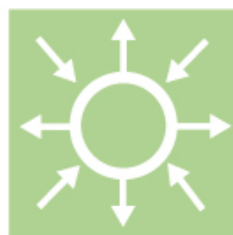


Kartläggning av trästolps- problematik

Förmåga att leda ström vid olika situationer

Elforsk rapport 14:10



Mats Wahlberg och Sarah Rönnerberg

November 2013

ELFORSK

Kartläggning av trästolps- problematik

Förmåga att leda ström vid olika situationer

Elforsk rapport 14:10

Förord

I augusti 2008 inträffade en olycka med dödlig utgång inom Skellefteå Kraft Elnät i samband med klättring i en trästolpe [1]. Vid olyckstillfället var att ledningen fortfarande spänningssatt med en isolator som helt saknade sitt porslin.

Linjeskyddet hade således inte kopplat bort ledningen. Vid höghmigt jordfel, d.v.s. när isolationen mot jord är över 5 kohm, kopplar inte linjeskydden bort ledningen. Vid den här typen av fel med en skadad isolator är isolationen betydligt mer än 5 kΩ mot jord.

Vid olyckstillfället påbörjade montören klättringen i stolpen innan ledningen kopplas bort. Montören var ungefär på mitten av stolpens höjd när ström genom kroppen orsakade olyckan. Det var definitivt inte någon direkt kontakt med faserna. Det som har gjort det till ett speciellt fall är att montören hade med sig arbetsjorddonet under klättringen. Det har inneburit att det blivit en än kortare trästräcka än vad som erhålls om man står på marken. Kortare trästräcka innebär mindre isolation genom träet.

Målet med projektet har varit att fastställa vilka marginaler man har då man klättrar i en trästolpe om en isolator skulle vara skadad. Går det att genom en elektrisk modell beskriva trästolpars uppbyggnad? Vilka yttre faktorer är av betydelse vid bedömning av ledningsförmågan i en stolpe med eventuellt skadad isolator?

Utredningen har visat att vädret har en mycket avgörande betydelse. Det handlar inte endast om den situation som råder vid klättringstillfället utan det har även betydelse hur vädret varit en tid före.

Mats Wahlberg på LTU har varit projektledare och har tillsammans med Sarah Rönneberg genomfört projektet. Mats har även hållit i projektets styrgrupp som bestod av:

- Hans Dahlström, Svenska kraftnät
- Ulf Jansson, Fortum Distribution AB
- Ulf Melin, E.ON Elnät Sverige AB
- Magnus Sjunnesson, Öresundskraft AB
- Morgan Börjesson, Vattenfall AB
- Ulf Wagenborg, Svensk Energi
- Sven-Olov Lång, Svensk Energi
- Christer Gruber, Svensk Energi
- Susanne Olausson, Elforsk AB

Följande bolag har deltagit som finansiärer av projektet. Elforsk framför ett stort tack till samtliga företag för värdefulla insatser.

Svensk Energi	Luleå Energi Elnät AB
Svenska Kraftnät	Växjö Energi Elnät AB
Vattenfall Eldistribution AB	C4 Elnät AB
E.ON Elnät AB	Sollentuna Energi AB
Fortum Distribution AB	Skånska Energi Nät AB
Göteborgs Energi AB	Nacka Energi AB
Lunds Energikoncernen AB (publ)	Affärsverken Karlskrona AB
Skellefteå Kraft AB	Borlänge Energi AB
Mälarenergi Elnät AB	Mölndal Energi AB
Tekniska Verken i Linköping AB	Kungälv Energi AB
Jämtkraft AB	PiteEnergi AB
Umeå Energi AB	Uddevalla Energi AB
Öresundskraft AB	Varberg Energi AB
Jönköping Energi Nät AB	Landskrona Kommun
Telge Energi Nät AB	Kalmar Energi Elnät AB
Gävle Energi AB	Härnösand Elnät AB
Halmstads Energi och Miljö Nät AB	Sandviken Energi AB
Härjeåns Nät AB	Leksand-Rättvik Elnät AB
Falu Energi & Vatten AB	Karlskoga Elnät AB
Eskilstuna Energi & Miljö AB	Lidköping Elnät AB
Sundsvall Elnät AB	Södra Hallands Kraft ek för
Karlstads Elnät AB	Trollhättan Energi Elnät AB
Borås Elnät AB	Svenska Kraftnät Sandviken Energi Elnät AB

Stockholm i mars 2014

Susanne Olausson

Elforsk AB

Programområde Överföring och Distribution

Sammanfattning

Utredningen har inte kunnat påvisa en entydig bild av vilka processer som påverkar en trästolpes förmåga att leda ström. Mycket pekar på att det är en kombination av flera faktorer som påverkar ledningsförmågan. Yttre faktorer som temperatur och nederbörd påverkar, men också val av impregneringsmedel och träets densitet får betydelse.

Det är helt klart att trästolpar kan leda ström. Även en trästolpe utan några påmonterade metalldetaljer kan innebära för stora strömmar genom kroppen i samband med klättring om inte åtgärder vidtas.

Vi funnit många intressanta iakttagelser som ger underlag för fortsatt forskning. Eftersom vi inte hade med alla parametrar in i försöksplaneringen så kan vi inte säga exakt betydelse för dessa. En parameter som bör utredas vidare är densiteten på träet.

Eller som man kan uttrycka det hur gammalt var trädet då det övergick till att bli en ledningsstolpe. Trädet ska ha en uttalad diameter för att klassas in till stolpe av viss dimension. Detta kan påverka mängden impregneringsmedel som kan tränga in i träet.

Mätningarna under projektet har utförts som fullskaleförsök i verkligheten och vädersituation på laborationsplatsen har fått en stor betydelse. Under vintermånaderna var det en säsong med stadigvarande kylig temperatur. De variationer vi förväntade oss uppstod inte den efterföljande vintern. Riklig långvarig nederbörd identifierades tidigt som en viktig faktor. Efter en torr höst beslutades därför att göra försök där trästolparna vattnades.

Projektet har lett till att en dialog blivit mycket tydlig mellan kraftbranschen och träforskningen. Speciellt vid Luleå Tekniska Universitet i Skellefteå har den kommit igång. Projektet har även uppmärksamrats internationellt genom NORDAC 2010, Århus Danmark [2]. På CIRED konferensen 2011 i Frankfurt Tyskland [3] presenterades det då tillgängliga resultatet. Vid ett CEATI möte i Canada Niagara Falls 2011 har medlemmarna fått en muntlig presentation. Även vid ett AMS-nätverkande i Oslo mellan nordiska länder har material redovisats.

Även andra användare av trästolpar har hört av sig det genom Skanova. Det är då fråga om kunskaper kring trästolpar. Telenäten har problem med röta och hållfasthet.

I andra delar av världen bedrivs liknande forskning. Där har det varit mer fokus på bränder i stolparna. Här finns det mer möjligheter till att utveckla samarbetet. Här har vi sett exempel främst från Australien [4-16].

1.1 Ett tydligt faktum är fortfarande:

Trästolpar kan under olika situationer vara något mellan en isolator och en ledare. Detta har varit känt under lång tid men inte tillämpats i Sverige [17]

Det är mycket svårt att avgöra skillnaderna när den är det ena eller andra eftersom många faktorer påverkar ledningsförmågan.

Avgörande för att ström ska gå genom stolpen är att det samtidigt ska finnas en defekt isolator. Även sprickor i isolatorn, som inte heller är lätt att upptäcka från marken, kan orsaka ström i stolpen.

