



**Universitatea POLITEHNICA din București
Facultatea de INGINERIE ELECTRICĂ
Școala Doctorală de INGINERIE ELECTRICĂ**

**CERCETĂRI PRIVIND EFICIENTIZAREA DIAGNOZEI
DEFECTELOR DIN LINIILE ELECTRICE ÎN CABLU**

REZUMAT

Doctorand: Ing.Marius-Florian PREDUȘ

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof.dr.ing. Emil CAZACU	de la	Universitatea POLITEHNICA din București
Conducător de doctorat	Prof.em.dr.ing.Florin IONESCU	de la	Universitatea POLITEHNICA din București
Referent	Prof.dr.ing. Doru VĂȚĂU	de la	Universitatea Politehnica din Timișoara
Referent	Prof.dr.ing. Marian GĂICEANU	de la	Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Referent	Prof.dr.ing Mihai Octavian POPESCU	de la	Universitatea POLITEHNICA din București

CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

LISTA DE NOTAȚII.....	7
INTRODUCERE.....	8
1. ACTUALITATEA TEMEI.....	8
2.OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI.....	8
CAPITOLUL 1	
TEORIA DESCĂRCĂRILOR ÎN DIELECTRICI.....	10
1.1. PROPRIETĂȚILE ELECTRICE ALE DIELECTRICILOR.....	10
1.1.1. Tipuri de polarizări electrice. Timp de relaxare.....	11
1.1.2. Conductivitatea electrică a dielectricului.....	12
1.1.3. Permitivitatea electrică. Pierderi în dielectric.....	13
1.2. CALCULUL REZISTENȚEI DE IZOLAȚIE A DIELECTRICULUI.....	15
1.3. CARACTERISTICILE FIZICE, TERMICE ȘI MECANICE ALE DIELECTRICILOR.....	17
1.3.1. Influența umidității și a agenților chimici asupra materialelor electroizolante solide.....	17
1.3.2. Influența temperaturii asupra dielectricului solid.....	19
1.3.3. Caracteristici mecanice.....	19
1.4. ARBORESCENȚE ELECTRICE.....	19
1.5. RIGIDITATEA DIELECTRICĂ. STRĂPUNGEREA DIELECTRICULUI SOLID.....	20
1.6. ANALIZA VACUOLEI GAZOASE DIN IZOLAȚIA SOLIDĂ SUB ACȚIUNEA CÂMPULUI ELECTRIC.....	23
1.7. MATERIALE ELECTROIZOLANTE.....	25
1.7.1. Clasificarea materialelor electroizolante.....	25
1.7.2. Materiale electroizolante performante.....	26
1.7.3. Materiale electroizolante cu memoria formei.....	26
1.8. CONCLUZII.....	27
CAPITOLUL 2	
DEFECTE POSIBILE ȘI CAUZE DE DEFECTARE ÎN CABLURILE DE ENERGIE ELECTRICĂ.....	28
2.1. CLASIFICAREA CABLURILOR DE ENERGIE ELECTRICĂ.....	28
2.1.1. Clasificarea după criteriul utilizării.....	28
2.1.2. Clasificarea după numărul de conductoare.....	28
2.1.3. Clasificarea după modul de comportare la foc.....	29
2.1.4. Clasificarea după tipul izolației.....	29
2.2. STRUCTURA ȘI PARAMETRII CARACTERISTICI AI CABLURILOR DE ENERGIE ELECTRICĂ.....	31
2.2.1. Principalele elemente constructive ale cablurilor.....	31
2.2.2. Parametrii electrici și termici.....	32
2.2.3. Determinarea parametrilor electrici specifici.....	33
2.2.3.1. Rezistența ohmică.....	33
2.2.3.2. Reactanța inductivă.....	34
2.2.3.3. Capacitatea aparentă de serviciu (susceptanța).....	34
2.2.3.4. Conductanța.....	35
2.3. ACCESORII FOLOSITE LA CONSTRUCȚIA LINIILOR ÎN CABLU.....	36
2.4. SIMBOLIZAREA CABLURILOR ELECTRICE.....	40
2.5. ÎNCERCĂRILE CABLURILOR DE ENERGIE ELECTRICĂ.....	41
2.5.1. Măsurarea rezistenței de izolație.....	41
2.5.2. Încercarea cu tensiune mărită.....	42
2.6. CERCETĂRI DE LABORATOR ASUPRA DEGRADĂRII ACCELERATE A IZOLAȚIEI CABLURILOR DE ENERGIE ELECTRICĂ.....	43
2.6.1. Descrierea instalației utilizate.....	43
2.6.2. Cercetări experimentale.....	46

2.6.2.1. Analiza comportării izolației în mediul acid, la diferite tensiuni și în lipsa tensiunii	47
2.6.2.2. Interpretarea rezultatelor.....	48
2.7. DEFECTE ȘI MECANISME DE DEGRADARE LA CABLURILE DE ENERGIE ELECTRICĂ.....	50
2.8. ANALIZA AMDE A DEFECTELOR ÎN CABLURILE DE ENERGIE.....	51
2.8.1.Factori de degradare a izolației cablurilor din exploatare.....	53
2.9. EFECTELE APEI ACIDE CU CONȚINUT DE STERIL ASUPRA IZOLAȚIEI CABLURILOR ELECTRICE.....	54
2.9.1.Statistica incidentelor raportată la pH-ul apei acide din vecinătatea traseelor de cabluri.....	55
2.9.2.Cercetări privind procesul de degradare accelerată a izolației sub efectul poluării cu apă acidă cu conținut de steril.....	58
2.10. CONCLUZII.....	60
CAPITOLUL 3	
MODELAREA MATEMATICĂ ȘI SIMULAREA DEFECTELOR ÎN CABLURILE DE ENERGIE ELECTRICĂ.....	
3.1. MODELE MATEMATICE DE EVALUARE A PERFORMANȚELOR LINIILOR ELECTRICE ÎN CABLU.....	62
3.1.1.Noțiuni de fiabilitate.....	62
3.1.1.1. Modelul matematic al fiabilității.....	63
3.1.1.2. Funcția de distribuție Weibull.....	66
3.2. PREDICȚIA DEFECTĂRIILOR UTILIZÂND O APLICAȚIE SOFTWARE.....	67
3.2.1.Descrierea detaliată a modului de operare a programului Easyfit Profesional 5.6.....	67
3.2.2.Prezentări de caz - Estimarea duratei maxime de funcționare pe baza duratelor de funcționare între două defecte.....	73
3.2.2.1. Cazul I. A- LES 20kV(PT 5094) Lugoj, județul Timiș.....	74
3.2.2.2. Cazul II.A - LEC 20 kV aparținând LEA Ponor, zona Oravița, jud. Caraș-Severin.....	80
3.2.2.3. Cazul III.A- LES 6 kV Bârzava Reșița, jud.Caraș-Severin.....	88
3.2.2.4. Cazul IV.A- LES 20kV(PT 5005), aparținând rețelei de distribuție Lugoj, județul Timiș.....	91
3.2.3.Estimarea duratei maxime de funcționare între două defecte pe baza curenților de conducție prin izolație.....	95
3.2.3.1. Cazul I. B- LES 20kV(PT 5094) Lugoj, județul Timiș.....	96
3.2.3.2. Cazul II.B - LEC 20 kV aparținând LEA Ponor, zona Oravița, jud. Caraș-Severin.....	98
3.2.3.3. Cazul III.B- LES 6 kV Bârzava Reșița, jud.Caraș-Severin.....	99
3.2.3.4. Cazul IV.B- LES 20kV(PT 5005), aparținând rețelei de distribuție Lugoj, județul Timiș.....	100
3.3. VALIDAREA CORECTITUDINII SIMULĂRIILOR PRIN COMPARAREA CU STATISTICA DEFECTELOR REALIZATĂ ÎN URMA MĂSURĂRIILOR.....	102
3.4. CONCLUZII. RECOMANDĂRI.....	103
CAPITOLUL 4	
LOCALIZAREA ȘI DIAGNOSTICAREA DEFECTELOR DIN CABLURILE DE ENERGIE ELECTRICĂ.....	
4.1. METODE DE LOCALIZARE ȘI DIAGNOSTICARE A DEFECTELOR DIN CABLURILE DE ENERGIE ELECTRICĂ.....	105
4.1.1.Metoda relativă prin impulsuri.....	105
4.1.2.Metoda absolută prin inducție.....	107
4.1.3.Metoda acustică.....	109
4.2. ECHIPAMENTE DE LOCALIZARE ȘI DIAGNOZĂ.GENERALITĂȚI.....	109
4.2.1.Autolaborator de încercare și defectoscopie cabluri electrice.....	110
4.3. MĂSURĂRI REFERITOARE LA LOCALIZAREA ȘI DIAGNOZA DEFECTELOR ÎN CABLURILE ELECTRICE. PREZENTĂRI DE CAZ.....	111
4.3.1. CAZUL I. Cabluri de joasă tensiune pozate în tuburi flexibile sau rigide din materiale PVC.....	111
4.3.2. CAZUL II. Cabluri de joasă tensiune la care nu s-a refăcut continuitatea armăturii de oțel sau a ecranelor pe porțiunea de manșon.....	114



4.3.3. CAZUL III. LES 0,4 kV(PTZ 4038), cablu cu armătură metalică de tip ACYABY, din localitatea Reșița, județul Caraș-Severin.....	118
4.3.4. CAZUL IV. LES 20 kV Călnic-Mociur, cu ecran din sârmă de cupru, din localitatea Reșița, jud.Caraș-Severin.....	121
4.3.5.CAZUL V. LES 20 kV(PTZ 5072) din două tronsoane cu izolație diferită, localitatea Lugoj, județul Timiș.....	127
4.3.6.Concluzii și recomandări ca urmare a măsurărilor efectuate.....	129
4.4. SCHEME LOGICE DE UTILIZARE A INSTALAȚIEI DE DEFECTOSCOPIE.....	130
4.5. CONCLUZII.....	134
CAPITOLUL 5	
CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE.....	135
5.1. CONTRIBUȚII PERSONALE.....	137
5.1.1.Contribuții teoretice și practice.....	137
5.2. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE.....	140
ANEXE.....	141
Anexa 1	
Descrierea metodei AMDE.....	141
Anexa 2	
Reflectometrul digital de prelocalizare a defectelor, de tip: KAB 31-E Seba Dynatronic și Teleflex T01/6 Hagenuk.....	143
Anexa 3	
Receptorul mobil magneto-acustic pentru localizarea exactă,de tip: SWE 90, Digiphone Hagenuk și Digiphone+locator de traseu Megger.....	146
Anexa 4	
Generatorul de audiofrecvență, de tip: FLS 500-4 SebaDynatronic și Ferrolux FLS 200 SebaKMT.....	147
Anexa 5	
Receptorul mobil de audiofrecvență, de tip: Ferrolux FLE 10 și FLE 90 Q.....	148
Anexa 6	
Descrierea modului de funcționare a instalației autolaboratorului de defectoscopie cabluri electrice.....	149
BIBLIOGRAFIE.....	155

Cuvinte cheie: *dielectric, defect de izolație, factori de degradare,apă cu conținut de steril, identificarea defectului, fiabilitate, probabilitatea defectării, metode de localizare, autolaborator de defectoscopie, scheme logice.*

INTRODUCERE

1. ACTUALITATEA TEMEI

Dezvoltarea continuă a zonelor urbane și extinderea zonelor industriale au generat în ultimii ani o tendință tot mai accentuată de tranziție de la liniile electrice aeriene la cele în cablu și totodată au apărut o serie de probleme legate de funcționarea normală a cablurilor de energie electrică, în ceea ce privește alimentarea consumatorilor casnici și industriali.

Asigurarea continuității în alimentarea cu energie electrică a marilor consumatori industriali și utilizarea de metode cât mai rapide de depistare și remediere a defectelor în cablurile de energie electrică, au impus ample cercetări privind creșterea siguranței în funcționare, investigarea amănunțită a cauzelor de producere a defectelor și producerea de echipamente de diagnoză cât mai performante. Prin urmare, cercetările privind eficientizarea diagnozei defectelor din liniile electrice în cablu reprezintă un domeniu actual, de mare interes, atât pentru firmele de producere și distribuție a energiei electrice, cât și pentru marii producători de cabluri electrice.

2. OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI

În procesul de prelocalizare și localizare a defectelor în cablurile de energie electrică, se utilizează o serie de metode de defectoscopie distructive sau nedistructive, clasice sau specifice. Erorile de măsurare pot fi semnificative și doar o pregătire adecvată și o experiență pentru interpretarea măsurătorilor din partea personalului operator, poate conduce la identificarea defectului rapid, exact și fără pierderi materiale.

Asupra cablurilor de energie electrică aflate în exploatare se manifestă o serie de factori interni și externi care conduc la degradarea și îmbătrânirea izolației electrice, determinând, în cele din urmă, străpungerea acesteia. Descărcările parțiale precum și apariția arborescențelor electrice și de apă, sunt cauze care conduc în cele mai multe cazuri la apariția defectelor în cablurile electrice.

Cunoașterea fenomenelor de natură electromagnetică care se manifestă în jurul cablurilor parcuse de curent electric, a noțiunilor referitoare la polarizarea și străpungerea dielectricilor în câmp electric, sunt esențiale în luarea deciziilor rapide referitoare la operațiunile ce trebuie întreprinse în vederea localizării și reparării defectului, pentru a asigura alimentarea consumatorilor cu energie electrică în timpul cel mai scurt.

La realizarea lucrării s-a utilizat o bogată bibliografie de specialitate, precum și rezultatele practice personale obținute în activitatea de depistare a defectelor în cablurile de energie electrică.

