärn, NiResist (16-32 % Ni), zink, bly, magnesium, aluminium.

Allmänna undersökningar av metallers korrosion i jord baseras i regel på exponeringar av plåtar. Vid tillämpning av resultaten för jordningslina måste bland annat risken för galvanisk korrosion vid kontakt med andra konstruktioner (inverkan av galvaniska kopplingar), utformningen som kabel (t.ex. spalter), inverkan av läckströmmar och inducerad ström, ev. extra övergångsmotstånd p.g.a. korrosionsprodukter, konsekvenser av olika korrosionsformer, som lokal korrosion och korrosion i skador hos en ädlare ytbeläggning, också bedömas.

Höglegerade rostfria stål kan vara ett ur korrosionssynpunkt möjligen likvärdigt alternativ till koppar, som dock p.g.a. priset även det kan bli utsatt för stöld. Med klarläggande av korrosionsrisker och inverkan av korrosionsangrepp på funktionen, kan även material med mindre korrosionshårdighet än koppar användas. En översiktlig bedömning bör

göras av livslängd i aktuella jordmiljöerna, för förzinkat stål, ev. med lokala offeranoder i speciellt utsatta områden.

12 D4 projekt 31019 Förstudie beträffande alternativa stolpmaterial, Jöran Jermer SP. Rapport 08:67

Införandet av EUs biociddirektiv har på några år förändrat förutsättningarna för att effektivt rötskyddsbehandla trä i allmänhet och trästolpar i synnerhet. Ett förbud mot de så kallade CCA-träskyddsmedlen och ett tänkbart förbud mot kreosot har aktualiserat frågan om vilka alternativ för trästolpar som finns. I föreliggande utredning lyfts följande huvudsakliga alternativ fram:

- Impregnering med träskyddsmedel innehållande koppar och krom samt koppar och ett organiskt ämne som aktiva substanser.
- Impregnering med nya typer av organiska biocider.
- Dubbelimpregnering med kopparbaserade medel och kreosot, under förutsättning att kreosoten får finnas kvar.
- Förstärkning av skyddet hos stolpar impregnerade med kopparbaserade eller organiska träskyddsmedel med mekaniska barriärer, t ex bandage, i rotänden.
- Kemisk modifiering, där acetylering och furfurylering finns är de mest intressanta.

Det finns bristande kunskaper om beständigheten och andra för stolpar väsentliga egenskaper hos trä impregnerat med såväl alternativa träskyddsmedel som modifieringskemikalier. Forskning, gärna i större projekt på EU-nivå för att tillskapa tillräckliga resurser och kompetens, förslås beträffande:

- Beständigheten
- Impregneringstekniska aspekter avseende kemisk modifiering.
- Samverkansegenskaper med andra material som kan vara aktuella i samband med inbyggnad av stolpar.
- Miljötekniska egenskaper, livscykelanalyser och hantering av avfall och uttrangerat virke, för samtliga föreslagna alternativ.

13 U8 projekt 31016 Oljor och fetter. Sylva Arnell ABB CRC AB. Rapport 08:68

Denna handbok beskriver framför allt hur man ska smörja apparater i ställverk men redovisar även hur smörjmedel är uppbyggda. En introduktion till tribologin dvs. vetenskapen om friktion, nötning och smörjning ingår också. Ett urval av smörjmedel har gjorts baserat på rekommendationer från tillverkare av smörjfetter, vad som faktiskt används av underhållspersonal samt vad som rekommenderas i underhållsmanualer från apparattillverkare.

Hur man smörjer och huruvida man alls ska smörja är minst lika viktigt som vilket fett eller vilken olja man använder. Även om det gäller specifika apparater för kraftöverföring så handlar det ändå om relativt konventionell smörjning av ett antal olika maskinelement. Ett undantag är kontakterna i strömbanan vilka kräver speciell behandling. De viktigaste egenskaperna hos ett smörjmedel för ställverk är följande:

- Oxidationsstabiliteten ska vara hög för att säkerställa långa eftersmörjningstider.
- Korrosionsskyddande förmåga.
- Härdighet mot låga temperaturer, ned till -50°C
- Kontaktresistansen får inte påverkas negativt.

Smörjfetter av standardtyp som är lämpliga för både kontakter och mekanik och uppfyller ovanstående krav är vanligen baserade på en polyalfaolefin eller en ester förtjockade med ett litiumkomplex. EP-additiv för extrema påkänningar är inte nödvändiga. För att klara låga temperaturer, -50°C, bör viskositeten hos basoljan vara ganska låg, helst < 50 cSt vid 40°C.

14 U12 projekt 31032 Korrosion av grundbult på stolpfundament i ställverk – förstudie till framtagande av kontrollmetod, Märit Forssander Terracorrosion AB.Rapport 08:70

När Elforskprojektet "Inventering av ställverk ur korrosionssynpunkt" genomfördes upptäcktes att grundbultar strax ovan betongen ibland hade korroderat, framför allt på nyare stolpar. Slutsatsen efter de mätningar som utfördes var att det inte räcker att stolpen enbart har kontakt med jordningslina av koppar för att korrosionen ska uppstå. Därför misstänker man att grundbulten har direkt kontakt med armeringsjärn. Ett liknande fenomen uppträder på broars räckesståndare. En mätmetod togs då fram och idag kan man rutinmässigt kontrollera om någon räckesståndare på en bro har kontakt med armeringsjärn, något som sedan åtgärdas.