En uppenbar risk är att en montör som klättrar i stolpen under en felsituation skadar sig. En annan risk är att den skadade isolatorn inte upptäcks och felet står på under en längre tid. Detta kan leda till att trästolpen eller fasledaren bränns av och det kan få förödande konsekvenser för allmänheten om de befinner sig i närheten av ledningen.

I alla stolptyper kan det beroende på bestyckning finnas möjligheter till olika potentialskillnader. Även när en kompositstolpe används så måste bestyckning utföras med tanke på möjliga potentialskillnader.

Summary

Wooden poles can during different situations act as something between an insulator and a conductor. Due to the fact that there are many contributing factors to the poles ability to conduct current it is very difficult to determine when it is one or the other.

For a dangerous situation to occur there has to be an existing damage to the insulator. Even cracks in the insulator, which is not easy to spot from the ground, can cause current to go through the pole.

One potential harmful situation can occur when a maintenance worker climbs the pole during a fault. Another risk is that the damaged insulator goes undetected and the fault current goes through the pole for a long period of time. This could lead to a fire in the pole or a melted phase conductor. In that situation it can be a high risk for people close to an overhead power line.

Depending on what is mounted on the pole, regardless of type of pole, there can be different electrical potentials present in the pole. This will be the case even if the pole is made from a composite material.

Innehåll

Förord	4
Sammanfattning	6
1.1 Ett tydligt faktum är fortfarande:	6
Bakgrund	1
Deltagare	2
1.2 Styrgrupp.....	2
1.3 Finansierande företag	3
Beskrivning av upplägget med mätningar	1
Provplatsen	4
1.4 Mätinstrument Fuktloggning.....	4
1.5 Väderstation	4
1.6 Mätinstrument vid anordnade jordfel	4
Beskrivning av trästolpe	6
Under projektet vunna erfarenheter	7
Kontroller på andra platser	9
Analyser	11
Elektrisk modell för en trästolpe	12
Förslag till fortsättning	13
1.7 Framtid inriktade studier	13
1.8 Studier mot befintliga stolpar	15
1.9 Allmänhetens möjlighet till att utsättas av för höga strömmar.....	15
1.10 Byggmetoden på luftledningar.....	15
Slutsats	18
Bilaga 1: Mätmetod för att finna trasiga isolatorer	20
Bilaga 2: Metod svag jordning	21
Bilaga 3: Standarder som behandlar trästolpar	23
Referenser	24

Bakgrund

I augusti 2008 inträffade en olycka med dödlig utgång inom Skellefteå Kraft Elnät i samband med klättring i en trästolpe [1]. Vid olyckstillfället var att ledningen fortfarande spänningssatt med en isolator som helt saknade sitt porslin.

Linjeskyddet hade således inte kopplat bort ledningen. Vid höghmigt jordfel, d.v.s. när isolationen mot jord är över 5 kohm, kopplar inte linjeskydden bort ledningen. Vid den här typen av fel med en skadad isolator är isolationen betydligt mer än 5 k Ω mot jord.

Vid olyckstillfället påbörjade montören klättringen i stolpen innan ledningen kopplas bort. Montören var ungefär på mitten av stolpens höjd när ström genom kroppen orsakade olyckan. Det var definitivt inte någon direkt kontakt med faserna.

En tid efter myndigheternas utredning gjorde Skellefteå Kraft Elnät en förstudie kring strömmar i trästolpar vid skadad isolator.

Det visade sig då mycket tydligt att, i sammanhanget, höga strömmar kunde uppstå med den stolpmodell som vi skapat. Däremot saknades tillgång till utrustning för att mäta många ingående och nödvändiga parametrar. Efterhand köptes mätutrustning in utifrån uppmätta och kalkylerade värden på ett tillräckligt mätområde. Variationerna i mätresultat visade sig vara större än förväntat och allt mätdata gick inte att registrera.

Det blev först i och med projektet drogs igång som bra mätutrustning kunde köpas in.

Deltagare

Projektledare Mats Wahlberg vid Luleå Tekniska Universitet Skellefteå Elkraft.

Sarah Rönnerberg doktorand vid Luleå Tekniska Universitet Skellefteå Elkraft har deltagit i arbetet. Samt ett antal montörer från Skellefteå Kraft Elnät.

1.2 Styrgrupp

Hans Dahlström	Svenska kraftnät
Ulf Jansson	Fortum Distribution
Ulf Melin	E.ON Elnät Sverige
Magnus Sjunnesson	Öresundskraft
Morgan Börjesson	Vattenfall Distribution
Ulf Wagenborg	Svensk Energi
Sven-Olov Lång	Svensk Energi
Christer Gruber	Svensk Energi
Susanne Olausson	Elforsk

1.3 Finansierande företag

Svensk Energi -Swedenergy - AB

Svenska Kraftnät

Vattenfall Eldistribution AB

E.ON Elnät Sverige AB

Fortum Distribution AB

Göteborgs Energi AB

Mälarenergi Elnät AB

Skellefteå Kraft AB

Härjeåns Nät AB

Falu Energi & Vatten AB

Eskilstuna Energi & Miljö AB

Sundsvall Elnät AB

Karlstads Elnät AB

Borås Elnät AB

Lunds Energi AB

Luleå Energi Elnät AB

Växjö Energi Elnät AB

C4 Elnät AB

Sollentuna Energi AB

Skånska Energi Nät AB

Nacka Energi AB

Affärsverken Karlskrona AB

Borlänge Energi AB

Tekniska Verken i Linköping AB

Jämtkraft AB

Umeå Energi AB

Öresundskraft AB

Jönköping Energi Nät AB

Telge Energi Nät AB

Gävle Energi AB

Mölndal Energi AB

Kungälv Energi AB

Pite Energi AB

Uddevalla Energi AB

Varberg Energi AB

Landskrona Kommun

Kalmar Energi Elnät AB

Härnösand Elnät AB

Sandviken Energi AB

Leksand-Rättvik Elnät AB

Karlskoga Elnät AB

Lidköping Elnät

Södra Hallands Kraft ek för

Trollhättan Energi Elnät AB

Halmstads Energi och Miljö Nät AB

Beskrivning av upplägget med mätningar

Efter förstudien hade ett antal parametrar som påverkar ledningsförmågan i en kraftledningsstolpe av trä identifierats:

- Typ av impregnering
 - o Kreosot
 - o Arsenik
 - o Salt Wolmanit CX-8
- Ålder på stolpen
 - o Ny
 - o 20 år
 - o 50 år
- Väderdata
- Fukthalt i trästolpar
- Torkmetod
 - o Snabb
 - o Långsam

Det köptes in eller hyrdes mätutrustning för att registrera de identifierade parametrarna. Lab platsen som använts under förstudien byggdes om och fler stolpar valdes ut för att få en större spridning.



Bild 1 Referensstolpar.



Bild 2 Provstolpar i Mensträsk

Fukt och väderdata loggades löpande med vissa tidsintervall. Fukthalten i stolparna registrerades på två olika höjder på stolparna och i alla fyra väderstreck.