Obiectivele tezei de doctorat sunt:

- Analizarea mecanismelor de degradare și a efectelor acestora asupra izolației cablurilor de energie electrică, elaborarea de soluții în ceea ce privește reducerea ratei de defectare și creșterea siguranței în funcționare a rețelelor de distribuție cu energie electrică;
- Analiza comportării izolației cablurilor de energie electrică la diverși factori de mediu, în zone cu aciditate mare;
- Monitorizarea parametrilor electrici ai cablurilor de energie electrică și estimarea duratei de viață pe baza măsurătorilor efectuate;
- Îmbunătățirea metodelor actuale de diagnoză și combinarea lor în situații mai dificile de depistare a defectelor, în scopul reducerii erorilor de măsurare și a timpului alocat identificării și reparării cablului pentru repunerea cât mai repede în funcțiune;
- Investigarea unor situații reale de prelocalizare și localizare a defectelor în cablurile de energie electrică și elaborarea unor soluții pe baza rezultatelor personale sau a informațiilor obținute de la cei implicați în procesul de defectoscopie.

SINTEZA CAPITOLELOR TEZEI DE DOCTORAT

Teza de doctorat este structurată în cinci capitole, dintre care primele două au caracter teoretic, urmate de capitolele trei și patru cu caracter practic (aplicativ) și capitolul cinci, unde sunt prezentate concluziile și contribuțiile personale rezultate în urma cercetării.

Capitolul 1 - are ca scop clarificarea noțiunilor referitoare la polarizarea dielectricilor în câmp electric, definește noțiunea de rigiditate dielectrică, moment electric, vectorul de polarizare electrică, noțiunea de descărcare electrică, tipuri de descărcări electrice ce pot apărea în structura dielectricului. De asemenea, s-a pus accent pe definirea fenomenelor de străpungere, contornare, studiul făcându-se cu precădere pentru materiale cu izolație solidă.

Proprietatea dielectricului de a se polariza sub acțiunea câmpului electric slăbește valoarea rezistenței totale de izolație a acestuia, concluzionând că nu există în realitate un izolator perfect care să nu permită deloc trecerea curentului electric prin el.

Izolația electrică a echipamentelor aflate în exploatare este supusă unor solicitări de natură electrică, termică, mecanică și de mediu, care declanșează procesul de degradare până în momentul străpunerii dielectricului. Fenomenul de străpungere se caracterizează prin topirea sau evaporarea materialului electroizolant. Dacă pentru dielectricul gazos străpungerea poate să fie reversibilă, în cazul dielectricului solid străpungerea este ireversibilă, necesitând intervenție pentru înlocuirea porțiunii de izolație afectată [1],[2],[3],[7].

S-a concluzionat că în structura materialelor electroizolante solide există cavități (vacuole) rezultate ca urmare a proceselor tehnologice. În aceste vacuole umplute cu gaz, sub acțiunea câmpului electric, au loc descărcări parțiale datorită ciocnirilor purtătorilor de sarcină accelerați de câmp și care se împrăștie în jurul vacuolei, determinând modificări ale intensității câmpului electric. Aceste procese de ionizare și de recombinare, slăbesc proprietățile electroizolante ale dielectricului [20],[21].

În practică, fenomenul de străpungere este precedat de o predescărcare, în care avalanșa de electroni se deplasează către electrozi generând un curent de conducție, și faza de descărcare electrică care conduce în timp la străpungere. De cele mai multe ori descărcarea electrică se manifestă doar pe o porțiune redusă a dielectricului (Fig.1), situație în care se utilizează frecvent expresia "descărcare parțială".

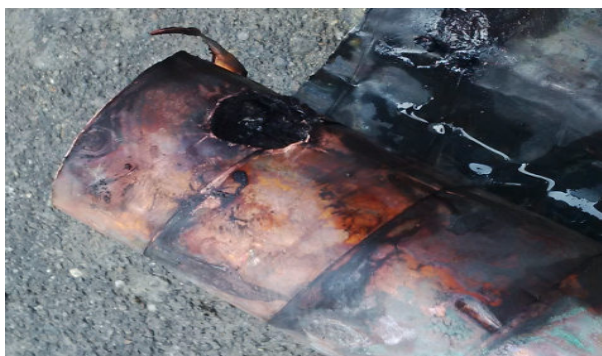


Fig.1. Descărcare parțială ireversibilă urmată de străpungere la un cablu de medie tensiune [16]

Din punct de vedere al umidității, cantitatea de apă care pătrunde în dielectric dă naștere unor canale numite arborescențe de apă, care se formează în apropierea sau la suprafața defectelor din izolație și generează zone cu permitivitate electrică foarte mare, cu concentrație ionică [7],[17],[18]. Cantitatea de umiditate absorbită, înrăutățește proprietățile dielectrice și are efecte mecanice asupra rezistenței de tracțiune și a alungirii la rupere a materialului izolator. Totodată, sub acțiunea câmpului electric, moleculele polare de apă se rotesc, generând pierderi dielectrice datorită lucrului mecanic efectuat.

Un exemplu de arborescență de apă, este prezentat în Fig.2.

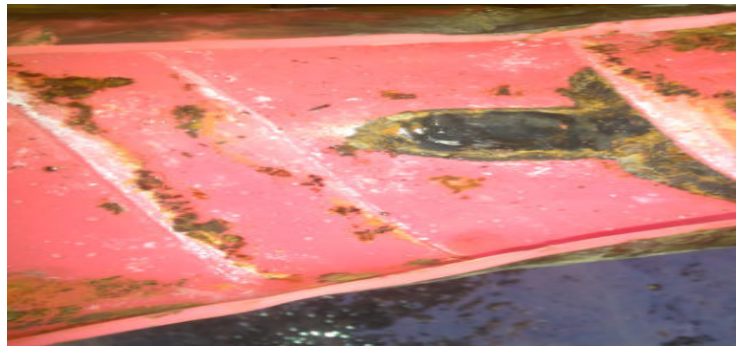


Fig.2 .Efectul arborescenței de apă pe suprafața dielectricului[16]

Materialele electroizolante solide sunt supuse în exploatare unor regimuri de temperatură variabilă care influențează în general durata de viață a dielectricului, o creștere a temperaturii peste valoarea normală(de exemplu la scurtcircuit sau suprasarcină) declanșează o serie de reacții care conduc în cele din urmă la străpungerea acestuia.

Variațiile bruște de temperatură combinate cu variațiile temperaturii mediului înconjurător, produc dilatări și contracții ale izolației. Dacă temperatura în funcționare este mai mare decât cea normală, aceasta determină o îmbătrânire prematură, proces numit îmbătrânire termică[2],[8],[10]. Ținând cont de acest aspect, materialele electroizolante se fabrică la o valoare a temperaturii maxim admisibile a izolației cât mai ridicată, pentru a se asigura o rigiditate dielectrică cât mai bună instalațiilor electrice din structura cărora fac parte.

Totodată, încălzirea izolației produce pierderi de energie care reduce semnificativ durata de viață a dielectricului.

Orice străpungere de natură electrică este urmată și de una termică, de aceea sunt greu de separat cele două feluri de străpungeri. În Fig.3 este prezentat un exemplu de străpungere(combinate) a izolației unui cablu de medie tensiune, având ca efect topirea materialului sub influența căldurii degajate prin efectul Joule.



Fig.3.Străpungerea izolației în zona capului terminal[16]

În concluzie, izolația unui echipament electric aflat în funcționare poate fi afectată de o serie de factori de natură electrică, termică, mecanică, chimică, care conduc la pierderea proprietăților electroizolante și totodată la micșorarea duratei de viață a dielectricului. Acest lucru se întâmplă deoarece în practică nu există izolator perfect care să nu permită deloc trecerea curentului electric prin el, de aceea nu se urmărește eliminarea totală a pierderilor de curent, ci reducerea acestora;

Totodată, sarcinile electrice se depun pe pereții cavităților umplute cu gaz existente în dielectricul solid și se împrăștie în jurul acestora, generând deformări ale câmpului electric.

În urma descărcărilor parțiale, au loc o serie de procese de ionizare și recombinare, care modifică proprietățile electroizolante ale dielectricului;

Capitolul 2 - realizează o descriere generală a principalelor elemente constructive ale cablurilor de energie electrică, analizează tipurile de defecte și cauzele de defectare și face cercetări asupra fenomenului de degradare a izolației electrice, prin simularea în laborator a condițiilor din exploatare. Sunt puse în evidență mecanismele de defectare și sunt descrise câteva situații de montaj defectuos care au fost cauza unor defectări frecvente .

Principalele elemente constructive ale cablurilor de energie electrică sunt:

- conductoarele;
- izolația;
- ecranul;
- mantaua sau cămașa;
- învelișuri de protecție.

Izolația reprezintă elementul cel mai important de care depinde siguranța în funcționare a cablurilor de energie electrică. Din punct de vedere constructiv, este constituită din unul sau mai multe straturi de material izolant dispuse în jurul conductoarelor.

Cele mai utilizate materiale dielectrice sunt următoarele[3],[4]:

- Policlorura de vinil(PVC);
- Polietilena(PE);
- Polietilena reticulată(PER);
- Uleiul electroizolant;
- Gazele izolante(SF₆);
- Cauciucul.

Pentru uniformizarea câmpului electric în jurul izolației și atenuarea influenței câmpurilor electromagnetice exterioare, ecranarea cablurilor se realizează prin aplicarea unui ecran constituit dintr-un înveliș din hârtie metalizată, sârmă sau bandă metalică, dispus peste unul sau mai multe conductoare izolante. De asemenea, ecranul are și rolul de a asigura trecerea curenților capacitivi și ai celor de defect către pământ în situațiile de avarie, permițând în acest fel reducerea grosimii stratului de izolație a fiecărui conductor.

Totodată, prin ecranare se asigură o răcire mai bună, precum și creșterea capacității de încărcare a cablului de energie electrică[28],[29].[30].

În instalațiile de utilizare, ecranele cablurilor de energie electrică se conectează la pământ prin extremitățile lor. Legarea la pământ protejează cablul de oscilațiile perturbatoare de joasă și înaltă frecvență. Pentru a împiedica circulația de curent prin ecran, în exploatare se are în vedere ca circuitul de legare la pământ să fie cât mai scurt , ecranul să fie neîntrerupt pe toată lungimea cablului, iar contactele de punere la pământ să fie ferme(Fig.4).

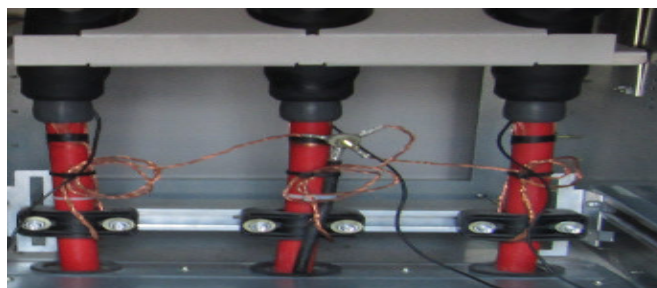


Fig.4.Legarea ecranelor de cupru la carcasa metalică a celulei de medie tensiune[16]

Învelișul cablului este constituit la interior dintr-o manta realizată din plumb, aluminiu sau mase plastice și o manta exterioară nemetalică, ambele asigurând protecția împotriva factorilor externi, cum ar fi umiditatea sau agenții chimici existenți în mediul în care este pozat cablul.

Mantalele din mase plastice sunt cele mai utilizate datorită proceselor de fabricație cu costuri mai mici și mai rapide. De exemplu, mantalele din policlorura de vinil sau polietilenă

reticulată, în combinație cu cele de plumb sau aluminiu, sunt existente în majoritatea sistemelor de izolație a cablurilor electrice produse în prezent.

Parametrii electrici specifici ai cablurilor de energie electrică sunt: rezistența ohmică, reactanța inductivă, susceptanța capacitivă, conductanța[32],[33].

Din punct de vedere al pierderilor în dielectric, conductanța este influențată în mod direct de pierderile datorate curenților de conducție prin dielectric(de fugă), a fenomenului de histerezis sau a celui de ionizare din cavitățile existente în materialul dielectric. Valoarea conductanței se determină prin măsurarea factorului de pierderi dielectrice, respectiv a $tg\delta$.

Practic, măsurarea $tg\delta$ la cablurile de energie electrică este aproape imposibilă, mai ales la cele cu lungime mare, datorită capacității mari proporțională cu lungimea lor și care generează curenți capacitivi care depășesc limita admisă a curentului capacitiv al punții de măsură[33].

Capacitatea aparentă de serviciu(susceptanța) este un parametru electric important în funcționarea normală a cablurilor de energie din exploatare. Orice linie electrică este definită de o capacitate de serviciu care reprezintă suma capacităților parazite față de pământ(C_p) și a capacităților mutuale(C_m) dintre faze. Schema echivalentă a liniei electrice trifazate cu reprezentarea capacităților este prezentată în Fig.5.

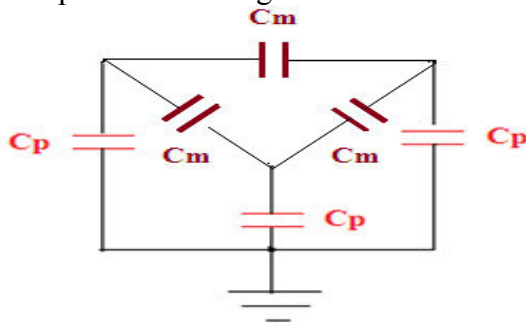


Fig.5. Schema echivalentă a liniei electrice trifazate[43]

Înainte de punerea în funcțiune(PIF) dar și în timpul exploatării, cablurile de energie electrică se supun unor încercări și măsurători.

Principalele etape parcurse înainte de punerea sub tensiune sunt următoarele: Verificarea continuității și identificarea fazelor, măsurarea rezistenței de izolație, încercarea izolației cu tensiune mărită.

Parametrul cel mai important în asigurarea funcționalității și a continuității în exploatare a cablurilor de energie electrică, îl constituie rezistența de izolație. Măsurarea acestui parametru electric se efectuează cu ajutorul unui megohmmetru analogic sau digital, la tensiuni stabilite de normativele în vigoare, în funcție de valoarea tensiunii nominale a cablului respectiv.

Încercarea cu tensiune mărită este o condiție necesară dar nu și obligatorie, mai ales în cazul cablurilor electrice cu durată mare în funcționare(izolație îmbătrânită), aplicându-se în special la cablurile MT și IT, atunci când valorile rezistenței de izolație nu sunt corespunzătoare.

Trebuie menționat că orice tensiune aplicată cablului, de valoare mai mare decât cea nominală, duce la îmbătrânirea prematură a izolației, scurtând durata de funcționare.