TerraCorrosion AB fick i samarbete med SwereaKIMAB och EnergoRe-tea uppdraget att undersöka om en liknande metod kan tas fram för att bestämma om grundbulten har kontakt med armeringsjärn.

Under en dag utfördes flera olika mätningar i fält i Stenkullens ställverk. Mätningarna baserades på Bertil Sandbergs tidigare utarbetade metoder för broar. Fyra principer provades:

- Friläggning av armeringsjärn.
- Oförstörandemeggning.
- Strömmätning.
- Potentialmätning.

Det rekommenderas att man använder metod "Friläggning av armeringsjärn".

För att underlätta mätningen kan med fördel ett metallstift av rostfritt stål lödas fast på armeringen vid nyttillverkning. Stiftet ska placeras så att det sticker ut utanför fundamentet.

15 D15 projekt 31018 3D-modellering av kraftledningsgator, Kristian Lundberg SAAB Dynamics. Rapport 08:69

Elforsk-projektet *3D-modellering av kraftledningsgator* syftar till att ta fram en programapplikation som automatiskt detekterar riskträd och riskvegetation i en kraftledningsgata. Resultatet, i form av eventuella koordinatsatta riskträd, sparas sedan digitalt i en risklista. Det finns dessutom möjlighet att rödmarkera riskträd och riskvegetation på tillhörande ortofoton. Den resulterande listan samt markerade ortofoton kan sedan nyttjas i den operativa röjningsplaneringen för såväl kantträdsfällning som röjning av riskvegetation i ledningsgatan.

För att möjliggöra detta utnyttjas SAAB-C3's nya kraftfulla teknik för stereofotogrammetri som skapar en tredimensionell modell av kraftledningsgatan. Denna modell kan sedan användas för att analytiskt ställa upp villkor för detektion av riskträd och riskvegetation.

Projektet har bedrivits i tre faser där den initiala fasen bestod av en specificering för att kravsätta applikationens funktion och prestanda. Detta ledde fram till grundspecifikationen enligt Ref 12-1. Den andra fasen koncentrerades till implementering av de olika funktioner som behövs för att beräkna riskträd och riskvegetation och den slutliga tredje fasen bestod av test mot uppmätta referensträd samt förbättrad prestanda. Under den senare fasen beviljade också styrgruppen en senareläggning av slutrapporten till sista oktober på grund av utökat arbete för bättre noggrannhet.

Projektet har tagit fram en metodik och applikation som är:

- **Repeterbar:** Den gör samma sak med samma bedömningsgrund vilket kan jämföras med manuell bedömning som är högst individberoende.
- **Har känd noggrannhet:** Projektet har beräknat ett 1-sigma värde på noggrannheten av HELA processen. Detta är naturligtvis en siffra som det ligger vissa antaganden i MEN det är en viktig utgångspunkt för att arbeta med säkerhetsmarginaler på ett faktabaserat sätt, där dessa direkt kan relateras till metodens totala noggrannhetsmått.

- **Möjliggör snabb kartering:** Omloppstid från datafångst till risklista över farliga träd/vegetation är mycket kort. Detta gör det möjligt att intensivt utnyttja metoden

Projektets referensgrupp ser en operativ användning och utvärdering av metodiken som mycket intressant.

16 R1 projekt 31025 Brandrisker i transformatorer, ställverk och kringutrustning, Rolf Hammarström SP. Rapport 08:72

Vid en brand, eller incident som kan leda till brand, ger en tidig upptäckt och omedelbar åtgärd en minimerad skadebild. De flesta ställverk är obemannade. Det förekommer underhållsverksamhet under begränsad tid men till största delen har ställverken ingen personal på plats.

Många anläggningar ligger också långt från tätbebyggt område vilket medför långa insatstider för räddningstjänsten och ansvarig personal. Vår utgångspunkt är därför att föreslå åtgärder som ger minsta möjliga stilleståndstid vid brand eller incidenter som kan leda till brand. Det är också viktigt att kunna övervaka och styra skeenden på distans. Resultatet av denna studie kan sammanfattas i följande rekommendationer:

1. Möjliggör tidig upptäckt med hjälp av högklassig detektionsutrustning.
2. Möjlighet att omedelbart identifiera problemet, från bemannad station, exempelvis via fjärrkamera.
3. Möjlighet att koppla bort problemområdet från kraftkällan efter identifierad incident.
4. Det bör finnas släcksystem som aktiveras automatiskt via detektion eller manuellt (fjärrutlösning).
5. Man bör använda släckmedel för relärum som inte skadar elektronikprodukter.
6. Täta genomföringar för att förhindra brandspridning och skadlig påverkan av brandgaser i angränsande rum.
7. Man bör utveckla släcksystem för transformatorer som kan aktiveras innan brand utbryter.
8. Möjliggöra access även i strömlöst tillstånd
9. Särskilja redundanta system
10. Viss överkapacitet på transformatorn

Det har visat sig mycket svårt att få en tydlig bild av förekomsten av bränder eftersom de tillfrågade parterna, typiskt kraftbolag, endera inte har någon tillfredställande dokumentation över tillbud, eller har som policy att inte lämna ut den typen av uppgifter. Förbättrade ruti-

ner för dokumentation av tillbud är en förutsättning för en långsiktig förbättring av brandskyddet.