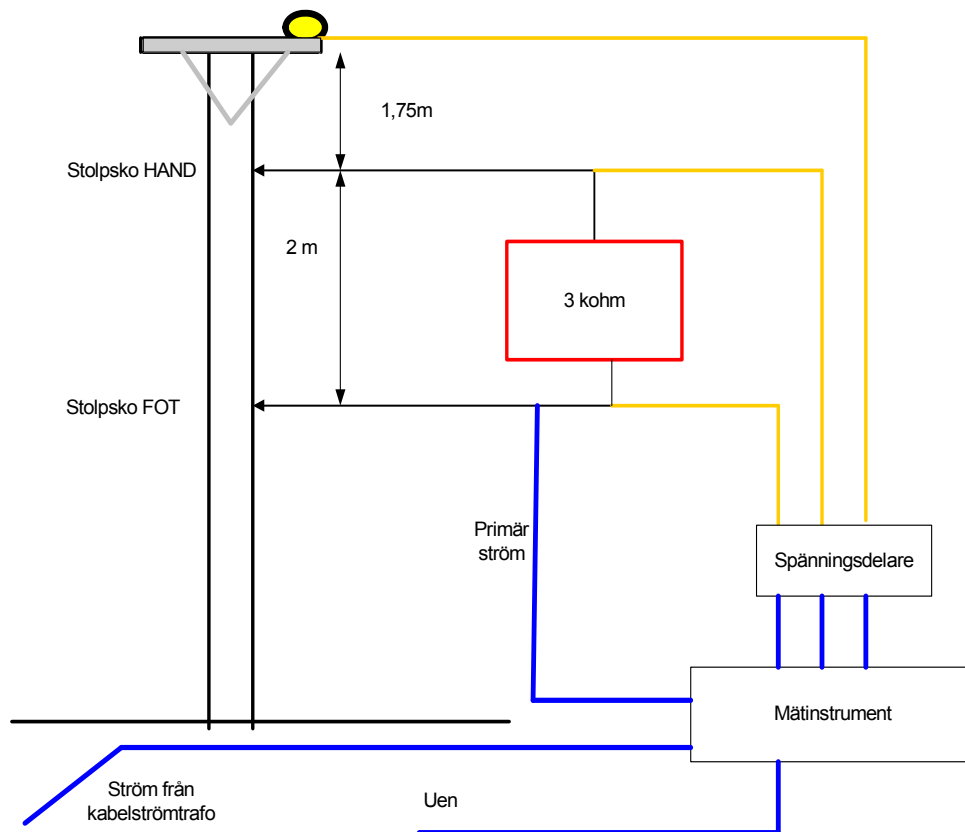
Ca en gång per månad arrangeras verkliga jordfel på varje provstolpe. Under jordfelet mättes ström och spänning över hela stolpen samt över ett motstånd som anslöts till stolpen vid olika höjd enligt Figur 1. Detta motstånd representerar en människa som rör vid eller klättrar i stolpen. De mätningarna användas senare vid analyser mot de loggade data.

De strömmar och spänningar som mättes vid jordfelen ska ge underlag till en elektrisk modell av olika trästolpar.

Mätningarna planerades att genomföras regelbundet under ett år för att kunna få en klar bild av hur vädersituationen påverkar.

Mellan förstudien och projektet har en del mätningar utförts i Pehr Högström laboratoriet på Luleå Tekniska universitet i Skellefteå. Träbitar med olika impregneringar blöttes upp och tilläts frysa. Resistansen mättes sedan under det att träbiten tinade. Resultatet jämfördes sedan mot fullskaleprovet.

Med den bakgrunden startade projektet upp. En vidareutveckling av metoden som används vid beröringsspänningsmätningar i samband med starkströmsmätningar valdes som provmetod. Den stora skillnaden mot beröringsspänningsmätningar är att den lodräta stolpen får representera marken och som "strömavtagare" valdes stolpskor. Mätmetoden beskrivs i Figur 1.



Figur 1 Mätmetod för modell av klättrare

Motståndet på 3 k Ω representerar en person som klättrar i stolpen under det att fasspänningen ligger på metallregeln, vilket skulle vara fallet i händelse av att isolatorn går helt sönder. Mätningarna utfördes medan en faslina kopplades till metallregeln och spänningssattes. Motståndet flyttades 1 meter i taget och en ny mätning genomfördes. Som strömvtagare för yrkesmänniskor användes stolpskor som belastades med 25 kg var. Genom det förfarandet ansågs att marginaler fanns. Så bra strömvtagare medförde att ingen ytterligare riskfaktor behöver adderas till. Avståndet mellan stolpskorna valdes till 2 meter.

Ström mättes totalt i stolpen och genom motståndet enligt Figur 1.

Spänningar registreras mellan metallregeln och jord samt över motståndet.

Genom det kan man då få fram olika sektioners resistans på sträckan 1 meter.

Vidare så det tagits fram en metod för att mäta beröringsspänning då en person står på marken och har kontakt med stolpen. Specialfallet är då en person kan röra stolpen samtidigt som personen kan beröra en jordad detalj som inte sitter på stolpen tex ett viltstängsel. Metoden bygger på VDE 0101/CENELEC HD 637 S1:199 Standard gällande ytan och trycket som ska representera en människa vid mätningen, 50kg och 400cm².

För att anpassa metoden användes skruvtving med metallyta som strömvtagare mot stolpen. Den strömvtagare som använts vid klättring har

ansågs ha orealistisk bra kontakt med trästolpen. Detta eftersom allmänheten normalt inte använder verktyg vid kontakt med stolpen.

Provplatsen

1.4 Mätinstrument Fuktloggning

Genom SP-träteck i Skellefteå hyrdes det in 84 stycken fuktgivare för att logga fukthalten i stolparna.

De placerades 2 stycken fuktgivare i varje provstolpe i sydligt läge på ytan av stolpen med två olika höjder över mark, 2 och 7 meter.

I referensstolparna placerades 16 givare i varje stolpe i alla fyra väderstreck, 2 m och 7 m ovan mark samt på ytan av stolpen och 15 mm in i träet.

Mer om givarna finns att läsa på www.gehygrotrac.com

1.5 Väderstation

En väderstation av märket Weatherlink Davis Vantage Pro2 köptes in för loggning av väderparametrar på laboratorieplatsen i Mensträsk. Bland de parametrar som loggades är:

- Utomhus temperatur
- Vind
- Vindriktning
- Nederbörd såväl regn som snö
- Solinstrålning
- Luftfuktighet

1.6 Mätinstrument vid anordnade jordfel

Från Skellefteå Kraft Elnät lånades ett motstånd som var anordnat för 3k Ω , 10kV kablar och en utrangerad fördelningsstation 30/10kV.

Med hjälp av mätinstrument som ägs av LTU Skellefteå avdelningen Elkraft utfördes mätningar av:

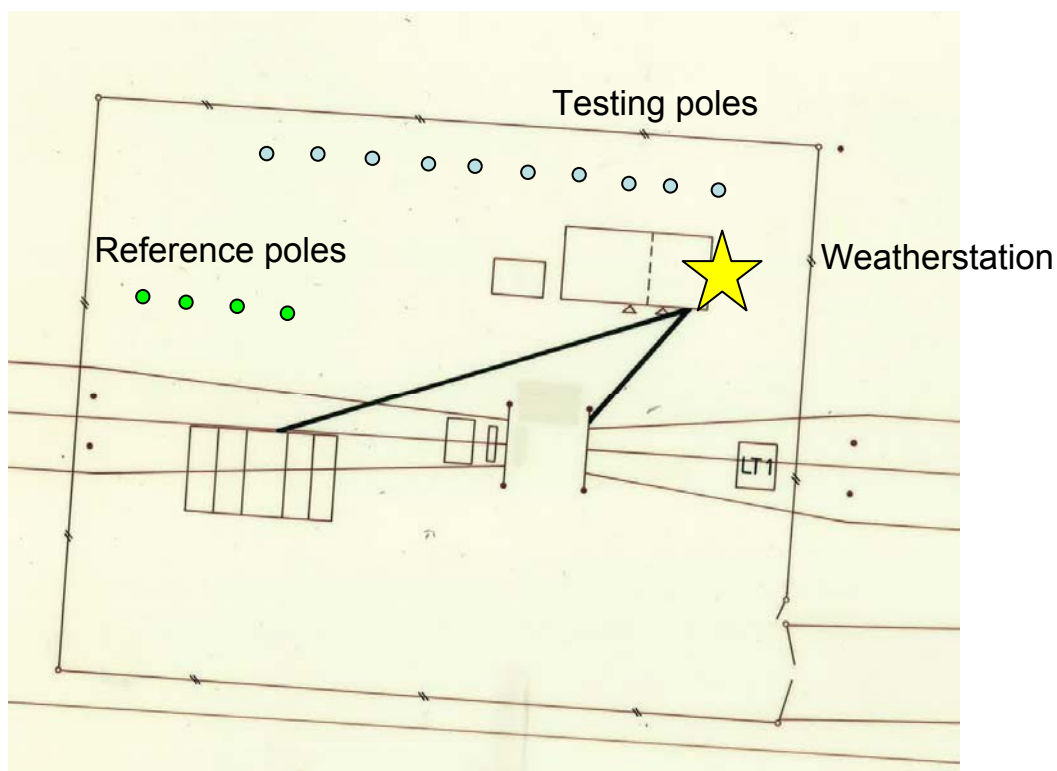
- Olika spänningar vid jordfel
- Olika strömmar vid jordfelet

Det registrerande mätinstrumentet var Hioki HiCorder 8055.

Spänningen mättes genom de vanliga spänningstransformatorerna men även genom Ross kapacitiva spänningsdelare.

Strömmarna mättes med Pearson current probe model 7810

Under mättiden upptäcktes att vanliga spänningsindikatorer som använts för ALUS arbeten enkelt kunde indikera spänning i trästolparna i samband med jordfel. Typen är VTU 307. Det gav sedan upphov till ett antal försök ute vid besiktningar av kraftledningar där man hittade och bytte ut många trasiga isolatorer.



Figur 2 Uppställning på laboratorieplatsen i Mensträsk

Beskrivning av trästolpe

Vid förstudien erhöles en varierande bild av hur strömmen ändrades beroende på avståndet från stolpens regel där isolatorn hade havererat, till strömvtagaren. En möjlig förklaring skulle kunna vara förhållandet mellan splintved och kärnved för de olika stolparna.

Dessutom förekommer det ett antal kvistar som kan påverka mät resultaten. Dessa teorier har inte fullt ut kunnat bevisas.

Stolparna som testats under projektet har varit behandlade på olika sätt:

- Torkning
 - o Snabb, stolpen värms och torkar under några dagar
 - o Långsam som torkat ute under 12- 18 månader
- Impregnering
 - o Arsenik
 - o Kreosot
 - o Salt Wolmanit CX-8

Både torkmetod och val av impregnering påverkar hur fukt tränger in i stolpen, reagerar inuti och sedan minskar/försvinner.

Beträffande impregneringen ser vi stora skillnader på inträngningsdjup. Dessutom har vi genom dialog med forskare inom träsektorn på Luleå Tekniska Universitet konstaterat att impregnering urlakas under åren.

Fukttransport kan ske på tre olika sätt i träd:

- I längdriktningen
- Radiellt
- Tangentiellt

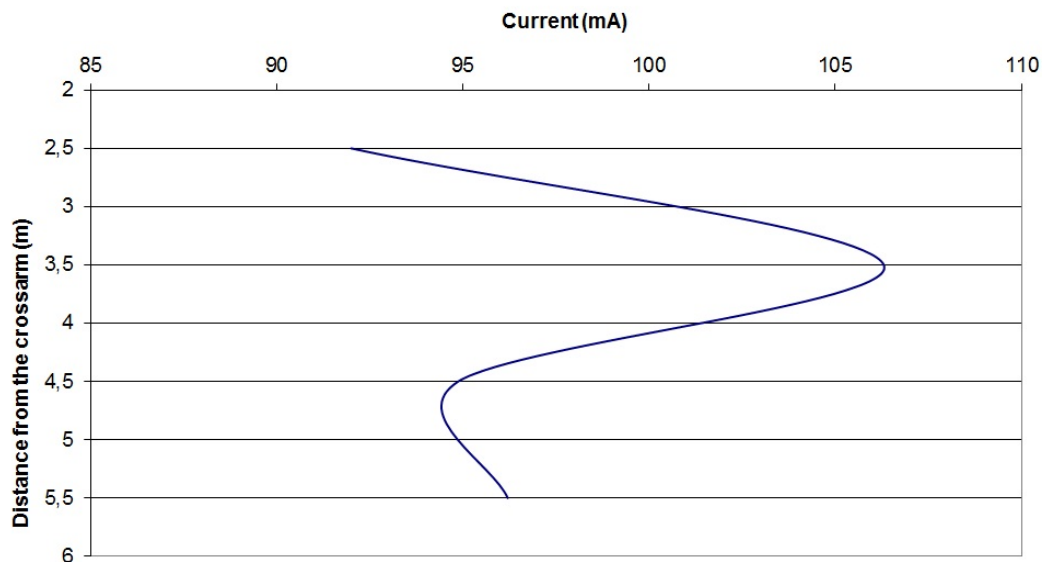
Hur fukttransporten går i ett död, impregnerad och upprätt stående stolpe är inte helt klarlagt.

Under projektet vunna erfarenheter

Under stora delar av mättiden har det varit mycket hög isolation i trästolpen mot jord. Men eftersom stora variationer observerats så kvarstår faktum att trästolpar kan leda ström under vissa förhållanden.

Under ett mättillfälle uppmättes en total ström genom en stolpe till 250 mA. Vid samma tillfälle mättes 106 mA genom motståndet. Vid de flesta mättillfällen uppmättes betydligt lägre strömmar, omkring 2 mA till 3 mA.

Den stolpe där högsta värdet kunnat mätas var impregnerad med arsenik för 20 år sedan och trädet har 66 årsringar. Vi kan dock utifrån de här mätningarna inte utesluta de övriga modellerna som möjliga strömledare.



Figur 3 Ström genom 3 k Ω motståndet vid varierat avstånd till metallregeln

För att kunna dra korrekta slutsatser behövs fler mätningar på ett större urval av stolpar. Stolpen som uppvisade högsta strömmen hade nyligen blivit försedd med fuktgivare. Eftersom inga data finns för hur fukten varit i stolpen tiden före mättillfället kan inga tydliga slutsatser dras.

Mätningarna visar att högsta värdet på strömgenomgång för klättraren sker på mitten av höjden på stolpen. Detta gäller oavsett impregneringstyp och väderförhållande.

Mätningar på den arsenikimpregnerade 20 år gamla stolpen visade vid ett annat mättillfälle 100mA genom hela stolpen men absolut ingenting genom motståndet på 3 k Ω . Varken spänning eller ström kunde då mätas över 3k Ω -motståndet. En förklaring kan vara att ytan vid det tillfället helt torr. Däremot så kan det ha varit fuktigt innanför ytan.