Pentru investigarea mecanismelor de degradare a izolației electrice a cablurilor de energie electrică aflate în exploatare, în laborator s-au efectuat măsurători la intervale de timp prestabilite asupra unor eșantioane de cabluri cu izolație PVC, XLPE.

În cadrul studiului experimental, eșantionul de cablu a fost introdus într-un tub PVC, de tip rigid, umplut cu o soluție de electrolit din compoziția căruia fac parte o serie de compuși chimici în scopul simulării condițiilor de mediu din exploatare.

Pentru testare s-a ales un cablu monopolar, cu următoarele caracteristici: tip NA2XSY; $U_o/U_n= 12/20$ kV; secțiune 185 mm^2 ; conductor de aluminiu compactizat și ecran din sârmă de cupru. Cablul cu o lungime de 4 m, a fost introdus în cuvă în așa fel încât cele două capete ale

sale să se situeze în afara acesteia la o înălțime mai mare de 30 cm față de extremități, în scopul evitării fenomenului de conturare.

În prima etapă s-a urmărit testarea cablului la tensiuni superioare celei nominale și monitorizarea curenților de conducție, a rezistenței de izolație și a temperaturii electrolitului la intervale de 24 h. Cablul testat a fost încercat pentru câmpuri electrice în curent continuu, unde valorile curenților de fugă sunt relativ reduse în comparație cu cele rezultate în cazul unor câmpuri electrice în curent alternativ, avându-se în vedere și protejarea echipamentului de testare pe perioada monitorizării.

În etapa a doua, același eșantion de cablu s-a testat o perioadă de timp în lipsa tensiunii de alimentare, fiind supus doar acțiunii corozive a electrolitului din cuva instalației, iar în următoarele intervale de timp s-a realimentat la diferite valori ale tensiunii, până în momentul străpungerii izolației. Schema de principiu a instalației experimentale de testare a izolației electrice care a fost elaborată, este prezentată în Fig.6.

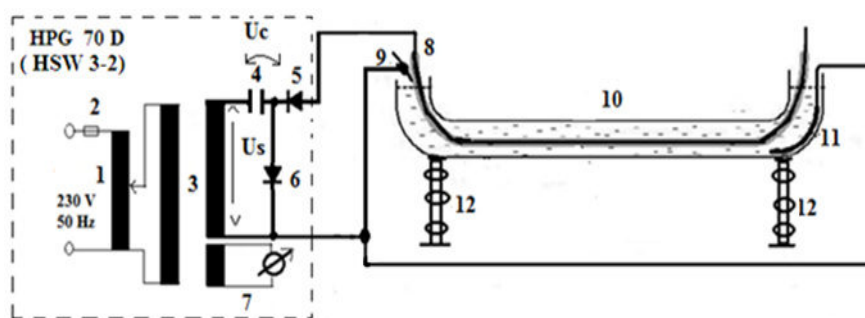


Fig.6. Instalație experimentală de încercare cu tensiune mărită în curent continuu: 1- Autotransformator de reglare tensiune; 2- Siguranță de protecție a instalației; 3- Transformator ridicător de tensiune; 4- Condensator de cuplare; 5,6 - Diode de redresare și multiplicare; 7- Înfășurarea terțială de măsură; 8- Conductor principal; 9- Ecranul cablului; 10- Cuvă PVC; 11- Contraelectrod de grafit; 12- Izolator IT

În urma cercetării experimentale, s-au obținut următoarele concluzii:

- În condiții de funcționare la tensiuni apropiate de valoarea nominală ($U_o/U_n=12/20kV$), curentul de conducție care circulă prin izolație determină o încălzire normală, menținând izolația la o temperatură pozitivă, în principiu mai mare în raport cu temperatura din cuva instalației. Absorbția de electrolit, în acest caz, este una redusă;

- În intervalul de timp în care tensiunea de alimentare are valori ridicate în raport cu tensiunea nominală a eșantionului de cablu, izolația intră într-un proces de degradare continuă ca urmare a încălzirii, pierzându-și din proprietățile electroizolante și generând o scădere rapidă a valorii rezistenței de izolație;

- În lipsa tensiunii de alimentare, temperatura internă a cablului scade odată cu temperatura electrolitului din cuvă, iar procesul de degradare a izolației se accentuează, deoarece izolația absoarbe o cantitate mai mare de electrolit din cuva instalației, determinând scăderi semnificative ale valorii rezistenței de izolație. La repunerea sub tensiune, izolația cablului s-a străpuns la valoarea tensiunii de 42kV (Fig.7).

Pornind de la aceste considerente, se recomandă evitarea situațiilor în care cablurile de energie electrică neutilizate în exploatare sunt lăsate nealimentate perioade îndelungate de timp. În acest caz, datorită faptului că prin izolație nu circulă un curent de conducție (scurgere), izolația se contractă și dă posibilitatea apei și a agenților corozivi să pătrundă în interiorul cablului, în special în zona manșoanelor sau a capetelor terminale. Acest fenomen apare cu precădere în perioadele cu temperaturi scăzute și umiditate mare.

Totodată, utilizarea cablurilor de energie electrică la alte tensiuni decât cele nominale trebuie evitată, deoarece accelerează procesul de îmbătrânire a izolației și determină apariția prematură a fenomenului de străpungere dielectrică.

Rezultatele măsurătorilor pe parcursul studiului experimental, sunt prezentate în Tab.1, Tab.2.

Tab.1. Valorile mărimilor măsurate constant în prima etapă a studiului experimental

Intervale de timp		$U_{m\grave{a}s}$ [kVcc]	I_c [μ A]	$R_{iz.}$ [G Ω]	$T_{electrolit}$ [$^{\circ}$ C]
Încercare la PIF	15"	72,0	2,0	277,0	20,0
I	24 h	62,2	16,8	156,0	47,8
II	48 h	54,8	26,5	94,6	38,0
III	72 h	46,5	45,0	86,8	32,4
IV	96 h	32,9	34,5	46,5	28,5
V	120 h	24,0	40,0	28,2	24,5
VI	144 h	23,8	42,3	27,9	23,7
VII	168 h	23,4	41,8	27,4	23,2

Tab.2. Valorile mărimilor măsurate constant în a doua etapă a studiului experimental

Intervale de timp		U_a [kVcc]	I_c [μ A]	$R_{iz.}$ [G Ω]	$T_{electrolit}$ [$^{\circ}$ C]
-	-	-	-	29,4	20,0
I	24 h	-	-	12,5	18,7
II	48 h	-	-	6,5	19,2
III	72 h	-	-	4,8	20,8
IV	96 h	-	-	3,4	21,2
V	120 h	-	-	1,4	21,4
Repunere sub tensiune					
I	24 h	12	690,5	0,8	19,8
II	48 h	20	1450,0	0,4	25,0
III	72 h	30	2480,0	0,1	28,0
IV	-	42	→ străpungere		



Fig.7. Vizualizarea locului de străpungere a izolației:
a) după îndepărtarea învelișului exterior;
b) după îndepărtarea stratului semiconductor

În rețelele în cablu se întâlnesc următoarele tipuri de defecte:

- Defecte cauzate de străpungerea izolației având ca rezultat punerea la pământ a uneia dintre faze , a două sau trei faze;
- Defecte cauzate de scurtcircuitarea a două sau trei faze datorită străpungerii izolației dintre ele;
- Defecte cauzate de întreruperea a uneia, a două sau trei faze cu sau fără punere la pământ;
- Descărcări parțiale;

- Defecte de manta;
- Defecte mixte, prin apariția simultană de defecte diferite.

Cauzele care conduc la îmbătrânirea și străpungerea dielectricului sunt multiple pornind de la defecte rezultate în urma procesului de fabricație, defecte provocate în timpul pozării cablurilor de energie electrică din exploatare, defecte de natură electrică (supratensiuni, supracurenți) care conduc la încălzirea cablului electric peste limita de temperatură admisă de producător.

De asemenea, pot să apară străpungeri accidentale ale izolației ca urmare a unor lucrări ulterioare de-a lungul traseelor atunci când se efectuează săpături mecanizate sau nemecanizate fără ca executantul să se informeze în prealabil despre existența tronsoanelor de cabluri din zona de lucru.

În teorie, cablul electric trebuie privit ca o rețea cu patru terminale (cuadripol) formată din două porți (Fig.8), fiecare poartă reprezentând o pereche de borne accesibile din exterior [56]. Pornind de la această reprezentare, se consideră că fiecare conductor este definit printr-o rezistență ohmică R și o inductanță L serie dispuse longitudinal respectiv o conductanță G și o capacitate C ca mărimi de intrare și dispuse transversal. Aceste mărimi de intrare sunt teoretic egale și de sens contrar (față de cuadripol) cu mărimile de ieșire R_1, L_1, G_1, C_1 .

În momentul în care proporționalitatea acestor mărimi se modifică, proprietățile electroizolante se degradează, iar cablul electric este dispus defectării.

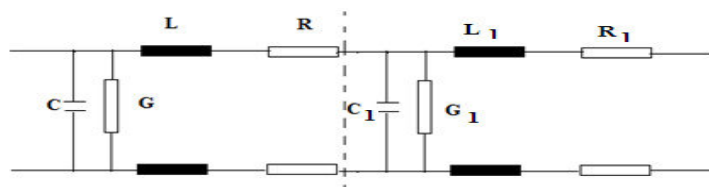


Fig.8. Circuit echivalent pentru o rețea cu patru terminale [56]

În cazul cablurilor de energie electrică, probabilitatea de defectare este foarte mare, având în vedere solicitările la care sunt supuse în timpul funcționării. Prin urmare, este foarte importantă cunoașterea atât a metodelor și a mijloacelor pentru identificarea defectelor, cât și probabilitatea de defectare.

În regiunile cu activitate minieră, cercetările efectuate în domeniul poluării au arătat un grad de poluare mai ridicat, în primul rând ca urmare a unei proaste gestionări a deșeurilor rezultate în urma exploatărilor.

Un element poluator este sterilul, cu un impact major asupra mediului înconjurător, întrucât apele acide și substanțele toxice (ca rezultate principale ale sterilului) afectează în mod direct sistemele de izolație ale cablurilor de energie electrică.

Sterilul este o substanță solidă acidă care în combinație cu apa formează o soluție lichidă foarte corozivă. În momentul în care substanța electrolică ajunge în zona de pozare a cablurilor de energie electrică și intră în contact cu suprafața lor exterioară, determină în timp deteriorarea mai rapidă a izolației, influențând negativ proprietățile materialelor electroizolante care intră în componența sistemului electroizolant. Defectele apar ca urmare a străpungerii izolației electrice datorită pătrunderii substanțelor corozive prin stratul polimeric de protecție al cablului electric [54], [66]. Degradarea determinată de mediul acid s-a constatat și în cazul echipamentelor și instalațiilor electrice, precum și a suprafețelor conductelor de plastic utilizate în alimentarea cu apă.

S-au efectuat măsurători asupra pH-ului apei din vecinătatea traseelor de cabluri din zona Moldova Nouă care au indicat o aciditate ridicată în apropierea zonelor industriale precum și a celor miniere și foste miniere. În această zonă au fost identificate depozite de

steril(nisip industrial steril).Totodată, aspectul albicios al probei de apă recoltate din această zonă a confirmat existența sterilului sub formă diluată, în concentrația acidă a apei.

Substanța corozivă formată din apă cu steril a acționat agresiv asupra izolației cablurilor în special în zona manșoanelor, afectând funcționarea acestora(Fig.9).

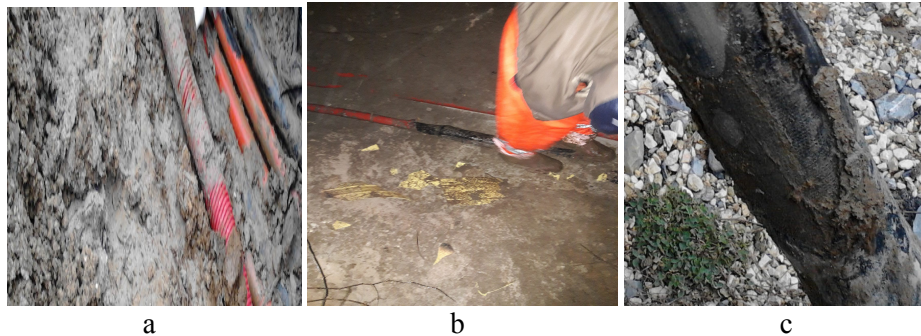


Fig.9.a),b).Identificarea defectului de manșon pe porțiuni cu steril solidificată;c)Porțiunea de izolație (descompusă) a manșonului termocontractibil rezultată ca urmare a efectului acid

În urma examinării, s-a concluzionat că polietilena(PE) este cea mai afectată de mediul acid, având o rezistență chimică scăzută la acizi corozivi, în timp ce izolația din HEPR(cauciuc etilenpropilenic) și PVC(polilorura de vinil) au o rezistență chimică mai ridicată, protejând cablul electric de efectul apei acide.

Ca măsuri de limitare sau de prevenire a incidentelor în mediul acid, putem enumera utilizarea manșoanelor speciale cu izolație PTFE(Politetrafluoretilenă), datorită rezistenței chimice excelente la substanțe corozive și proiectarea de trasee de cabluri care să ocolească zonele cu conținut de aciditate ridicat, decizii care se stabilesc în urma unei analize AMDE(*Analiza Modurilor de Defectare și a Efectelor Defectărilor*).

Capitolul 3 - analizează o serie de modele matematice de predicție a defectelor, concomitent cu analiza AMDE.

În cazul cablurilor de energie electrică, prognozarea apariției defectelor se realizează în prezent pe baza unor modele matematice existente în literatura de specialitate, care țin cont de fenomenele de natură mecanică, electrică, termică și de mediu, care solicită liniile electrice aflate în exploatare. Modelele matematice evaluează performanțele cablurilor electrice, prin investigarea numărului de întreruperi accidentale.