Kunskapen om bränder och explosioner i transformatorer är mycket mer begränsad än bränder i byggnader och liknande. Därför behövs ytterligare studier av de mekanismer som föregår och orsakar en transformatorexlosion. Vi föreslår ett antal forskningsprojekt i syfte att kartlägga dessa mekanismer. I förlängningen kan detta resultera i system som förhindrar eller begränsar konsekvenserna av det som idag leder till att transformatorer exploderar.

17 U2 projekt 31038 Rengöring av Värnamostationen T2, Petra Ham- marstedt, Servicestaden

Fyra bilder som visar transformator innan och efter tvätten.





Sista bilden visar att släckstenen går att tvätta på plats med metoden.

18 U13 projekt 31033 Robotar för underhåll av kraftledningar, Erling Petersson och Valentinas Dubickas STRI AB, Rapport 09:85

Möjligheten att använda robotar för underhåll av kraftledningar blir mer och mer intressant allteftersom tekniken utvecklas. Ett huvudargument är att kunna utföra en större del av underhållet utan att störa driften. Ämnet har behandlats i två tidigare Elforskrapporter, utgivna 1996 och 1999 [1,2]. Syftet med denna rapport är att göra en uppdaterad undersökning av teknik- och marknadsläget för robotar för underhåll av kraftledningar, inkluderande robotar både för inspektioner och för reparationsarbeten.

Resultatet visar på tre olika typer av robotar: motoriserade vagnar som tar sig fram på linan, minihelikoptrar och isolerade kranar.

Motoriserade vagnar används främst för diagnostik av kraftledningar. Vagnar med olika diagnostiksystem har utvecklats, som t.ex. kan utföra tillståndkontroll av linskarvar, detektera korrosion i linans stål-kärna eller detektera trasiga ledarparter.

Minihelikoptrar kan användas för inspektion av kraftledningar, med video-, IR- eller UV-kamera. Både radiostyrda och autonomt flygande varianter finns. Autonoma minihelikoptrars användbarhet för kraftledningsinspektioner begränsas dock starkt av det faktum att Luftfartsmyndigheterna idag inte tillåter flygning utanför operatörens synfält.

Isolerade kranar med griparmar används för reparationsarbeten. Operatören styr griparmarna från manöverhytten som är på marknivå. Videokameror installerade vid griparmarna ger visuell återkoppling till operatören. Några få sådana enheter finns idag i drift, i huvudsak i Japan.

Som avslutning kan kommenteras att en relativt hög aktivitet har noterats angående forskning och utveckling av robotar av typen motoriserade vagnar, vilket indikerar att det finns en marknadspotential för dessa. Det verkar emellertid som om marknadsbasen inte är tillräcklig för att utvecklingen ska fortsätta på rent kommersiella grunder och troligen måste nätföretagen stödja utvecklingen om teknik för robotiserat underhåll ska bli allmänt tillgänglig inom en inte allför avlägsen framtid.

19 U11 projekt 31031 Utveckling av nya material för jordlinor, Lena Sjögren Swerea-Kimab.

I anslutning till kraftnät i Sverige finns i storleksordningen något hundratal mil jordningslinor, dels som linor som följer ledningens sträckning, dels som slingor som lagts som punktförstärkning av jordningen vid vissa stolpar. Jordningslinor används för att få en så lågohmig jordning som möjligt då många jordar har högre resistivitet. Tidigare har varmförzinkad ståltråd använts (1930-talet). På grund av korrosionsskador har den förzinkade ståltråden i stor utsträckning bytts mot kopparlinor, i en del fall mot förkopprad ståltråd. Stölder av jordningslinor av koppar utgör ett stort problem, framförallt i samband med nyanläggning. Dessa stölder medför kostnader som vida överstiger materialkostnaderna. Förutom ekonomisk skada kan stölder av jordningslinor medföra säkerhetsrisker. Den höga stöldrisken, orsakad av ett högt kopparpris, motiverar ett ökat intresse för alternativa material.

Som alternativ till ovan nämnda material har intresse för att undersöka möjligheten att använda elektriskt ledande polymerer framförts. Linor helt av ledande polymerer eller plast fylld med ledande partiklar, kan dock inte betraktas som något trovärdigt alternativ i dagsläget. Detta p.g.a. tveksam miljötålighet, inklusive risker för biologiska angrepp, för i synnerhet ledande plast och alltför hög resistivitet, vilket medför risk för överhettning vid ledning av höga strömmar längs linan.