Under de mätningar som utförts har spänningar och strömmar registrerats vid de jordfel som utförts. Det kan fastställas att normala reläskydd inte har möjlighet att koppla bort ledningar vid jordfel i trästolpar.

De lägsta nivåer på resistans i trästolpar som kunnat konstateras under projektet är av storleksordningen $25\text{k}\Omega$. Det ska då jämföras med reläskydds kravet på $5\text{k}\Omega$.



Bild 2 Brand i trästolpe under pålagd spänning på metallregeln

Under inledande förstudie justerades mätinstrumenten och fasspänning kopplades till metallregeln på en helt ny snabbtorkad saltimpregnerad stolpe. En medföljande jordlina placerad 50cm under hängseln på metallregeln vilket är ett förekommande sätt att bygga. En kort tid efter att spänningen kopplats på så började stolpen kola/brinna. Inte heller här löste reläskydden utan spänningen slogs ifrån manuellt.

När en stolpe har varit fuktig och sedan frusit ihop så har det uppstått speciella situationer. Vid ett mättillfälle hade det varit ca -20°C under en längre tid. Efter pålagt jordfel ökade strömmen i stolpen samtidigt som även spänningen ökade över $3\text{k}\Omega$ motståndet. Efter 25 minuter avbröts försöket för att inte en skada skulle uppstå på provstolpen.

Kontroller på andra platser

Under besiktning av en 10kV-kraftledning erhöll montören en spänning och ström som han reagerade på. Vid tillfället gnuggade montören på årtalsspiken som visas i Bild 3 för att kunna läsa vad som stod på den.



Bild 3 Årtalsspik på kraftledningsstolpe

Vid den kontroll som gjordes genast med en enkelt handhållet mätinstrument där spänningen mättes mellan årtalsspiken och en tråd som stoppades ner i marken erhöll man en spänning på 160V.

Den kontroll som utfördes dagen efter visade betydligt lägre spänning på 50V. Vädret hade då övergått från regn till -5 C

Någon ström kunde inte uppmätas. Här kan det bero på flera orsaker men mätmetoden var och är fortfarande under utveckling.

Det som däremot visade sig fungera mycket tydligt var en kontroll med en kapacitiv spänningsprovare VTU307. Med den fick man en tydlig signal om elektriskt fält invid stolpen. Efter att strömmen brutits och alla arbetsmoment var utförda kunde det konstateras att isolatorn var helt av, se Bild 4. Samtidigt visade det sig att faslinan var avbränd och endast hade najtråden för isolatorn som strömledare.



Bild 4 Trasig isolator

Vid senare kontroller har det med hjälp av en kapacitiv spänningsprovare VTU307 hittats flera isolatorer som visat sig alla vara skadade. Hur mycket som man missat vet vi inte. Dock har det hittats många indikerande isolatorer som ännu inte är utbytta.

Utredningen har visat på ett behov av en fastställd mätmetod som tydligt anger spänning och ström på ett vid alla situationer likartat sätt. Det har inte kunnat genomföras i samband med projektet och med de provstolpar som funnits.

Orsaken är att vid samtliga fall har stolparna varit alltför isolerande.

Analys

Förutsättningen för att kunna dra några slutsatser av mätningarna är att en tillräckligt hög ström flyter genom stolpen och genom det parallellkopplade 3 k Ω motståndet. Under de månatliga mätningarna har inte ett tillräckligt statistiskt stort underlag för fortsatta analyser erhållits.

Genom att analysera den fuktdata som registrerats i stolpen och det regndata som loggats i väderstationen dras slutsatsen att fler parametrar beträffande trästolparna måste inkluderas i framtida analyser. Trädets ålder då det fälldes för att sedan bli en kraftledningsstolpe är en parameter som bör tas med.

Vid borrhovning av alla stolpar på laboratorieplatsen där årsringarna räknades visade det sig att den stolpe som kraftigt avvek från de övriga beträffande fuktkvot var den klart mest snabbväxta trädet.

Alla stolpar var av samma dimension.

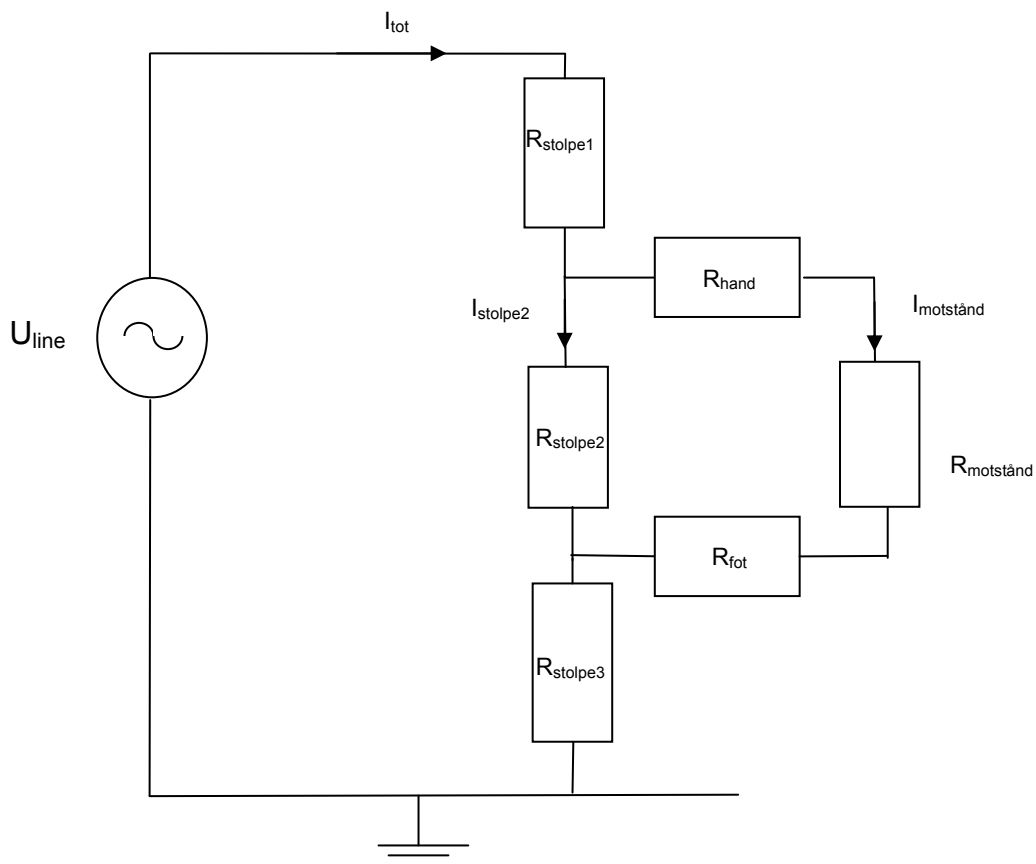
Provborrhovningen utfördes på motsvarande höjd över marken på samtliga stolpar. Det förutsattes att alla stolpar behandlats ungefär lika beträffande borttagning av yta/bark. De utvalda stolparnas årsringar varierade mellan 53 st till 146 st. Trädets ålder fanns inte med som en parameter vid projektets början och testades endast i projektets slutskede. De stolpar med störst variation visades vara de referensstolpar där inga mätningar med pålagd fasspänning gjorts.

I nuläget kan inga slutsatser dras om det är negativt med få årsringar för en stolpe av samma dimension gentemot en med många årsringar.

Ett snabbvuxet träd kan ha andra fördelar vid torkning eller impregnering som inte direkt inses.