Un accent deosebit se pune pe studiul fiabilității care se bazează pe teoria probabilităților[59],[60], dar în același timp are în vedere și datele provenite din istoricul evenimentelor, în intervalul de timp monitorizat. Studiul fiabilității presupune evaluarea sistematică a indicatorilor de fiabilitate, eliminarea cauzelor de defectare și reducerea probabilității de producere a altor defecte.

Analiza modurilor de defectare și a efectelor lor(AMDE), are ca scop identificarea cauzelor defectelor încă din faza de proiectare a produselor, printr-un program de management care să asigure fiabilitatea[72],[73]. Activitățile de recunoaștere, analiză și evaluare a defectelor, sunt efectuate de către o echipă de specialiști, coordonată de un moderator, care să cunoască condițiile de funcționare și modalitățile de defectare. Deoarece AMDE se realizează prin acțiune comună, implică un volum uriaș de muncă care presupune și erori semnificative. Aceste dezavantaje au determinat efectuarea de cercetări în scopul automatizării proceselor AMDE prin utilizarea unor aplicații software, care să permită accesul rapid la informațiile stocate într-o bază de date, numită și bază de cunoștințe. Rezultatele AMDE sunt esențiale în luarea rapidă a deciziilor, pentru evitarea unor defectări ulterioare fiind elaborate o serie de recomandări și un plan pentru implementarea lor.

În exploatare, pentru anumite sisteme, distribuția timpilor de defectare nu se pretează niciuneia dintre repartiții. De exemplu, în cazul cablurilor de energie electrică, există cazuri în care defectele apar ca urmare a unor fenomene de degradare(uzură) în timp. În asemenea situații, se utilizează legea repartiției Weibull, distribuția cea mai larg utilizată în ingineria fiabilității[72],[74].

Pentru estimarea duratei maxime de funcționare între două defecte succesive, s-au efectuat simulări pentru patru circuite distincte de cabluri electrice existente în exploatare, utilizându-se programul software EasyFit de analiză și simulare, conceput de Mathware Technologies.

Programul este conceput pe baza unui algoritm de estimare a parametrilor introduși în calcul, prin analizarea datelor de probabilitate și selectarea în mod automat sau manual a distribuției care se potrivește cel mai bine cu datele introduse[79]. Duratele de funcționare între defecte au constituit parametri de intrare pe baza cărora s-au efectuat calculele funcțiilor de fiabilitate. Datele privind numărul de evenimente, cauzele de defectare, valorile rezistențelor de izolație și a curenților de conducție, precum și perioadele de bună funcționare dintre defecte, au fost colectate pe baza buletinelor de încercări emise după depistarea și remedierea defectelor, existente în registrul de evidență întocmit cu ocazia lucrărilor de mentenanță la liniile electrice de medie și joasă tensiune[16].

Totodată, pentru funcții continue, funcția de distribuție cumulativă $F(x)$ poate fi calculată și invers pe intervalul caracteristic de probabilitate $x(P) \in [0,1]$.

Funcția "Inverse CDF" efectuează estimările de probabilitate inversă calculând variabila aleatoare x pentru o anumită valoare a probabilității P .

Sunt utilizate peste 55 de repartiții continue și discrete, pe baza cărora s-au calculat probabilitățile de defectare pentru fiecare dintre cele patru cazuri, obținându-se rezultate concrete.

Primul studiu de caz analizat este *LES 20 kV Lugoj*, județul Timiș, pozat între *PT 5094–PT 5095*, cu o lungime aproximativă de 450 m.

În prima etapă, s-au calculat perioadele de bună funcționare :

1. Intervalul 20.07.2015 - 07.10.2015 = 79 zile
2. Intervalul 07.10.2015 - 19.06.2016 = 256 zile
3. Intervalul 19.06.2016 - 22.06.2016 = 3 zile
4. Intervalul 22.06.2016 - 09.08.2016 = 48 zile
5. Intervalul 09.08.2016 - 20.08.2016 = 11 zile
6. Intervalul 20.08.2016 - 23.02.2017 = 187 zile

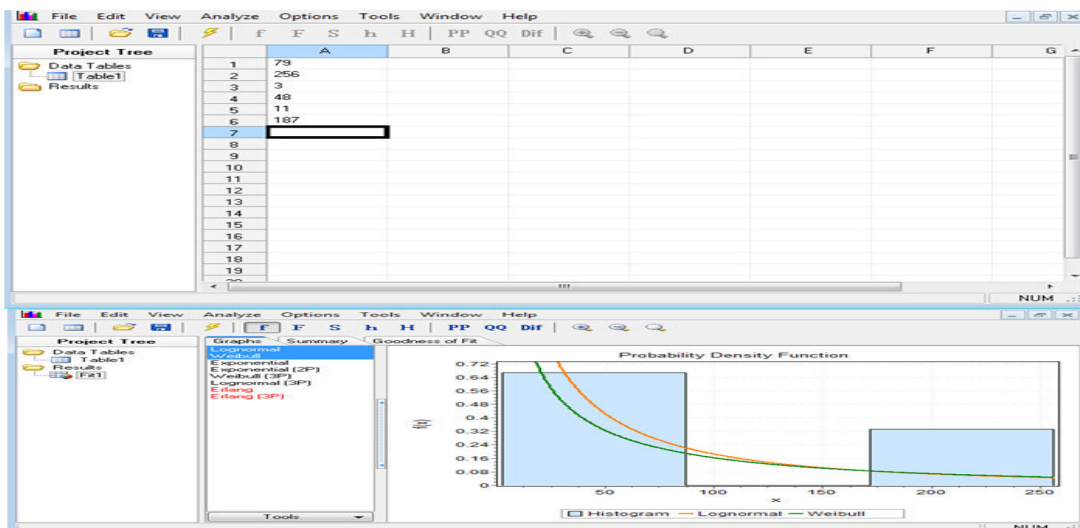


Fig.10.Introducerea datelor și alegerea manuală a celei mai bune distribuții

Pentru o interpretare mai sugestivă, valorile obținute au fost luate în calcul prin rotunjire.

S-au calculat valorile funcțiilor de probabilitate pentru durate de funcționare de 100, 200, 300 de zile. Pentru durate de funcționare de 100 de zile, probabilitatea de defectare este de 70 %, o valoare relativ mare având în vedere intervalul de timp scurt.

De asemenea, pe intervale de timp mai mari, probabilitatea de defectare crește substanțial ajungând la un procent de 0,88(88%), pentru o durată de funcționare de 300 de zile, în timp ce probabilitatea de bună funcționare $S(x)$ este de 0,11(11%).

Pentru o estimare inversă, de 95 %, durata maximă de funcționare între două defecte este de 543 de zile.

Valorile procentuale calculate automat, sunt prezentate în Fig.11.

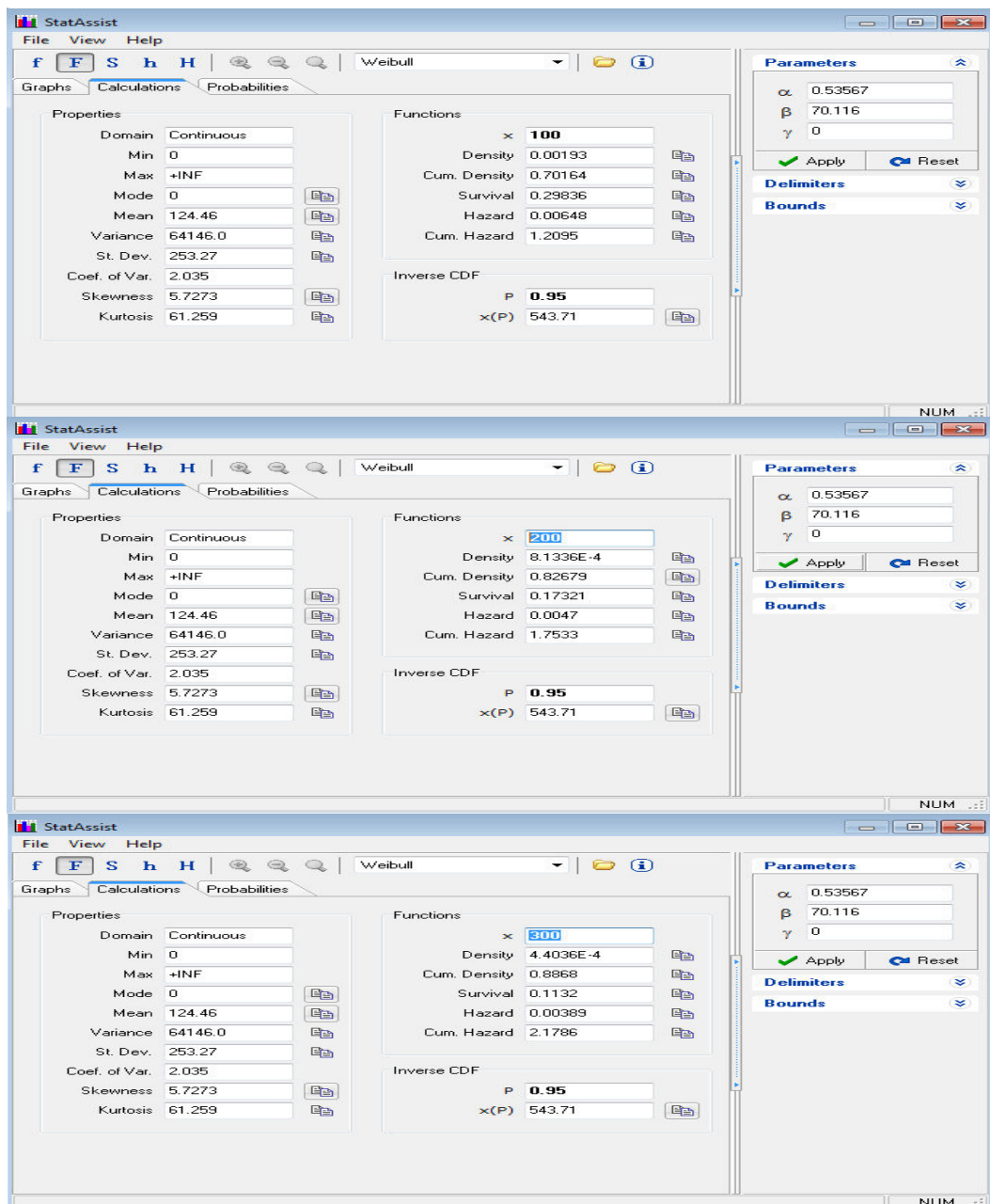


Fig.11. Valorile procentuale calculate pentru intervale de 100, 200, 300 zile

Al doilea caz analizat este *LEC 20 kV* aparținând *LEA Ponor*, zona Oravița, jud. Caraș-Severin. Cablul MT torsadat este pozat aerian pe o distanță aproximativă de 5950 m, între stâlpii cu separatori 81-166.

În Fig.12 sunt prezentate valorile variabilei funcțiilor de probabilitate, calculate pentru intervale de funcționare de 200, 400 și 800 de zile.

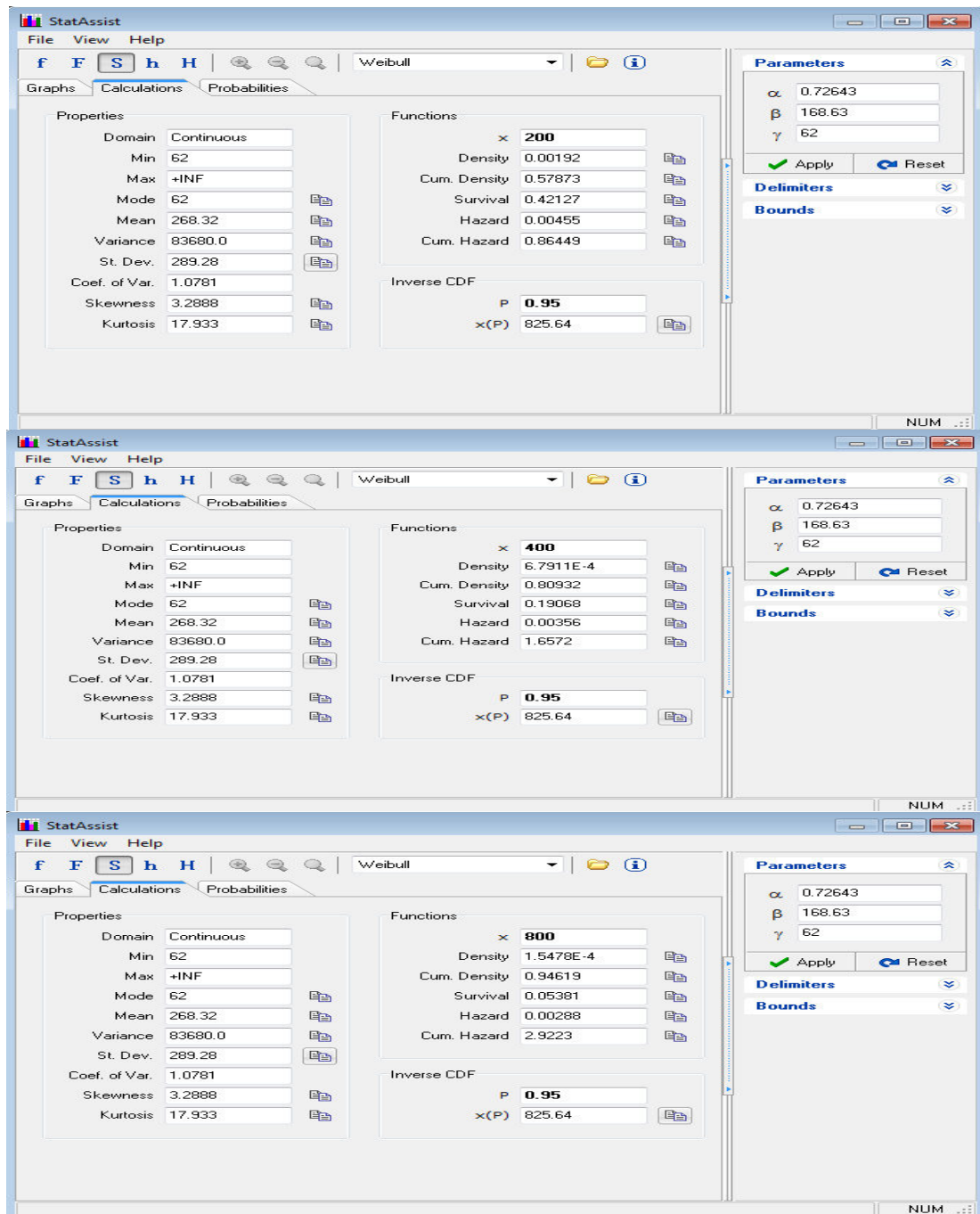


Fig.12. Valorile calculate ale funcțiilor de probabilitate pentru intervale de funcționare de 200, 400, 800 de zile și funcția inversă CDF

Astfel, pe o durată de funcționare de 200 zile, probabilitatea de defectare a cablului de energie electrică este de 0,579(57,9 %), iar probabilitatea de supraviețuire (de funcționare fără defect) este de 0,421(42,1 %), o probabilitate relativ bună având în vedere complexitatea factorilor care influențează funcționarea normală a cablurilor aflate în exploatare.