En produkt, utan synlig metall, som skulle kunna vara ett tänkbart alternativ är anodmaterial för katodiskt skydd med påtryckt ström. Detta eftersom denna, liksom jordningslinor, är avsedda för överföring av ström till jord. Kabelformade olösliga anoder uppbyggda med en kopparkärna och en kringfyllning av koks har undersökts. Mellan metallen och koksfillning finns ett ledande polymerhölje för att isolera metalledaren från korrosionsangrepp samtidigt som strömflöde till jord tillåts. Eftersom metallen och koksfillningen åtskiljs av ett polymert material förhindras att en vattenfilm bildas. Därmed skulle den centrala kopparlinan kunna bytas ut mot t.ex. en varmförzinkad stållina utan att man får galvanisk korrosion p.g.a. kontakt med koks. En jordningslina av sådan uppbyggnad bör inte vara stöldbegärlig.

Här utförda fälpmätningar har visat på ledningsresistanser och jordtagsresistanser för alternativa jordningslinor, som inte påtagligt skiljer sig från traditionella metallinor. Förutom metallinor av olika form har en anodkabel för katodiskt skydd enligt ovan ingått. En sådan

anodkabel bör kunna fungera för att avleda t.ex. obalansströmmar. Vid avledning av blixtrömmar eller höga felströmmar till jord finns dock risk att framförallt plastbeläggningen bryts ner av de höga, om än kortvariga, strömmarna. Praktiska prov med avledning av höga kortvariga strömmar till jord rekommenderas för att klarlägga dessa risker.

20 U14 projekt 31040 Isolationsunderhåll av transformatorer fas 3, Bengta Andersson Grontmij

I rapporten sammanställs data från Doble- och IDA mätningar samt gas- och oljeanalyser från fyra transformatorer som genomgått tre olika metoder av isolationsunderhåll, isolationsunderhållet genomfördes under 2000.

Rapporten går även igenom de tre metoderna av isolationsunderhåll vilka är oljerekonditionering, oljeregenerering och fabriksrevision, den fjärde transformatorn användes som referenstransformator.

Slutsatser från projektet kan sammanfattas:

- För den transformator som genomgick oljeregenerering visar oljan minst tecken på åldrande.
- Val av transformatorerna i detta projekt kan ifrågasättas.
- Olje- och gasanalys ger en bra bild om hur transformatorn "mår" och hur isoleroljan åldras.

Utifrån det som framkommit i denna rapport rekommenderas regenerering.

21 U3 projekt 31039 Marktäckande växter på ställverksmark för miljöfördelar och minimering av skötselkostnader, Mats Linde, SLU.

Projektet pågår och överförs till Underhållsprogram 31150. Projektet kommer att rapporteras under 2011.

22 D16 projekt 31037 Jämförande av olika metoder för röjningsbesiktning av kraftledningsgator, Peter Larsson och Henrik Lövdahl Sweco

Elforskprojektet Jämförande av olika metoder för röjningsbesiktning syftar till att jämföra fotogrammetrisk kartering med laserskanning och manuell besiktning som metod för insamlande av skogliga data samt vissa mervärden.

Sweco har anlåtats för att genomföra studien med stöd av projektets referensgrupp. Som leverantörer upphandlades SAAB Dynamics, BLOM Sweden AB med Nebel&Partner som partner samt FORAN Remote Sensing med Opten Solutions som partner.

SAAB har utfört en fotogrammetrisk kartering och från underlaget en riskvegetationsanalys utifrån uppställda kriterier samt ortofoton och snedbilder av stolpar. BLOM har genomfört en laserskanning av samma ledning och tagit fram en riskvegetationsanalys, ortofoton, snedbilder samt en beräkning av maximalt nedhäng. FORAN har gjort en analys av riskvegetation för de närmsta 9 åren, och en volymbestämning av denna, baserat på laserskanning utförd av BLOM. FORANs partner OPTEN har gjort en beräkning av maximalt nedhäng på samma data.

Jämförelsen av den fotogrammetriska metoden har i projektet försvårats pga av att man gjort ett misstag i utförandet av flygningen.

Projektet har visat att metoderna skiljer sig åt i utförande, pris, leveransformat och noggrannhet.

23 R3 projekt 31041, Besiktning/kontroll av nya kreosotstolpar, Michael Eriksson Linjebesiktning AB, projekt

Svensk Linjebesiktning AB har på uppdrag av Elforsk AB kontrollerat 871 nyare kreosotstolpar hos de största elnätsägarna i Sverige.

Av dessa har:

- 399 varit helt utan anmärkning.
- 3 stycken har varit helt utslagna på grund av röta.
- 472 har haft påpekanden av typen mjuka fläckar, flisighet, onormal sprickbildning och färgskiftningar.

Påpekanden har förekommit på alla leverantörers stolpar.