Inte heller snabbtorkad eller långsamtorkad trästolpe har gett något entydigt svar på hur det påverkar stolpens förmåga att leda ström.

Elektrisk modell för en trästolpe



Figur 4 Schematisk modell över mätmetoden

Stolpen delas i ett antal R_{stolpe} eftersom det parallell kopplade motståndet flyttas 1 meter vid varje förnyad mätning.

Utöver själva stolpen behöver man lägga till ett resistansvärde för kopplingen mot marken. Det värdet blir starkt beroende på markresistiviteten.

I modellen syns det mycket tydligt vad som kan göras för att minska risken för strömgenomgång vid klättring.

Det är att se till att både resistansen för hand och fot hålls mycket hög.

Förslag till fortsättning

Ett antal slutsatser har kunnat dras från projektet men det finns behov för vidare utredning.

1.7 Framtid inriktade studier

Eftersom trädets ålder identifierats som en tydlig parameter beträffande fuktens in- och uttransport måste den parametern finnas dokumenterad för de stolpar som ska ingå i framtida provmätningar med spänning enligt modellen.

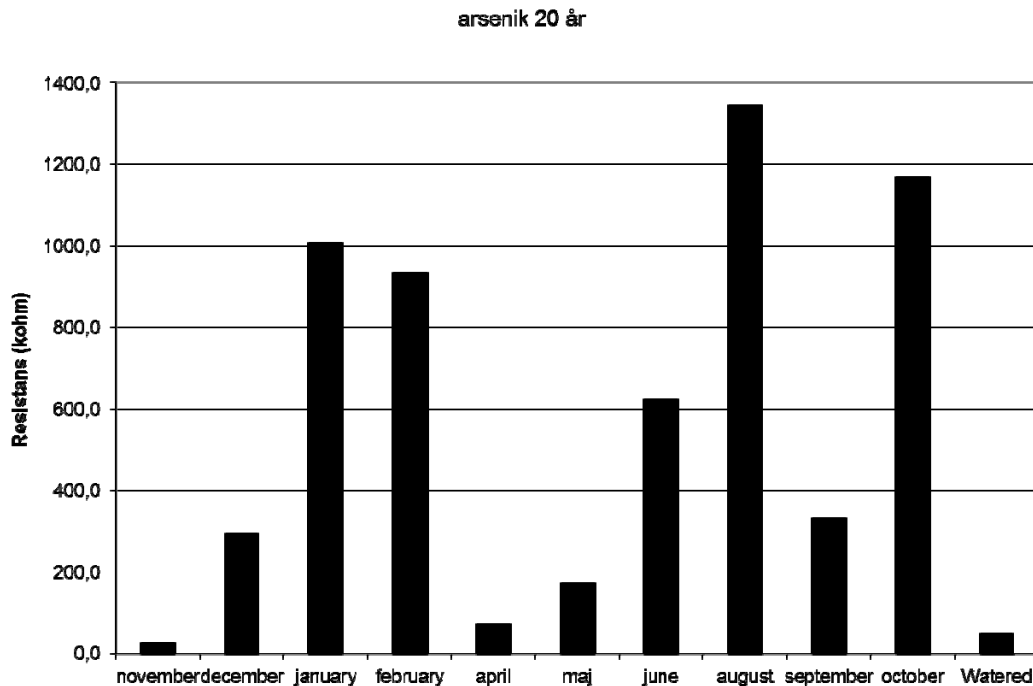
Det är då önskvärt att prova både snabbväxande och långsamt växande.

Samtidigt ska stolpar som impregnerats med de impregneringsmetoder som nu används eller planeras komma till användning inom snar framtid vara med.

Stolparna måste vattenbegjutas under en längre tid för att sedan genomgå mätningar under kontrollerade former. En naturlig klimatpåverkan räcker inte.

Ett försök att på konstgjord väg fukta stolparna gjordes under projektet. Under tre veckor duschades stolparna med vatten. Det skedde tidsstyrt med intervaller under natten. Under de tre veckor som stolparna vattnades var det temperaturer med plusgrader och sol dagtid. Trots att stolparna hann torka en del under dagtid resulterade försöket i fuktiga stolpar där låga impedansvärden kunde uppmätas. Maximalt värsta nivå på fukthalten i stolparna uppnåddes dock inte.

Stolparna fuktades med ett slang system som byggdes mellan stolptopparna. Från varje stolpe lindades en slang som var genomsläpplig i hela sin längd. Det medförde att i stort sett allt vatten som användes endast hamnade på stolparna. För att efterlikna regnet så lindades betydligt fler varv högre upp i stolpen än längre ner. Det uppmärksammades veckor efter avslutad vattenbegjutning att stolpar blir betydligt fuktigare uppe vid metall regeln än längre ner. Slutsatsen blev att regeln fungerar som en vattenledare in mot stolpen. Det skulle då innebära en betydligt bättre elektrisk koppling mellan regeln och stolpen än den som erhöles vid den konstgjorda vatten begjutningen.



Figur 5 Årsvariation av impedans för en 20 år gammal arsenikimpregnerad stolpe

Resultatet från vattenbegjutningen blev mycket tydligt mot arsenikimpregnerad stolpe (se Figur 5) och en ny snabbtorkad stolpe med saltimpregnering. . Däremot visade motsvarande långtidstorkade stolpe inte någon tydlig tendens mot låg impedans efter att ha vattnats.

I Sverige förekommer det att jord finns uppdraget och anslutet i kraftledningsstolpar. Det kan vara oisolerade stag eller en längsgående jordlina. Beroende på om den längsgående jordlinan är monterad på en isolator eller direkt metalliskt ansluten mot trästolpen så uppstår olika situationer vid riskbedömningen.

Speciellt måste det läggas märke till den tydliga avkortningen av trästräckan då det är en metallregel och samtidigt en längsgående jordlina monterad utan isolator. Där finns det mycket stor sannolikhet att stolpen börjar brinna vid ett isolatorhaveri eller en faslina som lossnat och hamnar på regeln.

För framtida projekt bör olika grovlek på stolpar testas för att se hur sambanden kan se ut. Motsvarande mätningar bör också göras för högre spänningsnivåer än 10 kV

På befintlig laborations plats går det med rimliga medel utföra mätningar med 36kV huvudspänning.

1.8 Studier mot befintliga stolpar

Det finns idag i Sverige en stor variation på kraftledningsstolpar i befintligt luftledningsnät. Det kommer att ta lång tid ersätta trästolparna med andra byggmetoder. Här bedöms det som nödvändigt att finna en metod som fungerar för arbete med spänningssatt fasledare utan att ledningen alltid måste göras spänningslös. Ett förslag redovisas i Bilaga 2.

Samtidigt behövs en översyn utifrån det resultat som erhållits i projektet gentemot utformning byggmetoder mot nya trästolpar eller framtida isolerstolpar.

1.9 Allmänhetens möjlighet till att utsättas av för höga strömmar

En frågeställning i projektets slutskede var det kunde finnas risk för allmänheten att beröra en trästolpe med trasig isolator. Ett försök gjordes då genom att ett fåtal stolpar valdes ut och vattnades som beskrevs i avsnitt 1.7. Som strömavtagare användes skruvtving med metallyta som skruvades mot stolpen. Den strömavtagare som använts vid klättring har ansågs ha orealistisk bra kontakt med trästolpen. Detta eftersom allmänheten normalt inte använder verktyg vid kontakt med stolpen.