Pe duratele de funcționare de 400 respectiv 800 de zile, probabilitatea de defectare crește continuu atingând valoarea de 0,947(94,7%) iar funcția de fiabilitate scade la valoarea de 0,053(5,3%).

Calculând inversa funcției $F(x)$ pentru o estimare a probabilității de 95%, concluzionăm că durata maximă de bună funcționare între defecte este de 825 de zile.

În continuare s-au analizat circuitele aparținând *LES 6 kV Bârzava Reșița*, jud. Caraș-Severin (*Stația 110 /20/6 kV Bârzava(Reșița) - PT 4029*) și *LES 20kV(PT 5005-PT 5095)*, aparținând rețelei de distribuție Lugoș, județul Timiș, obținându-se următoarele rezultate :

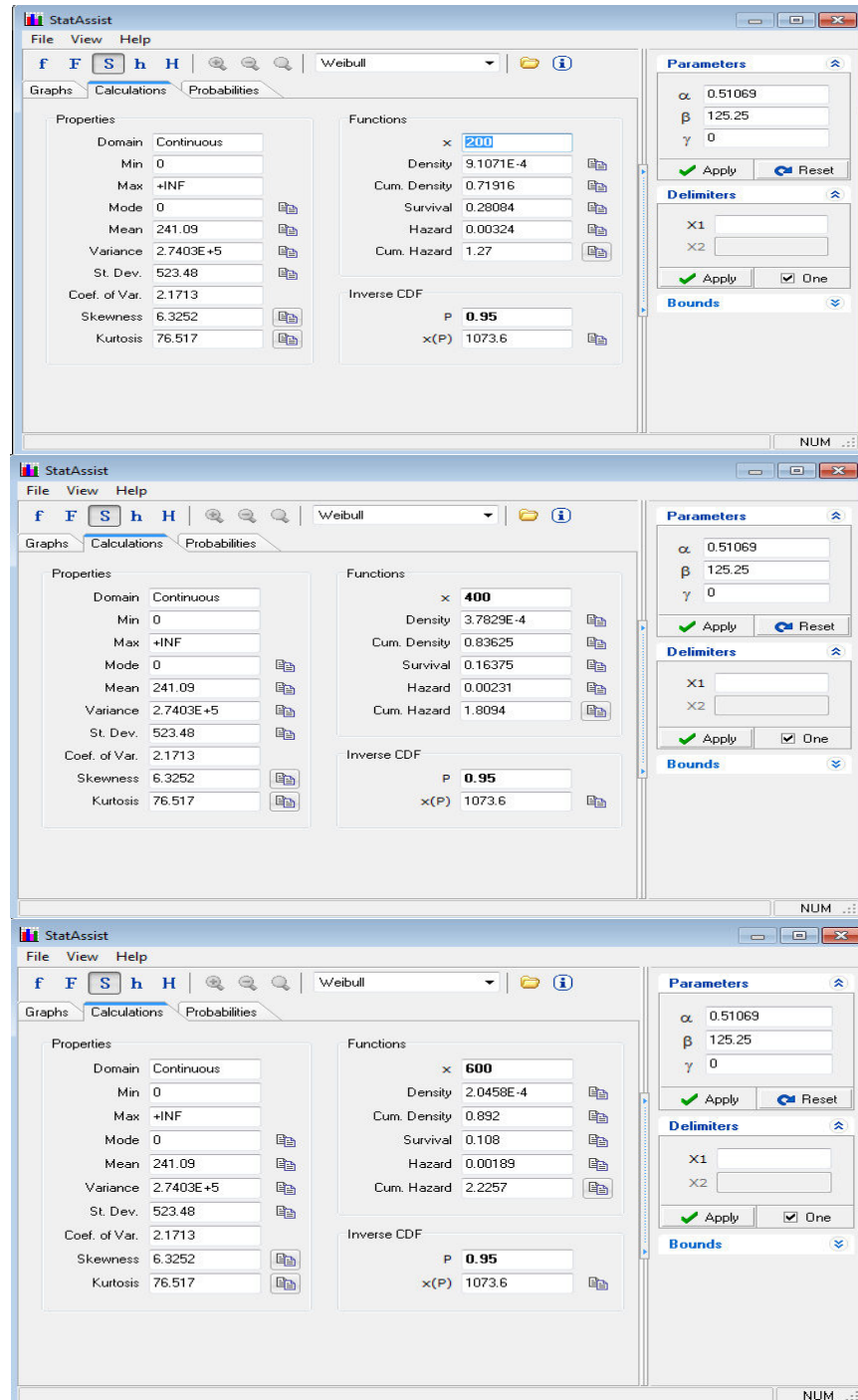


Fig.13. *LES 6 kV Bârzava* -Valorile procentuale pentru durate de 200,400,600 de zile

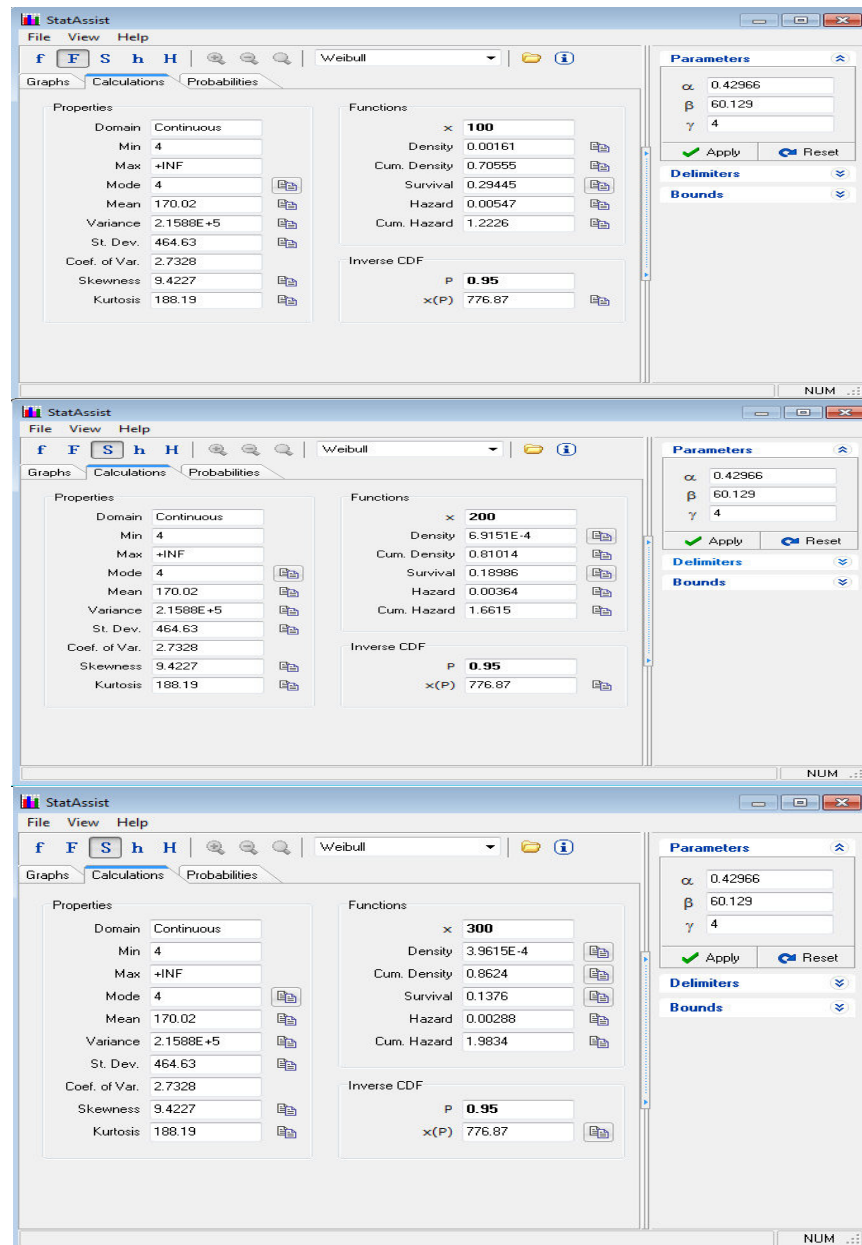


Fig.14. LES 20kV(PT 5005-PT 5095). Valorile procentuale a funcțiilor de probabilitate și valoarea ”Inverse CDF”

De menționat că aceeași modalitate de calcul s-a efectuat pentru toate cele patru cazuri, utilizând de această dată, ca și parametrii de intrare, valorile curenților de conducție care circulă prin izolație.

Pentru o evaluare obiectivă a rezultatelor obținute în urma utilizării programului software de predicție și simulare a defectelor, a fost evaluată situația incidentelor ulterioară efectuării predicției[16], concluzionându-se următoarele:

1. Pentru LES 12/20kV(PT 5094-PT 5095)Lugoj, a fost calculată o probabilitate de 70-88% de defectare pe durate de 100, 200, 300 zile, un procentaj mare în raport cu intervalele de timp scurte pentru care s-a efectuat predicția. În schimb, valoarea predictivă a curentului de conducție nu a depășit valorile uzuale pentru cabluri aflate în exploatare.

Cablul a funcționat fără întrerupere în perioada 23.02.2017-09.09.2017(198zile), defectându-se pe durata de 200 zile, pentru care probabilitatea de defectare prognozată a fost 83%.

2. Pentru *LEC 12/20kV Ponor-Marila*, probabilitatea de defectare pe durate de timp de 400 respectiv 800 de zile a fost în procente de 80 - 94,7%. Inversa funcției $F(x)$ a indicat o durată maximă de funcționare de 825 zile, iar probabilitatea ca valorile curenților de conducție să treacă peste pragul normal, 3%.

Cablul a funcționat fără incidente în perioada 24.03.2015-24.06.2017(824 zile), conform buletinelor de încercare emise cu ocazia ultimelor două intervenții de repunere sub tensiune. Valorile măsurate ale rezistențelor de izolație după ultima reparație, au înregistrat o scădere medie procentuală de 83% în raport cu valorile măsurate la început de interval, indicând un proces continuu de degradare.

3. Pentru *LES 6kV(PT 4029-ST.Bîrzava) Reșița*, probabilitatea de defectare calculată pe durate de 200, 400, zile a fost cuprinsă în intervalul procentual 72-84%. Durata de funcționare între ultimele două defectări a fost de 314 zile, nesemnându-se alte incidente în perioada 11.11.2016-20.09.2017.

Valoarea predictivă a curentului de conducție(1400 μ A) depășește valorile uzuale, indicând o fiabilitate în funcționare scăzută, cu rată mare de defectare.

4. Pentru *LES 12/20kV(PT 5005-PT5095)Lugoj*, cablul a funcționat normal în perioada 16.09.2016-14.09.2017(364zile). Și în acest caz, valoarea predictivă a curentului de conducție(>1500 μ A) indică o rată ridicată de defectare, fiind calculată o probabilitate de defectare de 86%, pentru o durată de funcționare > 300 zile.

Concluzionăm că incidentele care au avut loc ulterior procesului de analiză și predicție pentru cele 4 cazuri analizate, s-au produs pe duratele de timp cu probabilitate de defectare > 80%, cu eroarea de predicție cea mai mică.

Cazurile cele mai frecvente de defectare au fost cele datorate greșelilor de execuție a manșoanelor și a capetelor terminale, dar și ca urmare a unor operațiuni de îmbinare prin manșonare a două circuite de cabluri de tipuri și secțiuni diferite.

Totodată, în cazul *LEC Ponor*, defectele au avut loc datorită buclelor de rezervă din dreptul stâlpilor de susține, care nu au fost ancorate corespunzător pentru evitarea coliziunii lor cu stâlpii, sub acțiunea vântului. S-a recomandat utilizarea clemelor de înădire pe firul purtător din oțel inoxidabil pentru fixarea cablului pe poziție, iar în situația în care manșonarea se realizează în axul LEA(între stâlpi), bucla rezultată în urma îmbinării trebuie să fie cât mai redusă, iar manșonarea a mai multor conductoare(atunci când este cazul) în același loc trebuie să se facă în trepte.

În concluzie, estimarea duratei maxime de funcționare între două defecte utilizând un program software de analiză și simulare, este o metodă eficientă de monitorizare a parametrilor electrice care definesc starea izolației pe durata funcționării cablului electric, și indică momentul efectuării mentenanței corective, în scopul scăderii numărului de incidente și a creșterii duratei de viață a cablului în exploatare.

Capitolul 4 – detaliază funcționarea echipamentelor care intră în componența autolaboratorului de defectoscopie clasic și descrie modul de utilizare precum și modul de selecție al echipamentelor, în funcție de particularitățile fiecărui tip de defect. Se arată funcționarea instalației de defectoscopie, ca de exemplu, blocul de comandă și control cu rol de conectare și de protecție a modulelor și echipamentul IT format din unitatea de comandă, transformatorul ridicător, dioda redresoare și condensatorul de cuplare, poziționate în compartimentul din spatele autolaboratorului.

Metodele de identificare utilizate și prezentate, sunt următoarele: metoda relativă prin impulsuri, metoda absolută prin inducție și metoda acustică(utilizare digiphone mobil).