Dessutom har det tagits 232 borrprov på 207 stolpar.

- I 183 av stolparna finns rötsvamphyfer.
- I 49 stolpar är inträngningen underkänd. Det innebär 23,6% underkända.

I merparten kan dock upptagningen ifrågasättas.

24 31051 Analys av observationsprojekt om kreosotimpregnerade trästolpar, Carl-Johan Johan Johansson, SP

Förslag till åtgärdsplan

SP föreslår att följande åtgärder genomförs:

- *Mjuka fläckar*: Med tanke på att mjuka fläckar har fått stor uppmärksamhet vid Telias besiktningar, så finns det anledning att försöka gå till botten med detta fenomen, jfr vad som sägs ovan. Orsaken till de mjuka fläckarna och vad de egentligen består av (defekt i vedstrukturen? biologisk skada?) måste säkert fastställas liksom deras betydelse för stolpens livslängd och funktion.
- *Översyn av kravspecifikationerna för ledningsstolpar generellt*. De problem med ledningsstolpars kvalitet, såväl med avseende på impregnering som på tekniska egenskaper (hållfasthet, mjuka fläckar), bör följas upp med en ordentlig översyn av kravspecifikationerna för ledningsstolpar: Är den kommande europastandarden (prEN 14229) relevant? Skall NTRs regelverk (NTR dokument nr 3), som bygger på europa-standarder tillämpas på annat sätt, exempelvis så att kraven på impregneringen skärps?
- *Översyn av kvalitetssäkringsrutinerna*: De problem med rötskadade stolpar som Telia har kan, i varje fall delvis, hänföras till brister i kvalitetssäkringsrutinerna, såväl hos tillverkarna som hos Telia. Vi föreslår att dagens kvalitetssäkringsrutiner ses över samt att nya, ändamålsenliga rutiner utarbetas i samförstånd mellan impregneringsföretag och representanter för nätägare. Kopplat till detta bör tekniskt ansvariga för nät och inköp av stolpar få en grundläggande utbildning om trästolpar, kravspecifikationer, kvalitetssäkring etc. Vår uppfattning är att bristande kunskap om trästolpar hos ansvariga hos både stolptillverkarna och nätägarna spelat en roll i samband med de problem som förevarit.
- *Översyn av regelverk och rutiner för stolpinspektioner*: Upptäckten av, i vissa fall, extremt tidiga rötskador i ledningsstolpar aktualiserar en översyn av rutinerna och reglerna för när och hur stolpar skall inspekteras, vad inspektionerna skall fokusera på och vilken utrustning som är lämplig.
- *Högtemperaturtorkade elstolpar*. Det kanske allra viktigaste är att skaffa sig kunskap om hur det ser ut i näten i dag. Därför bör större partier slumpmässigt utvalda högtemperaturtorkade elstolpar som är 10 år eller yngre besiktigas med syfte att kartlägga om här finns samma problematik som noterats när det gäller Telias telefonstolpar, dvs låg hållfasthet och problem med inträngningen och tidiga rötskador.

25 Utvärdering av Elforsk projekt 31042. Utvärdering genomförd av Lennart Klerdal och Dag Holmberg:

Ramprogram 3933 Diagnostik, Underhåll och reinvesteringstrategi samt

Ramprogram 3974 Riskanalys som verktyg för utveckling, drift och

underhåll av elnät för 0,4 till 145 kV.

Innehållsförteckning

1. Inledning och bakgrund

2. Generella iakttagelser

3. Riskanalysprogrammet

3.1 Programmets målluppfyllelse

3.2 Programinnehåll och relevans

3.3 Projektens genomförande

3.4 Resultat och genomslag

3.5 Programmets fortsättning

3.6 Övrigt

4. Underhållsprogrammet

4.1 Programmets målluppfyllelse

4.2 Programinnehåll och relevans

4.3 Projektens genomförande

4.4 Resultat och genomslag

4.5 Programmets fortsättning

4.6 Övrigt

5. Programmens fortsättning i ett eventuellt gemensamt

Asset Management program

Stockholm den 27 november 2009

Dag Holmberg Lennart Klerdal

1. Inledning och bakgrund

Elforsk har sedan 2005 bedrivit ett utvecklingsprojekt 3933 Ramprogram för Underhåll, Diagnostik och Reinvesteringstrategi och sedan 2006 ett ramprogram 3974 för Riskanalys. Enligt programbeskrivningarna ska man genomföra en utvärdering av programmen gentemot respektive programmål. Utvärderingen skall diskutera i vilken grad målen i respektive program har uppnåtts samt ge synpunkter inför programmens eventuella fortsättning. Möjligheten att slå samman bägge programmen till ett gemensamt program bör kommenteras. Denna rapport sammanfattar utvärderingarna av programmen. Utvär-

deringen har genomförts av Dag Holmberg och Lennart Klerdal med följande metodik:

- Inläsning av samtliga vid utvärderingstillfället tillgängliga rapporter
- Intervjuer med styrgruppernas medlemmar tillika finansiärer
- Intervjuer med ett antal av Elforsk utvalda genomförare av projekten
- Diskussioner med programledarna inom Elforsk

Intervjuade personer framgår av bilaga 1.