Mätningarna visade att med utanpåliggande kontakt mot en fuktig trästolpe, och koppling mot annat jordat föremål gav upphov till en ström över 30mA genom ett 3k Ω motstånd.

Slutsatsen blir att isolatorer av utförandet med metallpinne inuti porslinet bör ersättas av modernare isolatorerna där det finns möjlighet till att man samtidigt kan beröra trästolpen och annat jordat föremål. Jordade föremål som kan finnas i närheten av kraftledningsstolpar kan t.ex. vara viltstängsel eller vägräcken. Ett alternativ kan även vara att jorda regeln.

1.10 Byggmetoden på luftledning

Under projektet har det blivit mycket tydligt att flera av de byggbeskrivningar som används i Sverige kan skapa risk att en montör kan råka ut för potentialskillnader vid klättring i en trästolpe. Främst är det då olika typer av metalldetaljer som kopplas in i trästolpen på olika avstånd från varandra. Exempel på det kan vara stag som sitter på olämpliga avstånd mot metallregeln. Det kan även vara en flygskylt av metall som visas i Bild 5. Naturligtvis så blir det även fallet då en medföljande jordlina finns i trästolpen.

Andra länder har andra byggbeskrivningar som får anses säkrare än Svensk praxis t.ex.:

- ✓ Norge: Där förbinds jordlina och metallregeln alltid i varje stolpe.
- ✓ USA: Varje trästolpe har ett eget kompletterande jordtag utöver den medföljande jordlina som finns med hela tiden.

Det finns i beskrivet i ESA att särjordade nätstationer ska samjordas innan arbete kan utföras.

Man ska lägga märke till att motsvarande farliga situation med risk för samtidig beröring av olika potentialer kan finnas i vanliga kraftledningsstolpar. Där är det nu närmast slumpen som avgör vilka skilda potentialer som erhålls genom trästräckan som blir kraftigt reducerad då metaller sätts på olika höjd i stolpen. Det gäller vid skadad isolator.

Här är det av stor betydelse även hur mycket av trästräckan som förkortas genom att metallstag monteras högt upp i stolpen. Trästräckan blir då endast någon meter i bästa fall till skillnad på en ren stolpe då sträckan kan bli betydligt längre. Jordens potential som är nära noll lyfts då upp högt i stolpen. Det var precis motsvarande situation som vid dödsolyckan. Med den skillnad att då var det jorddonet som lyfte markens potential upp i stolpen.



Bild 5 Stag samt en flygskylt av metall anslutet i en kraftledningsstolpe

Det som monteras i en kraftledningsstolpe bör vara av icke ledande material. I Tyskland används idag regler av icke ledande material. Främst är orsaken att fåglar sätter sig på den tidigare jordade metallregeln och samtidigt kom i beröring med en av faserna. Fågeln fick därigenom för hög ström genom sig.

De möjliga potentialskillnader som kan förekomma visar sig kanske mest genom att stolpar börjar brinna. Det är inte så frekvent att klättring utförs i trästolpar. Det saknas i Sverige statistik över stolpbränder men samtal med ett stort antal montörer visar att majoriteten av dem stött på brandskadade stolpar.

En brand i en kraftledningsstolpe kan innebära att faslinor ramlar ner till olämpliga höjder över marken och där utgöra en fara för allmänheten.

Slutsats

Trästolpar har funnits och använts i över hundra år inom kraftbranschen. Problemet med ström i stolpar i samband med skador på isolatorer har inte varit ett stort problem tidigare. Nu har det uppmärksammats i samband med en olycka. Om fenomenet med ström i kraftledningsstolpar blivit vanligare är omöjligt att säga. Dock har det visat sig att det under årens lopp tillkommit ett antal nya hanteringar av trästolpar. Konsekvenserna av det har inte beaktats fullt ut. I vart fall har det blivit mycket tydligt att dokumentationen inte följt med de nya metoderna. Sedan har det inte funnits med någon metod för att kontrollera stolpens elektriska egenskaper vid olika situationer.

Arbetsmetoder måste tas fram som ger tillräckligt skydd då arbete ska utföras på en spänningssatt luftledning. Vid vissa riggningstyper måste bedömningen vara att det inte går utföra arbetet med tillräcklig säkerhet. Då måste arbetet utföras spänningslöst.

En internationell samordning bör upprättas och även nationellt bör olika branscher samarbeta. Här måste forskare och branschfolk arbeta tillsammans. Speciellt stor vikt måste läggas vid terminologin som används vid beskrivning av nya metoder. Trä specialister och branschfolk inom elkraft måste bruka samma ord om samma sak. En viktig insikt är också att mycket av problematiken inte är specifik för trästolpar utan gäller kraftledningsstolpar oavsett material.

Arbetet bör ge underlag för en standard.

- Dokumentation och kvalitetskontroll som är anpassade till varandra
- Individuell identitet som möjliggör uppföljning vid framtida utredningar
- Branschkrav vid beställning
- Anpassning av arbetsmetoder

En rekommendation är ett samordnat projekt med:

- Kraftbranschen
- Telebranschen
- Träforskningen genom Luleå Tekniska Universitet
- SP

Utöver det som nämnts ovan så kvarstår det faktum att det i de flesta fall handlar om isolatorer som monterades på 1960 och 70-talet av typen med en metallpinne.

Det skulle kunna innebära att sannolikheten ökar ju längre tiden går för att det ska finnas en trasig isolator och mycket fuktig stolpe, samtidigt som en person klättrar i stolpen.

Därför måste det finnas tydliga instruktioner hur det personliga skyddet ska utökas vid klättring i trästolpar med spänningssatta faslinor.

Vidare så har det under projektet blivit mycket tydligt att de hitintills använda byggmetoder onödigtvis bygger in fällor där det mycket enkelt kan bli möjligt att vid klättring komma i kontakt med olika spänningspotentialer. Här är det kanske i första hand utbildning/information om riskerna med olika potentialer som kan uppstå om en isolator har havererat.

Med hjälp av mätmetod med kapacitiv spänningsmätare har många trasiga isolatorer hittats och ersatts av nya.

Det har även visat sig att nya isolatorer utan metallpinne gått tvärt av med resultatet att den spänningssatta faslinan hamnar mot regeln.

De bestyckningar som används kan även om de används vid bygge av helt isolerande stolpar som komposit skapa risk för samtidig beröring av olika potentialer. Därför behöver utveckla nya byggsätt för alla stolptyper.

Bilaga 1: Mätmetod för att finna trasiga isolatorer

En av förutsättningarna för att det ska gå ström i en trästolpe är havererad isolator.

Under arbetet hittade vi en enkel mätmetod där den kapacitiva spänningen mäts invid trästolpen ca 1,5 meter över marken.

Med hjälp av en enkel kapacitiv spänningsprovare har vi senare vid flera tillfällen hittat defekta isolatorer som gjort en trästolpe blir mer eller mindre strömförande. Efteråt har många isolatorer bytts ut och konstaterats vara defekta.

Det man ska veta är att om det är stora osymmetrier på fasledarnas placering så fungerar inte metoden. Det handlar då om kroklinjer eller vissa vinkelkonstruktioner. Dessutom så har det gett bäst resultat för 10- och 20-kV ledningar.

Mycket tydligt är dock att under den tiden metoden använts så har många trasiga isolatorer kunnat ersättas i samband med planerat underhåll.

Metoden är inte användbar då en exempelvis 130kV ledning går parallellt med den 10 eller 20-kV ledning som man försöker finna skadade isolatorer på.