Totodată, este prezentată funcționarea reflectometrului digital realizat pe principiul impulsului reflectat în cablu, impuls care se va reflecta de la locul de defect cu o anumită viteză, de valoare cunoscută. Pe baza diferenței de timp dintre impulsul trimis și impulsul reflectat, reflectometrul calculează automat distanța până la locul de defect.

Rezultatele măsurătorilor sunt afișate pe un ecran iluminat, unde pot fi vizualizate reflectogramele celor două impulsuri, iar punctul de separație dintre ele determină locul de defect(Fig.15).

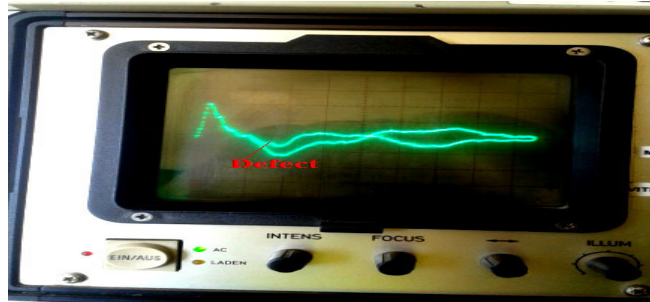


Fig.15 .Exemplu de reflectogramă de defect

Pentru identificarea exactă a defectelor, este descrisă funcționarea generatorului de audifrecvență care constă în generarea unui curent de frecvență cunoscută și recepționarea semnalului creat de câmpul electromagnetic din jurul conductorului cu ajutorul unui receptor portabil de audiofrecvență, acordat pe frecvența respectivă.

În prezent, cea mai utilizată metodă de identificare a defectelor este metoda arcului reflectat(ARM), în care reflectometrul se utilizează în combinație cu un generator de undă de șoc, a cărui impuls de înaltă tensiune trimis în cablu, generează un arc electric de rezistență scăzută la locul de defect, care face posibilă determinarea distanței de către reflectometru. Este o metodă relativă care nu conduce în mod direct la depistarea defectului, dar care restrânge semnificativ aria de căutare a acestuia, reducând mult timpul alocat procesului de defectoscopie.

Operațiunile de prelocalizare și localizare a defectelor din cablurile de energie electrică care fac obiectul studiilor de caz prezentate, au fost efectuate prin utilizarea a două modele diferite de autolaboratoare modulare trifazate, unul de tip Seba Dynatronic și celălalt de tip Hagenuk, ambele echipate de firma SebaKMT.

În capitol sunt analizate cinci prezentări de caz pe baza cărora s-au constituit câteva scheme logice de identificare a defectelor elaborate pentru situații mai delicate, precum și un algoritm de utilizare a echipamentelor specifice autolaboratorului de defectoscopie cabluri electrice, urmărindu-se pe cât posibil folosirea de metode de depistare a defectelor nedistructive, care să nu determine o slăbire prematură a izolației electrice sau care să producă defecte suplimentare în cablu.

Primul caz prezentat este cel de localizare a defectului într-un cablu electric de joasă tensiune, de tip $ACYY 3x70+35 mm^2$, cu o lungime de aproximativ 320 metri, care alimentează cu energie electrică una dintre clădirile grădinii zoologice din localitatea Reșița, jud.Caraș-Severin.

Cablul este pozat subteran, în tub PVC. Acest mod de pozare reprezintă o problemă deosebită în procesul de defectoscopie, deoarece zgomotul generat de arc electric la locul de defect se propagă prin tub de o parte și de alta a defectului pe distanțe mari, fiind foarte dificilă localizarea locului de defect.

S-a remarcat în cazul de față că sunetul produs de descărcare este interceptat cu aceeași intensitate pe o lungime de circa 20 m de o parte și de alta a locului de prelocalizare a defectului, iar semnalul electromagnetic este aproape inexistent pe toată lungimea cablului datorită existenței apei în interiorul tubului, care are proprietatea de absorbție a undelor electromagnetice.

Pentru localizarea exactă a defectului, s-a efectuat o săpătură în zona de prelocalizare pentru a se putea observa vizual modul de pozare a cablului în subteran. După excavație, s-a constatat existența mai multor tronsoane de cabluri paralele, două dintre ele fiind pozate în tub

PVC, de tip rigid. Deoarece zgomotul produs de descărcare provenea din zona tuburilor rigide, pentru identificarea tronsonului defect s-au găurit pe rând cele două tuburi PVC și s-a dispus microfonul digiPhone-ului pe orificiul realizat, în vederea interceptării semnalului acustic cu intensitatea cea mai mare (Fig.16).

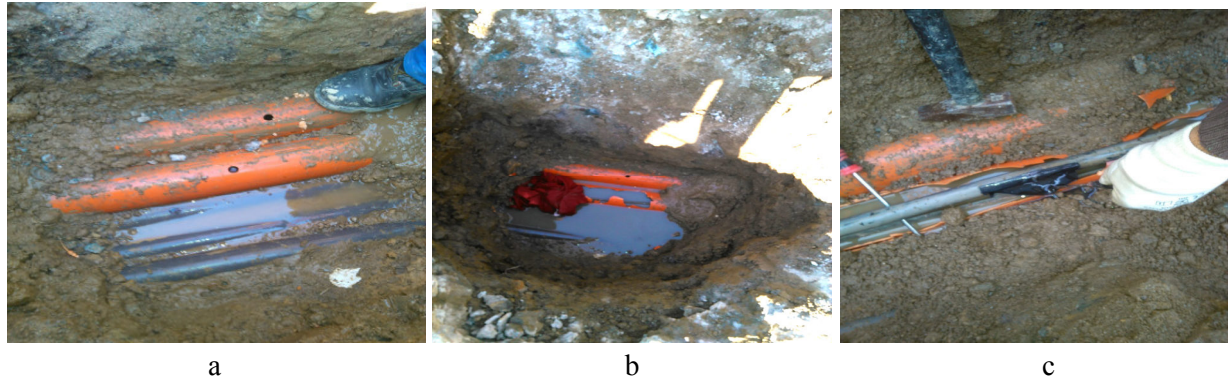


Fig.16. a) Vizualizarea modului de pozare a cablurilor după efectuarea săpăturii; b),c) Identificarea defectului după înlăturarea porțiunii de tub PVC din zona de defect

După eliminarea treptată a apei prin spărtură, a fost reluată căutarea numai pe direcția cu semnalul acustic cel mai intens, aparatul de localizare interceptând acum și semnalul electromagnetic aferent. Operațiunea de căutare a continuat până la localizarea defectului.

În concluzie, s-a constatat că în cazul cablurilor pozate în tuburi sau țevi de protecție, probabilitatea de defectare este mai mare decât în cazul celor pozate direct în pământ datorită infiltrațiilor care pătrund în interior și mențin cablul pe termen lung în condiții de umiditate ridicată. Totodată, defectul în acest caz este aproape imposibil de depistat prin metode uzuale, datorită propagării semnalului acustic pe distanțe lungi de o parte și de alta a locului de defect, dar și a proprietății apei de absorbție a undelor electromagnetice.

Algoritmul de identificare a defectelor, propus pentru cabluri pozate în tuburi sau conducte de protecție, este prezentat în Fig.17.

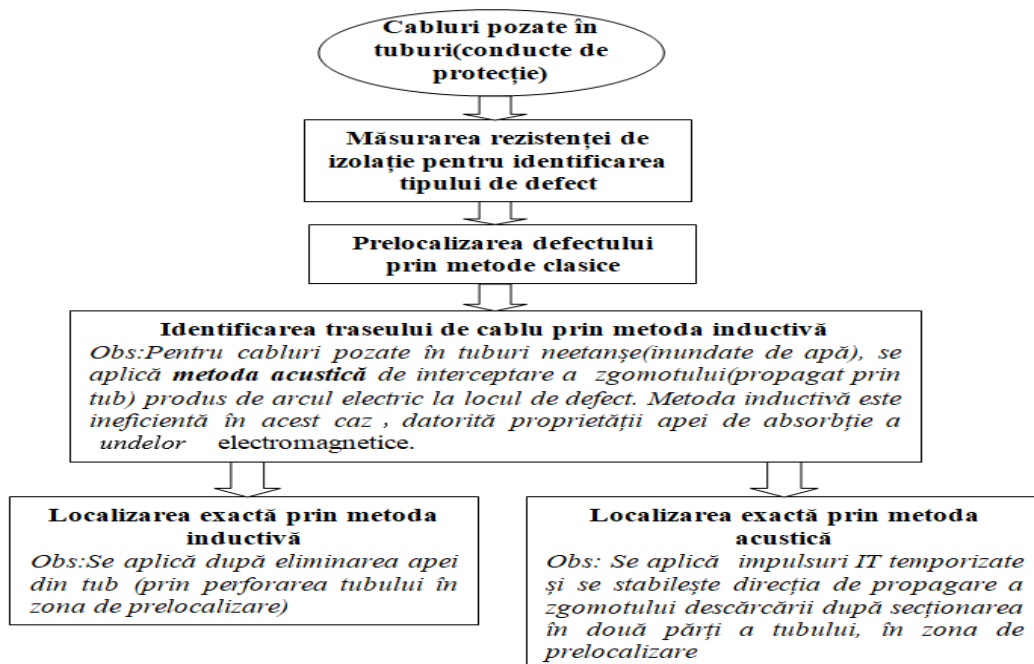


Fig.17. Schema logică de identificare a defectului în cabluri pozate în tuburi de protecție

Depistarea defectelor în cablurile de joasă tensiune este dificilă nu numai ca urmare a modului actual de pozare în tuburi flexibile sau rigide de PVC, dar și datorită unor manșonări incorecte.

În cele mai multe cazuri, pentru cablurile de joasă tensiune, de cele mai multe ori executanții nu consideră importantă refacerea continuității armăturii de oțel sau a ecranelor pe porțiunea de manșon, generând în acest fel o întrerupere dar și o izolare a acestora față de pământ. Având în vedere modul de conectare al instalației de localizare a defectelor care are ca referință potențialul zero al pământului, putem deduce că în cazul unui defect de tip scurtcircuit fază-ecran (armătură metalică) izolat, generarea arcului electric la locul de defect este imposibilă.

Această problemă a fost întâlnită la localizarea defectului la LES 0,4 kV, cu o lungime aproximativă de 50 metri, de tip *CYABY 3x150+70* care alimentează din *PTZ 6023* o firdă de bloc din localitatea Caransebeș, județul Caraș-Severin.

În urma verificării continuității armăturii de oțel cu ajutorul unui multimetru (mod buzzer), s-a remarcat că nu există continuitate de la un capăt la celălalt al cablului, iar rezistența de izolație a conductoarelor măsurată între potențialul pământului și armătură, a indicat o valoare mare, de izolare a celor două puncte.

În urma acestei constatări, s-a concluzionat că este necesară refacerea continuității armăturii metalice, cel puțin pe porțiunea de cablu până la defect, pentru a se putea genera arcul electric între conductorul defect și armătura metalică, pusă la pământ.

S-a decis identificarea manșoanelor de pe traseul cablului, mergând pe probabilitatea ca întreruperile de armătură să fie în dreptul acestora.

Identificarea s-a efectuat cu ajutorul generatorului și a receptorului de audiofrecvență, prin injectarea unui semnal de audiofrecvență între două dintre conductoarele cablului, scurtcircuitate între ele la celălalt capăt de cablu. Câmpul electromagnetic s-a păstrat omogen până când s-a modificat în zona manșonului datorită poziției diferite și a distanței mai mari pe care o au conductoarele între ele în interiorul manșonului, determinând un maxim de semnal deasupra acestuia.

S-a efectuat excavația în dreptul singurului manșon identificat pe tronsonul cablului (Fig.18) și s-a secționat mantaua exterioară pentru refacerea continuității armăturii metalice, prin montarea unei trese stanate.



Fig.18. Montarea tresei stanate cu inele de fixare pentru transferul armăturii; Montarea manșonului de tip fermoar termocontractibil

După terminarea lucrării, generatorul undă de șoc conectat a început să genereze descărcări, iar zgomotul intens produs de descărcare, a fost interceptat la suprafață în mod direct, fără a mai fi utilizat aparatul digiPhone.

Din acest caz am concluzionat cât de importantă este continuitatea armăturii metalice sau a ecranului în procesul de identificare a defectelor, pentru anumite situații.

Există însă și cazuri în care depistarea defectului la cablul de joasă tensiune este complicată tocmai datorită armăturii metalice sau ecranului, care în anumite condiții îngreunează operațiunile de depistare a defectului, generând întârzieri și pierderi materiale.

Un exemplu elocvent este cel de depistare a defectului în *LES 0,4 kV*, pozat pe o distanță de aproximativ 120 metri, între postul de transformare *PTZ 4038* și o firidă de bloc, în localitatea Reșița, județul Caraș-Severin. Cablul este de tipul *ACYABY 3x150+70 mm²*.

După identificarea traseului și generarea descărcărilor IT pe faza R defectă, s-a făcut deplasarea în zona prelocalizată, interceptând în căști un semnal acustic de intensitate medie cu propagare pe distanțe mari, de la un capăt la celălalt al cablului, ca și cum defectul ar exista pe toată lungimea cablului.

S-a utilizat și metoda inductivă dar fără rezultat, deoarece intensitatea câmpului electromagnetic s-a păstrat constantă pe tot traseul de cablu, modificările fiind insesizabile.

Soluția pentru atenuarea zgomotului a constat în dezlegarea armăturii de metal a cablului de la potențialul pământului în ambele capete de cablu, și generarea arcului electric la locul de defect între potențialul pozitiv al conductorului principal defect și potențialul negativ al pământului, fără implicarea activă a armăturii metalice.

S-a repus în funcțiune generatorul undă de șoc și s-a observat că zgomotul produs de armătura metalică datorită vibrațiilor cauzate de arcul electric la locul de defect, și care a fost auzit pe tot traseul de cablu, s-a atenuat până la o valoare neglijabilă, care a permis să se distingă zona cu intensitatea semnalului acustic cel mai intens, respectiv locul de defect.