Risikanalysprogrammets vision är att inom ett femårigt perspektiv, genom nya riskanalysmodeller och beslutsprocesser nå fram till ny teknik och ny kunskap som kan användas för att göra det möjligt att minska riskerna för person-, miljö- och anläggningsskador i elnätssamheten. Detta skall ses i samband med de ökande kraven på leveranssäkerhet som ställs av elkunder och myndigheter.

Syftet med programmet är att skapa modeller för riskanalys och beslutsprocesser för eldistributionsföretagen och skall hjälpa till att stärka förmågan för distributionsnätet att motstå större påfrestningar i fredstid. Programmet ska identifiera, starta och följa upp forsknings- och utvecklingsprojekt som leder till nya metoder och verktyg. Befintliga metoder ska kunna förbättras i kortsiktiga utvecklingsprojekt

Underhållsprogrammets mål 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 I Underhållsprogrammet är endast nätföretag finansiärer, medan i Riskanalysprogrammet har såväl nätföretag som myndigheter finansierat programmet. Detta innebär att projektens resultat får olika spridning. Underhållsprogrammets rapporter sprids endast till finansiärerna, medan Riskanalysprogrammets resultat blir allmänt tillgängligt på grund av offentlighetsprincipen.

2. Generella iakttagelser

Resultatspridning inom elnätföretagen är svårt. Detta är ett generellt problem för hela Elforsk. Hur förbättra? En databas för informationsökning (för att "googla") borde prövas av Elforsk. Spridning av rapporter sker idag endast till finansiärer i underhållsprogrammet, medan

riskanalysprogrammets resultat är öppna. Hur kan resultatspridning utanför finansiärernas krets utökas?

3. Riskanalysprogrammet

3.1 Programmetts måluppfyllelse

Ur programskriften framgår programmetts syfte och mål:

Syftet med programmet är att skapa modeller för riskanalys och beslutsprocesser för eldistributionsföretagen och skall hjälpa till att stärka förmågan att motstå större påfrestningar i framtiden. Samhällets ökande krav på leveranssäkerhet och elnätsbolagens behov av att effektivisera sin verksamhet har lett till ett ökande behov av att utveckla nya metoder och arbetsrutiner.

Målet för detta program är att ur inkomna projektansökningar identifiera, starta och följa upp forsknings- och utvecklingsprojekt som leder till nya metoder och verktyg som ger möjlighet att genomföra bl. a. arbetsrutiner, som leder till ett bättre riskanalysarbete inom eldistributionsföretagen.

*Befintliga metoder kan förbättras i kortsiktiga utvecklingsprojekt vilka presenteras i skrift men även i seminarieform för att få bättre genomslag i branschen. Genom att genomföra både forsknings- och utvecklingsprojekt inom samma program förväntas en "korsbefruktnings" av idéer och resultat mellan projekten, vilket förhoppningsvis ger högre kvalitet på resultaten från programmet. Programmet har levererat i enlighet med finansiärernas förväntningar. En viss spretighet har upplevts, men det beror sannolikt på att ämnesområdet är nytt. Effektivisering genom benchmarking har inte hanterats i projekten. I projektet finns två fokusområden, *Nätanalys med avseende på risker*, *verktyg för att testa fysiska elnät* samt *Optimering med avseende på risker i elnät*. Det förstnämnda området har hanterats i så gott som samtliga projekt, medan fokus på det senare området har varit betydligt svagare. Detta är naturligt eftersom riskanalysmetodikerna måste genomarbetas och finna sin plats i organisationerna innan optimeringsarbetet kan påbörjas.*

3.2 Programinnehåll och relevans

Programmet har fokuserat på riskanalyser, till en del beroende på att ny lagstiftning ställer krav på att årliga riskanalyser genomförs och rapporteras. Programmet har utvecklat metoder för riskanalys som idag används av nätföretagen. Tillförlitlighetsdata har fått en väl genomarbetad uppdatering, vilket ger möjlighet att i framtiden mer systematiskt genomföra tillförlitlighetsanalyser i planeringsarbetet för distributionsnät. Vi anser att programinnehållet har varit relevant och i linje med programmetts mål.

3.3 Projektens genomförande

Projektleddningen inom Elforsk har varit kostnadseffektiv och har uppskattats av finansiärerna. Byte av projektleddare har skett under programmets gång, vilket hanterades på ett effektivt och smidigt sätt. Uppföljningen av programmets kostnader har fungerat väl. Kostnaderna har hållits inom ramen för programmet. Styrgruppen har fungerat på ett bra sätt, både inspirerande och resultatinriktat. Man har haft mod att både avbryta och säga nej till projekt. Informationsutbytet mellan högskoleforskarna och seniorkonsulterna har fungerat bra inom ramen för styrgruppsarbetet. Referensgruppernas engagemang har varit svagare. Inför en ny etapp bör tydligare krav ställas på eventuella referensgrupper, samtidigt som det ska tydliggöras för utförarna att referensgrupperna både kan och ska utnyttjas mer aktivt än vad som hittills skett. Årliga seminarier för resultatredovisning upplevs mycket positivt. Vi saknar de årliga rapporterna som omnämns i projektbeskrivningen. Vi rekommenderar att i den årliga uppföljningen av programmet ska man gå igenom programmets mål och måloppfyllelse.