Utöver det så bör man se upp då det ligger mycket snö på regel där isolatorerna är fastsatta. Visningen kan då bli falsk åt båda hållen. En trasig isolator kan missas eller en hel kan signalera som om den är defekt. Samtidigt ska väl noteras att en besiktning kanske inte bör utföras på snötäckt regel. Det blir ju i annat fall också mycket svårt att upptäcka trasig najning.

Bilaga 2: Metod svag jordning

Det är ett exempel på hur det skulle kunna utföras en by pass för eventuell jordfelsström under ett arbete i en trästolpe då faserna fortfarande är spänningssatta. Metoden kan användas då ett arbete ska utföras där man klättrar i trästolpen men definitivt inte ska vara i närheten av faserna. Vi har under arbetet med de defekta isolatorerna stött på flera tillfällen där det endast varit slumpen att faslinan inte släpp från isolatorn. Ett annat påträffat fel är där toppen på isolator varit helt lös ovanpå resten av isolatorn. Faslinan skulle då vid klättring mycket enkelt kunnat trilla ner på regeln.

Men samtidigt ska det uppmärksammas att det för närvarande inte är en fullt ut accepterad metod. Men den kanske kan utvecklas eller omvärderas. Den är så pass enkel och användbar att den i vart fall bör nämnas.

Metoden bygger på att eftersom det finns metalldelar i trästolpen som inte är kopplade till jord behöver de anslutas mot jord eller kopplas förbi by pass.

Det görs med en avsäkrad klen tråd som endast behöver klara av en ström upp mot några enstaka Ampere. Tråden fästs mot den hängsel av metall som sitter mellan regel och trästolpen. Arbetet görs från marken.

Tråden med sin säkring blir då enkel att lyfta upp till den höjd som behövs. Det till skillnad mot att lyfta upp och ansluta ett jorddon som klarar av alla förekommande jord- eller kortslutningsströmmar på arbetsplatsen.



Bild 6 Stång för Metod svag jordning OBS säkringen.

Just den plats där tråden kopplas in utgör då en bättre ledare än trästolpen mot det tillfälliga jordtag som behöver anordnas på arbetsplatsen.

Eftersom kravet på en friledning är att jordfelsskydden ska vara så känsliga att bortkoppling sker då fasen har lägre resistans än 3 -5 k Ω mot jord så ska det tillfälliga jordtaget vara lägre värde än 2k Ω . Då finns marginal.

En hel trästolpe utan stag eller andra metalledar har som lägst 25 – 80k Ω . Det är mycket tydligt att jordfelsskydd inte är så känslig att bortkoppling kommer ske.

Säkringen som ska vara 10 – 25A måste finnas om det skulle utformas till ett jordfel som samtidigt råkar uppstå på två olika faser. Då kan det bli tal om betydligt högre strömmar.

Den ström som blir ett singel jordfel handlar om enstaka ampere som mest. Då kommer säkringen klara av den ström som förekommer och då kommer jordfelsskyddet koppla bort den farliga situation som under arbetet uppstått.

Om det skulle uppstå två samtidiga jordfel på olika faser på det ledningsnät som matas från samma fördelningsstation blir det betydligt större strömmar. Det är just för den situationen som säkringen ska finnas i kretsen. Den kommer då att bryta på grund av den stora strömmen.

Användningen av den här metoden skulle vara då arbete ska utföras där det finns flera möjliga olika potentialer som är svåra att sammankoppla innan arbetet påbörjas. Bye pass på hela stolpen är då mitt förslag.

Bilaga 3: Standarder som behandlar trästolpar

SS-EN 14229

Träkonstruktioner - Trästolpar för kraft- och teleledningar – Krav

Kommentar: den tar bland annat inte med något om elektrisk ledningsförmåga.

SS-EN 50423

Elektriska friledningar över 1kV(AC) och upp till och med 45kV(AC)

Kommentar: trästräcka oavsett impregnerad eller oimpregnerad har ingen betydelse! Det stämmer dåligt med det vi fått fram.

Det här är endast ett urval.

Referenser

- [1] Elsäkerhetsverket (2008). Elolyckor och elbränder 2008.
http://www.elsakerhetsverket.se/Global/PDF/Elolyckor/Elolycksfallsrapporter/Elolyckor_2008_webb.pdf
- [2] Wahlberg, M., & Rönnberg, S. (2010). Currents in power line wood poles: a measuring method. Nordic Electricity Distribution and Asset Management Conference, Aalborg, Danmark.
- [3] Wahlberg, M., & Rönnberg, S. (2011). Currents in power line wood poles. i Proceedings of CIRED 21st International Conference on Electricity Distribution. (s. Paper 0347). (CIRED Conference Proceedings).
- [4] M. Darveniza, G. Limbourn and S. Prentice, "Line design and electrical properties of wood," Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions On, pp. 1344-1356, 1967.
- [5] R. Filter, "The influence of wood pole preservatives on wood fire and electrical safety," Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions On, pp. 3089-3095, 1984.
- [6] R. Filter and J. Mintz, "An improved 60 Hz wood pole model," Power Delivery, IEEE Transactions On, vol. 5, pp. 442-448, 1990.
- [7] G. Lusk and S. Mak, "EHV wood pole fires: Their cause and potential cures," Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions On, vol. 95, pp. 621-629, 1976.
- [8] S. Pathak, "Investigation of the Influence of Leakage Current on Wooden Poles for High Voltage Power Distribution Line," .
- [9] S. Pathak, P. Sokolowski, A. Dwivedi, F. Buratto, X. Yu and K. Wong, "Investigation of pole fire on a 22kV wooden power pole structure," in Symposium on Electrical Energy Evolution in China and Australia, 2008, .
- [10] S. Pathak, Leakage Current in Wooden Structures used for Power Distribution, 2011.
- [11] T. Repo, M. Zhang, A. Ryyppö, E. Vapaavuori and S. Sutinen, "Effects of freeze-thaw injury on parameters of distributed electrical circuits of stems and needles of Scots pine seedlings at different stages of acclimation," J. Exp. Bot., vol. 45, pp. 823-833, 1994.
- [12] P. J. Sokolowski, A. Dwivedi, S. Pathak, F. Buratto and X. Yu, "Investigating the impedance of a wooden power pole after a pole fire," in Power Engineering Conference, 2008. AUPEC'08. Australasian Universities, 2008, pp. 1-6.
- [13] M. Tiitta, P. Kainulainen, A. M. Harju, M. Venäläinen, A. Manninen, M. Vuorinen and H. H Viitanen, "Comparing the effect of chemical and physical properties on complex electrical impedance of Scots pine wood," Holzforschung, vol. 57, pp. 433-439, 2003.
- [14] K. L. Wong, S. Pathak and X. Yu, "Leakage current flow through wooden pole structures of varying age on overhead distribution system," in Power Engineering Conference, 2007. AUPEC 2007. Australasian Universities, 2007, pp. 1-6.

- [15] K. Wong, S. Pathak and X. Yu, "Aging effect on leakage current flow in wooden poles," Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions On, vol. 16, pp. 133-138, 2009.
- [16] K. Wong and M. Rahmat, "Feasibility study of leakage current shunting method based on the ladder network model," Power Delivery, IEEE Transactions On, vol. 25, pp. 1133-1137, 2010.
- [17] E. Nived, "Elektrisk Anläggningsteknik kap 4 Elektriska Kraftledningar" Kompendieutgivningen Tekniska gymnasiet i Stockholm 1968

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