După efectuarea săpăturii, s-a secționat mantaua exterioară a cablului pentru vizualizarea defectului și s-a concluzionat că zgomotul de manta a fost produs de vibrația armăturii metalice, sub acțiunea arcului electric creat între conductorul defect (potențial mare) și armătura (potențial zero) legată la pământ, care a produs și o cavitate în banda de oțel a armăturii (Fig.19).



Fig.19. Punctul de străpungere a izolației dintre conductor și armătura metalică; Porțiunea din banda de oțel în care arcul electric a generat fenomenul de vibrație al armăturii metalice.

În concluzie, dezlegarea armăturii de metal de la centura de împământare a determinat atenuarea zgomotului de manta prin modificarea rezistenței defectului, arcul electric stabilindu-se de această dată între conductorul defect și pământ, armătura metalică fiind izolată față de pământ.

Depistarea defectelor în cablurile de medie și înaltă tensiune prezintă o serie de particularități distincte. Deși etapele procesului de defectoscopie sunt aceleași ca și în cazul cablurilor de joasă tensiune, apar deseori probleme de localizare a defectelor datorită distanțelor mari de pozare, uneori kilometrice. Totodată, dacă în cazul cablurilor de joasă tensiune, conectarea acestora la tensiunea rețelei se realizează printr-o legătură directă sau prin intermediul "papucilor" de cablu, realizarea conexiunii cablurilor MT și IT în posturile și stațiile de transformare se face prin intermediul capetelor terminale.

Un caz interesant este cel întâlnit la *LES 20 kV Călnic-Mociur*, din localitatea Reșița, cu o lungime aproximativă de 360 metri, care asigură conexiunea între două linii electrice aeriene prin intermediul separatoarelor de linie, montate pe stâlpi (nr.48-50).

După dezlegarea capetelor terminale de pe bornele separatoarelor de linie, s-au măsurat rezistențele de izolație ale cablurilor față de ecranele de cupru, puse la pământ. Măsurătorile s-au efectuat de la stâlpul cu numărul 48 și au indicat un defect de scurtcircuit (155 k Ω) față de pământ (faza T), fazele R și S având valori normale (14/22 G Ω).

Utilizând metoda ARM de prelocalizare, s-au efectuat două măsurători, prima prin compararea reflectogramei fazei T defecte cu ea însăși, iar a doua prin compararea reflectogramei fazei T cu reflectograma memorată a uneia dintre celelalte faze R, S. Rezultatele obținute sunt prezentate în Fig.20.

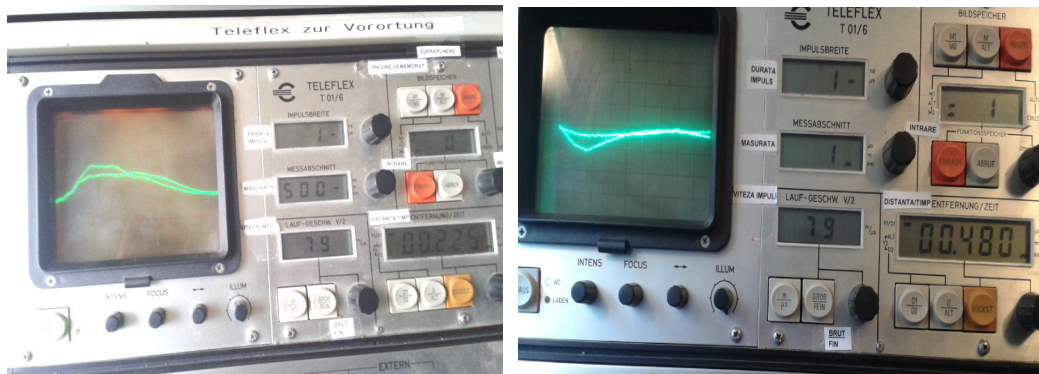


Fig.20. Compararea reflectogramei: a) fazei T cu ea însăși; b) fazei T cu reflectograma fazei R

Cele două rezultate diferite au determinat extinderea porțiunii de căutare, pornindu-se din zona de primă prelocalizare și deplasându-se către capătul opus al cablului, urmărind cele două semnale, electromagnetic și acustic ale receptorului mobil. Defectul a fost identificat la o distanță aproximativă de 276 m de la capătul de măsură al cablului.



Fig.21. Vizualizarea defectului de manșon după efectuarea săpăturii

S-a secționat cablul în zona manșonului în vederea manșonării și s-au măsurat rezistențele de izolație ale celor două secțiuni rezultate, constatându-se că pe secțiunea de plecare către capătul opus, respectiv către stâlpul cu numărul 50, mai există un defect.

Măsurarea distanței de prelocalizare după execuția manșonului, a indicat defectul în capătul opus, la capul terminal ale cablului.

S-a efectuat deplasarea pentru investigarea stării capetelor terminale la stâlpul cu separator opus, dar vizual nu s-a putut constata defectul. În urma generării impulsurilor cu generatorul undă de șoc, în capul terminal a fost interceptat un sunet slab, un așa zis ”țacănit”, pe baza căruia nu s-a putut confirma prezența defectului.

Pentru continuarea procesului de depistare a defectului, s-a căutat o modalitate de modificare a rezistenței defectului, măsurată inițial (< 1 k Ω), la o valoare care să permită formarea arcului electric. S-a decis dezlegarea ecranului din ambele capete de cablu de la potențialul pământului și remăsurarea rezistenței de izolație față de potențialul pământului. Megohmetrul a indicat valoarea de 2,5 k Ω . Pentru această valoare, impulsurile IT au reușit să genereze arc electric, defectul fiind identificat în interiorul capului terminal (Fig.22).



Fig.22. a)Dezlegarea ecranelor de cupru de la centura de împământare a stâlpului LEA și identificarea defectului de cap terminal;b)Înlăturarea învelișului exterior și vizualizarea în ansamblu a defectului

În concluzie, pentru modificarea rezistenței de defect, în practică se pot face o serie de artificii care să creeze condițiile de aplicare a metodelor uzuale de depistare a defectelor, evitându-se, pe cât posibil, străpungerea accidentală a izolației prin metode distructive.

Așadar, o metodă verificată de transformare a rezistenței de defect, constă în intervenția asupra ecranului sau armăturii metalice a cablului, în scopul punerii sau izolării față de pământ. Datorită poziției ecranului (între miez și pământ), în majoritatea cazurilor de defectare, valoarea rezistenței de defect este influențată direct de valoarea rezistenței ecranului (armăturii metalice) față de potențialul pământului. Refacerea continuității ecranului sau legarea acestuia la pământ determină, în cazul unui defect de scurtcircuit, transformarea rezistenței de defect în valori care să permită localizarea defectului. Metodele utilizate în timpul operațiunilor de identificare a defectelor, sunt prezentate în Fig.23.

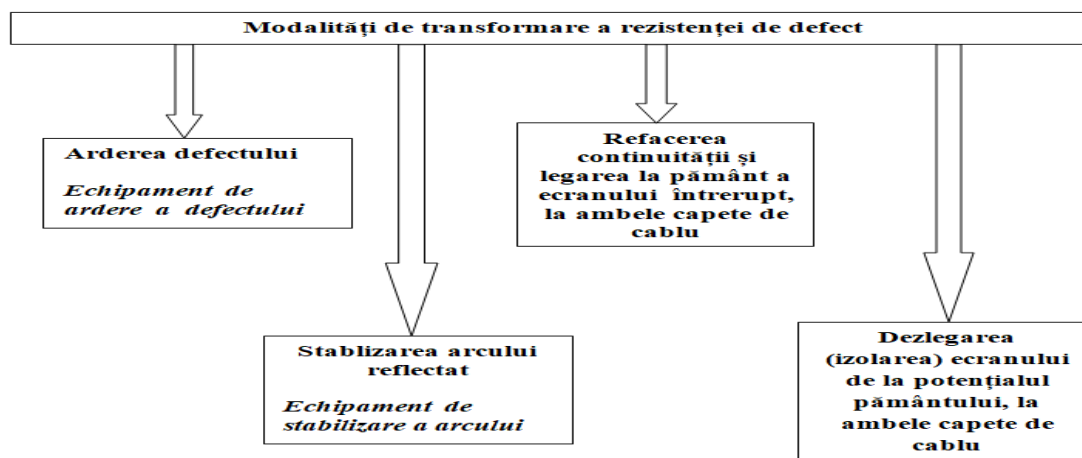


Fig.23. Moduri de transformare a valorii rezistenței de defect

În exploatare sunt întâlnite des tronsoane de cabluri cu o durată de zeci de ani în exploatare, a căror uzură fizică a determinat degradarea izolației și implicit modificarea parametrilor mecano-electrici. De asemenea, se practică tot mai des înlocuirea doar a unor secțiuni din tronsonul de cablu uzat cu cablu nou sau se efectuează lucrări de manșonare între tronsoane de cabluri cu izolație diferită și/sau secțiuni diferite, de exemplu, cabluri cu izolație PE/XLPE cu cele cu izolație în ulei HIU, având parametrii electrici diferiți.

Se va prezenta modul de depistare a defectului în LES 20 kV, care asigură conexiunea celulei MT din PTZ 5072 la LEA 20 kV nr.1 IURT din localitatea Lugoj, județul Timiș, cu o lungime aproximativă de 620 metri. Cablul este format din două tronsoane cu izolație diferită, respectiv cablu de tip A2XS(F)2Y 3x1x150 combinat cu ACHPB 3x150(cablu cu izolație în ulei), acesta din urmă având o vechime de aproximativ 30 de ani în exploatare.

După efectuarea măsurătorilor de rezistență de izolație, s-a concluzionat existența unui defect de scurtcircuit cu rezistență mică ($< 2 \text{ k}\Omega$) pe faza T față de pământ, care ar fi putut fi identificat prin utilizarea metodei de prelocalizare și localizare cu impuls IT, utilizând generatorul undă de șoc SWG. Deși această metodă este cel mai des folosită, în cazul de față nu a fost utilizată deoarece impulsurile de înaltă tensiune ar fi putut fi distructive pentru porțiunile de cablu cu grad mai mare de îmbătrânire a izolației, și s-a optat pentru metoda inductivă, cu semnal de audiofrecvență. Reflectograma defectului este prezentată în Fig. 24.

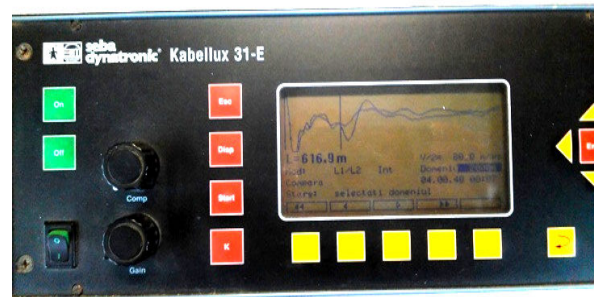


Fig.24. Reflectogramele de prelocalizare

În continuare, s-a procedat la identificarea exactă a defectului cu ajutorul receptorului de audiofrecvență setat pe frecvența de 8,44 kHz, făcându-se deplasarea în zona prelocalizată pe traseul cablului. Datorită impedanțelor diferite ale secțiunilor care întregesc circuitul de cablu de la un capăt la celălalt, s-au interceptat câmpuri electromagnetice de intensități variabile, care au alternat cu nivele de maxim și minim pe toată lungimea cablului.

Neputându-se stabili cu exactitate o porțiune restrânsă cu nivel maxim de semnal, care ar fi indicat locul de defect, s-au marcat locurile în care semnalul a variat brusc de la maxim la minim și invers pe tot traseul cablului și s-a luat decizia de a se injecta semnal și din capătul opus al cablului, prin mutarea autolaboratorului de defectoscopie. S-a efectuat aceeași operațiune de marcarea a locurilor cu creșteri și scăderi bruște de semnal, după care s-au comparat rezultatele prin suprapunerea lor, punându-se accent pe traseul apropiat zonei de prelocalizare, dată de reflectogramă.

Conform rezultatelor, o variație semnificativă maxim-minim a semnalului a fost înregistrată la aproximativ 610 m de punctul de transformare, la circa 10 m de stâlpul LEA.

S-a efectuat săpătura în locul indicat și s-a descoperit un defect de străpungere a manșonului pe o secțiune de cablu cu izolație în ulei Fig.25.



Fig.25 . a) Identificarea punctului de străpungere în mantaua de fontă; b) Manșonarea cablului utilizând două manșoane de tranziție de la cablu HIU la trei cabluri cabluri monopolare cu izolație XLPE.

Concluzionăm că procesul de identificare a defectelor este unul complex și necesită experiență din partea personalului autorizat în ceea ce privește luarea celor mai bune decizii în alegerea metodelor specifice fiecărui caz în parte, fiind necesare cunoștințe teoretice și practice din domeniile electrotehnicii și energeticii.

Prin corelarea datelor tehnice ale echipamentelor de diagnoză oferite de producător cu datele obținute în timpul operațiunilor de prelocalizare și localizare a defectelor, a fost concepută o schemă logică (Fig.26) prin care se descrie algoritmul de funcționare a instalației de defectoscopie, pentru principalele tipuri de defecte întâlnite în exploatare: defecte seriale și defecte paralele.