3.4 Resultat och genomslag

Kompetens har byggts upp inom riskområdet såväl inom KTH som inom branschen. En enkel riskanalysmetod för elnätföretag har tagits fram som även blivit vägledande inom framtagning av Elmarknadsinspektionens föreskrifter. Mer komplexa och förhoppningsvis mer exakta modeller är under framtagning och kommer att kunna användas av branschen. Programmet har påvisat problematiken med risker inom drift- och övervakningssystem. Den föreslagna metoden känns komplicerad och ytterligare arbete behövs för att föra ut förståelsen och vikten av it-säkerhet inom drift- och övervakningssystem. Forskarprojektet om *Metoder för riskanalys i eldistributionsnät* har tagit på sig rollen som samlande inom programmet. Detta har lett till ett antal kontakter som på kort och lång sikt förväntas ge nytta för branschen.

Ett par examensarbeten har genomförts som förutom de konkreta resultaten också gett entusiastiska personer anställning inom branschen. De presenterade resultaten i rapporterna upplevs ibland som svårtillgängliga för finansiärerna. Kan man tänka sig att Elforsk har ett samarbete med ett utbildningsföretag eller seniora konsulter som tar på sig rollen att föra ut resultaten och utbilda personer inom branschen? Ett samarbetsavtal mellan Elforsk och Svensk Energi angående gemensamma seminarier inom området finns redan. Är detta en möjlighet?

3.5 Programmets fortsättning

Den nuvarande målbeskrivningen är väl bred och gör att programmet inte kunnat arbeta inom alla områden. Till exempel nämns såväl person- som miljörisker, något som programmet ej hanterat. Vi anser att

målbeskrivningen behöver snävas in inför en eventuell fortsättning, men att nuvarande målbeskrivning är naturlig med hänsyn till att programmet, när det startade, var en ny disciplin inom branschen.

I en eventuell ny etapp av programmet bör ökad vikt läggas på fokusområdet *Optimering med avseende på risker*.

Några av frågeställningarna som finansiärerna pekat på är:

- Optimering ur risksynpunkt. (Denna rubrik ingår i nuvarande program, men har ännu ej behandlats.)
- Analys av metoden "Run to failure" (Konsekvenser om man kör delar av nätet till haveri.)
- Benchmarking (Vad kan elnätbolagen lära av varandra?)
- Vilka kriterier gäller för 24-timmars avbrott? (Sök kriterier för när force majeureklausulen kan tillämpas.)

Innan en eventuell fortsättning av programmet beslutas bör man under hösten 2010 göra en förstudie som dels summerar programmets uppnådda resultat, dels pekar ut färdriktningen och anger prioriterade områden att undersöka. Vi anser att riskanalysområdet har fått en bra start och att det idag finns en enkel metod som används av företagen. Mer komplexa metoder är under framtagning (doktorandprojekten) och dessa kommer successivt att kunna införas av företagen. Kanske ska därför en fortsättning mer fokusera på tillförlitlighetsanalys än riskanalys. Utvecklingen av grunddatabaser bör fortsätta och speciellt gäller detta data för regionnät. Såväl tillförlitlighets- som riskanalys är bra verktyg vid förnyelse av elnät. Det är viktigt för företagen är att bygga upp kompetens inom dessa områden. Riskanalys av it- och kontrollsystem behöver utvecklas. En studie av hur risk- och tillförlitlighetsanalyser används i andra länder i samband med nätplanering kan kanske ge goda tips till oss i Sverige. Som framtida finansiärer ser vi det som viktigt att Elmarknadsinspektionen och Elsäkerhetsverket medverkar. Industrin (FIE) har uttryckt intresse att delta även i fortsättningen.

3.6 Övrigt

Under intervjuerna har vi upplevt en tveksamhet över att Darwin-modellen är praktiskt användbar för risk- och tillförlitlighetsanalyser. Darwin är framtaget för RCM-metodik och för att använda indata i risk- och tillförlitlighetsanalyser krävs en högre detaljeringsgrad. Vi noterar att Riskanalysprogrammet har gränssytor mot såväl Underhållsprogrammet som mot Market Design-programmet och ett framtida Smart Grids-program. Powerpoint-presentation tillsammans med varje rapport är bra och bör ingå som ett krav i beställningen till utförarna.

4. Underhållsprogrammet

4.1 Programmets måluppfyllelse

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.

4.2 Programinnehåll och relevans

Programmet har fokuserat på projekt som är direkt användbara i verksamheten. Projektrapporterna är ofta av handbokstyp. Uppenbart finns ett stort behov av detta hos elnätföretagen för att säkra såväl kompetens som dokumentation. Programmets innehåll har fått mycket goda vitsord av samtliga intervjuade personer. "Otroligt bra program" har nämnts flera gånger. Programinnehållet är till sin karaktär handfast och i många fall nära handbokskaraktär. Det är beställarledet i underhållsbranschen som driver och finansierar programmet, medan utförarledet inte finns med som finansiärer och endast i någon mån som rapportförfattare. Vi menar att rapporterna skall användas för att skriva anvisningar och förbättra de som redan finns.

4.3 Projektens genomförande

Projektledningen av Elforsk har varit kostnadseffektiv och uppskattats mycket av finansiärerna. Uppföljningen av programmets kostnader har fungerat väl. Kostnaderna har hållits inom ramen för programmet. Arbetet i styrgruppen har uppskattats av ledamöterna och upplevs som dynamiskt och målinriktat. Utförarna har endast gott att säga om referensgruppsarbetet. Överskott av projektidéer har lett till att de mest relevanta har genomförts. Det var bra att det fanns projektidéer redan vid programstarten. Det gjorde att programmet kom igång snabbt. Vi rekommenderar att i den årliga uppföljningen av programmet ska man gå igenom programmets mål och måluppfyllelse.

4.4 Resultat och genomslag

Genomslaget har varit gott på grund av rapporternas tydlighet och upplägg nästan som handböcker. Många av projekten har blivit implementerade i verksamheterna.

4.5 Programmens fortsättning

Samtliga intervjuade finansiärer är mycket nöjda med programmet och vill ha en fortsättning med i stort sett samma inriktning som nu. Managementfrågor och upphandlingsfrågor kan eventuellt flyttas till ett annat program. Vi ser ett värde i att samarbetet mellan branschen, representerat av Elforsk, och bolag med seniora konsulter (exempelvis STRI och Gothia Power) utvecklas inom ramen för temaprogram. I vissa projekt kan seniora konsulter användas för att implementera resultaten inom elnätsbolagen. Det nuvarande programmet har inte behandlat frågan om underhållsavtal eller upphandling av underhåll. Borde inte en fortsättning av programmet klargöra vilka relationer man önskar till underhållsutförarna? Vilken typ av underhållsbransch är optimal för elnätsföretagen? En "händer och fötter"-bransch eller en bransch med vilken man kan sluta partnerskapsavtal? Vi rekommenderar att programmet fortsätts i en femårsperiod och att det nya programmet fortsätter direkt efter nuvarande programs avslutning.

4.6 Övrigt

Under intervjuerna har vi upplevt en tveksamhet att informationen i Darwin är praktiskt användbar för underhållsplaneringen. Seminarier är bra för resultat- och rapportspridning. Powerpoint-presentation tillsammans med varje rapport är bra och bör ingå som ett krav i beställningen till utförarna.

5. Programmens eventuella fortsättning i ett tänkt gemensamt Asset Management program

Med hänvisning till genomgången under såväl kapitlen 3 som 4 framgår det tydligt att finansiärerna till underhållsprogrammet föredrar en fortsättning av programmet i stort sett i oförändrad form. När det gäller riskanalysprogrammet behövs enligt vår uppfattning en förstudie för att utröna vad en eventuell fortsättning skall innehålla. Vi ser svårigheter att bemanna en bra styrgrupp i ett program som täcker så olika ämnesområden som risk- och tillförlitlighet och rutinmässigt underhåll, även om det förvisso finns kopplingar mellan programmen. Vi ser också att användarna av projektresultaten dels har olika bakgrund, dels är mycket olika till antal. Slutsatsen är att vi i dagsläget inte rekommenderar ett gemensamt asset management-program. Däremot tycker vi att en utökad kontakt mellan riskanalys- och underhållsprogrammet vore värdefull. Vi rekommenderar också att projektledaren från det "andra" programmet är med på styrgruppsmöten och även fungerar som ställföreträdande projektledare.

Bilaga 1

Intervjuade personer

Sven Jansson Elforsk

Bertil Wahlund Elforsk

Per Kvarnefalk Svenska Kraftnät

Kjell Anderén Vattenfall Eldistribution AB

Hans-Eric Carlsson E.ON Elnät Sverige

Andreas Dernfalk STRI AB

Märit Fossander Terra Corrosion AB

Ulf Grape Vattenfall R&D AB

Mats Linde SLU

Lena Sjögren Swerea-KIMAB

Mikael Bohjort E.ON Elnät Sverige

Leif Boström Fortum Distribution AB

Kjell Oberger Fortum Distribution AB

Horst Blucher Elsäkerhetsverket

Arne Bergström Vattenfall Eldistribution AB

Sven-Åke Polfjärd FIE

Håkan Jarer Svenska Kraftnät

Carl Johan Wallnerström KTH

Patrik Hilber KTH

Karin Alvthag KTH

Lennart Söder KTH

Martin Kylefors Thyrens

Ying He Vattenfall Research and Development

Jan Lundquist STRI

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se