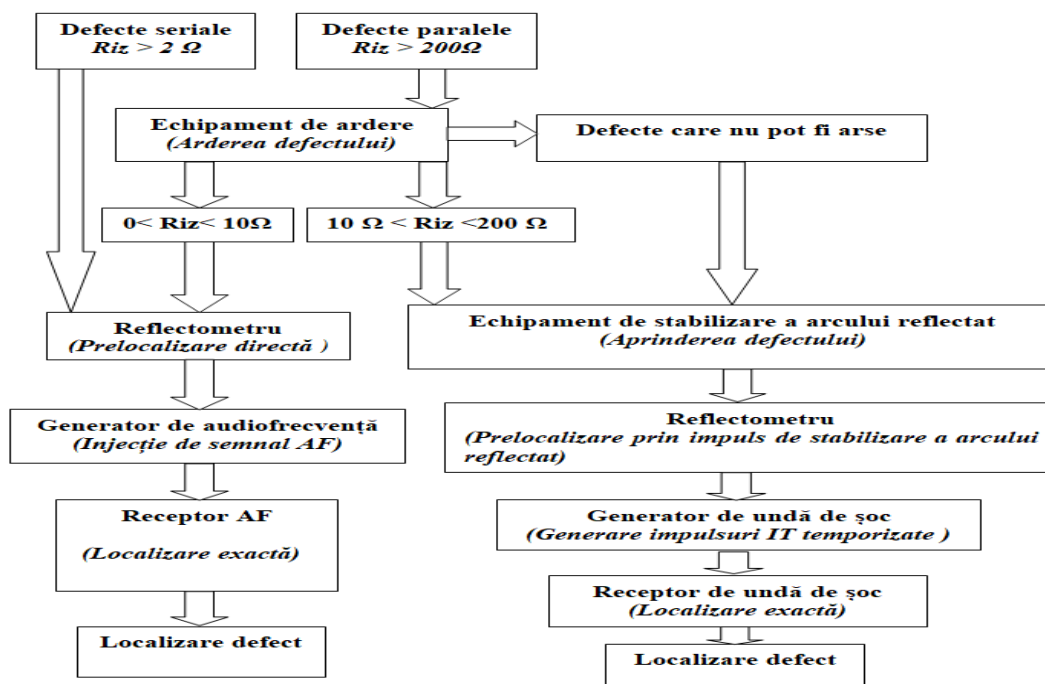


Fig.26. Schema logică de utilizare a instalației autolaboratorului de defectoscopie

Monitorizând valorile măsurate ale rezistenței de izolație la defect cu ocazia operațiunilor de defectoscopie, s-a concluzionat că, pentru defecte seriale cu rezistență de izolație $< 2\Omega$, prelocalizarea defectului se poate face în mod direct, utilizând impulsul (JT) transmis de reflectometru în cablu, fără utilizarea generatorului undă de șoc. Localizarea exactă se realizează, în acest caz, prin metoda inductivă care constă în injecția unui curent AF în cablu, de la un generator AF, și localizarea defectului prin urmărirea semnalului cu ajutorul receptorului AF mobil.

Pentru defecte paralele, cu rezistență de izolație $> 200\Omega$, se utilizează echipamentul de ardere a defectului, după care, în funcție de valoarea rezultată a rezistenței de izolație, se utilizează fie prelocalizarea directă, fie prelocalizarea cu impulsuri IT, provenite de la generatorul undă de șoc.

Am concluzionat că există și situații în care arderea defectului este imposibilă sau necesită un interval de timp de așteptare foarte lung. În acest caz, se utilizează echipamentul de stabilizare a arcului electric, care în combinație cu generatorul undă de șoc, poate genera arc electric la locul de defect, zgomotul produs de descărcare putând fi interceptat la suprafață cu ajutorul echipamentului mobil de interceptare a sunetului (digiphone).

Capitolul 5 - sintetizează concluziile generale și contribuțiile personale obținute în urma cercetării efectuate privind eficientizarea diagnozei defectelor în cablurile de energie electrică, valorificând literatura studiată și rezultatele experimentale obținute în activitatea de prelocalizare și localizare a defectelor în cablurile de energie electrică.

Defectările frecvente ale liniilor electrice în exploatare certifică faptul că în prezent nu există un izolator perfect, care să nu permită deloc trecerea curentului electric prin el, de aceea nu se pune accent pe evitarea totală a scurgerilor de curent, ci pe reducerea acestora.

În cadrul studiului experimental, s-a realizat o instalație de laborator formată dintr-o cuvă (tub PVC de tip rigid dispus orizontal) umplută cu o soluție electrolică similară cu cea a ploii acide, și un echipament de încercare cu tensiune mărită continuă, de tip HPG 70 D.

Un eșantion de cablu a fost scufundat în soluția acidă și a fost poziționat astfel încât extremitățile sale să rămână izolate față de cuva fixată pe izolatori ceramici, cu conductorul principal izolat față de ecranul de cupru, pus la pământ.

În compoziția chimică a substanței electrolice s-au utilizat doi compuși chimici cu puternic efect coroziv, întâlniți frecvent în zonele poluate: acidul sulfuric (H_2SO_4) și acidul azotic (HNO_3).

Măsurătorile efectuate pe parcursul testării experimentale au evidențiat modificări semnificative ai parametrilor dielectrici ca urmare a solicitărilor din partea factorilor de mediu simulați (apa, agenții chimici, temperatura). Aceștia au influențat rigiditatea dielectrică a izolației determinând pierderi de energie prin creșterea valorii curentului de conducție, în raport cu valorile de la începutul testării.

În prima etapă a testării, s-a concluzionat că valoarea rezistenței de izolație scade proporțional cu gradientul tensiunii de alimentare a eșantionului de cablu testat. Pentru situații accidentale care pot apare mare (supratensiune, supracurent, suprasarcină), cablul se încălzește și deși cedează o parte din căldură mediului exterior, valoarea rezistenței de izolație scade pe măsură ce crește temperatura cablului.

În etapa testării eșantionului de cablu în lipsa tensiunii de alimentare, rezultatele au arătat că izolația cablului este puternic afectată de mediul acid, provocat de electrolitul din cuva instalației. În aceste condiții, cablul nu-si mai poate menține o temperatură constantă în lipsa curentului de conducție, și devine mai vulnerabil la agentul chimic

După parcurgerea etapelor studiului experimental și compararea rezultatelor, s-a remarcat că electrolitul a acționat cel mai agresiv asupra izolației în intervalele de timp în care cablul a fost scos de sub tensiune, fapt care a determinat, la repunerea sub tensiune, străpungerea izolației.

Corelând rezultatele obținute în laborator cu situațiile întâlnite pe teren, s-a recomandat păstrarea liniilor electrice în permanență sub tensiune (rezervă caldă), chiar dacă nu sunt utilizate continuu în alimentarea consumatorilor electrici. În acest mod se poate evita fenomenul de îmbătrânire prematură a izolației, și implicit defectarea cablului în momentul repunerii lui sub tensiune.

În exploatare, s-a observat că pentru LEA care utilizează cablu torsadat, montarea buclelor de rezervă pe conductorul torsadat în vederea îmbinărilor solicită izolația electrică și determină o accelerare a procesului de degradare și îmbătrânire a acesteia. Deoarece manșonările sunt realizate cu precădere în dreptul stâlpilor de susținere, s-au întâlnit situații în care buclele de rezervă nu au fost ancorate corespunzător pentru evitarea coliziunii cu stâlpii (sub acțiunea vântului), determinând apariția incidentelor.

Cu ocazia identificării defectelor, au fost constatate greșeli de execuție a manșoanelor, care au permis pătrunderea apei în interiorul cablului. Este extrem de important ca montarea tuturor accesoriilor să fie executată corect, în condiții de umiditate scăzută și de către personal calificat și autorizat.

Pentru a scoate în evidență starea de degradare a izolației, s-au efectuat calcule de fiabilitate pe baza unor modele matematice, utilizând un program software de analiză și

simulare, pentru diferite circuite de cabluri existente în exploatare, având ca și date de referință duratele de bună funcționare între două defecte, precum și valorile curenților de conducție mășurați cu ocazia incidentelor. Valorile procentuale ale funcției de defectare $F(x)$ și ale funcției de fiabilitate $S(x)$ pe anumite intervale de timp, au indicat în majoritatea cazurilor o probabilitate mare de defectare, pe intervale de timp relativ scurte.

Monitorizând istoricul de producere a incidentelor ulterioare, s-a concluzionat că defectările prognozate pentru toate cele patru cazuri analizate, s-au produs după intervale de timp pentru care probabilitatea de defectare a fost $> 80\%$.

De asemenea, s-au efectuat cercetări asupra modului în care mediul poluat cu steril acționează asupra izolației din polietilenă a manșoanelor de îmbinare. Investigarea cauzei și a modului de producere a defectelor pentru aceste situații, a arătat că rezistența chimică a polietilenei este mult mai scăzută comparativ cu cea a cauciucului etilopropilenic sau a policlorurii de vinil din care este confecționată izolația cablului, ca dovadă învelișul de polietilenă al manșoanelor s-a dizolvat efectiv în apa acidă, devenind o masă gelatinoasă, în timp ce izolația cablului de o parte și de cealaltă a manșonului de îmbinare nu s-a degradat.

Înlocuirea manșoanelor existente cu manșoane speciale cu izolație PTFE a rezolvat problema defectărilor, izolația din PTFE dovedindu-se a fi cea mai stabilă la acțiunea agenților corozivi din zonele poluate cu steril.

Măsurătorile efectuate cu ocazia repunerii în funcțiune a cablurilor electrice după înlăturarea defectelor, indică faptul că 80% din rețeaua de linii electrice în cablu de pe teritoriul județului Caraș-Severin și al localității Lugoj(Timiș) au grad mare de uzură și nu mai prezintă siguranță în funcționare.

Pentru înțelegerea fenomenelor care determină îmbătrânirea prematură și străpungerea dielectricului, au fost efectuate cercetări în vederea indentificării principalilor factori care acționează asupra izolației cablurilor de energie electrică aflate în exploatare, prin aplicarea metodei AMDE(Analiza Modulilor de Defectare și a Efectelor). Analiza a fost posibilă după colectarea datelor și sintetizarea informațiilor obținute în urma lucrărilor de mentenanță la cablurile de joasă și medie tensiune din zona județelor Caraș-Severin și Timiș, în perioada 2012-2018.

În ceea ce privește procesul de prelocalizare și localizare a defectelor, au fost elaborate scheme logice de utilizare a echipamentelor autolaboratorului de defectoscopie, precum și algoritmi de identificare a defectelor pentru cazuri mai speciale, ca de exemplu, pentru cablurile pozate în tuburi de protecție sau tronsoane de cabluri de secțiuni și tipuri diferite, cu grad mare de uzură în exploatare.

Din punct de vedere al transformării rezistenței defectului, a fost propusă, în afara metodelor uzuale, o metodă nouă care și-a verificat utilitatea, și anume, modificarea rezistenței de defect, încât să aibă valori care să permită prelocalizarea și localizarea.

Rezultatele cercetărilor obținute în cadrul tezei, în vederea evitării apariției unor defecte și pentru creșterea siguranței în funcționare, au fost implementate pentru liniile electrice în cablu pozate aerian(LEA-LEC) și pentru cele pozate subteran(LES) de pe teritoriul județului Caraș-Severin și al localității Lugoj(Timiș). Ele au constituit baza mai multor lucrări științifice publicate pe parcursul elaborării tezei de doctorat.

Unele dintre direcțiile viitoare de cercetare ar fi îmbunătățirea metodelor de diagnoză, pentru a putea rezolva problemele legate de imposibilitatea utilizării acestora în anumite condiții de defect, ca și dezvoltarea unor cercetări teoretice și practice care să permită alegerea celei mai adecvate soluții de identificare, în funcție de natura defectului.

De asemenea elaborarea unui sistem software expert, sub forma unui modul distinct implementat în instalația autolaboratorului de defectoscopie, care să analizeze și să recomande în mod automat algoritmul de utilizare a metodelor de depistare a defectului pentru fiecare caz în parte, ar asigura o îmbunătățire substanțială a diagnozei defectelor din liniile electrice în cablu.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [3] Radu Zlatian, Izolația electrică, Editura Aius, Craiova, 2013.
- [4] E. Ivan, A. G. Husu, M. I. Olariu, Materiale utilizate în ingineria electrică, Editura Bibliotheca, Târgoviște, 2009.
- [7] P.V. Notingher, L. M. Dumitran, Materiale electrotehnice, Editura Matrixrom, București, 2015.
- [16] *** *EEL-Electroechipament Industrial Reșița* - Executarea lucrărilor de mentenanță la instalațiile de medie și joasă tensiune scoase de sub tensiune-Zona MT-JT , jud. Caras-Severin – jud. Timiș, 2013-2018.
- [20] Mircea Gușă, Descărcări electrice în izolația instalațiilor de înaltă tensiune - Materiale didactice, Universitatea Tehnică ” Gheorghe Asachi” Iași, 2015.
- [21] Laurențiu Marius Dumitran, Sisteme de izolație electrică, Editura Printech, București, 2008.
- [28] *** www.imsaproiect.ro, Avantajele produselor termoretractibile Raychem.
- [29] *** *Tyco Electronics Raychem GmbH*, Accesorii pentru cablu de energie, catalog 2008/2009.
- [30] Cristina Sărăcin, Instalații electrice, Editura Matrixrom, 2009.
- [31] Lucian Ciobanu, Instalații electrice de joasă tensiune. Elemente de audit și domotică, Editura Matrixrom 2004.
- [32] G. Basarab, G. Darie, S. Gal, D. Olovinaru, Stații și rețele electrice, Editura Academiei Române, București 2005.
- [33] Maria Vintan, Producerea, transportul și distribuția energiei electrice, Editura Matrixrom, București 2009.
- [49] Maria Lazăr, “Cercetări privind stabilitatea și reconstrucția ecologică a terenurilor afectate de minierit”, Teză de abilitare, Universitatea din Petroșani, 2016.
- [54] N. Butoi, A. Lucchian, A. Caramitru, S. Mitrea, T. Rus, ”Influența factorilor biologici asupra durabilității și siguranței în exploatarea echipamentelor și instalațiilor electrice și energetice”, revista Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA), 2017, vol. 65 (1), pp. 72-80.
- [59] Lucian Ciobanu, Fiabilitate, diagnoză și elemente de calimetrie, Editura Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iasi, 2015.
- [60] C. Mihai, S. Abagiu, L. Zoițanu, ”Interconexiuni între fiabilitate, mentenanță și disponibilitate”, Proceedings of „Conferința Națională și Expoziția de Energetică, SIER 2009”, pp. 606-613, Sinaia, România, 2009.
- [66] A. Savin, I. Barnoaiea, C. Buzdugan, ”Aspecte privind analiza fizică a haldelor de steril din muntii Calimani”, Analele Universității ” Ștefan Cel Mare” Suceava, 2007.
- [72] *** *C.N Transelectrica S.A.*, NTE 005/06/00 - Normativ privind metodele și elementele de calcul al siguranței în funcționarea instalațiilor energetice.
- [73] Titu I. Băjenescu, Fiabilitatea sistemelor tehnice, Editura Matrixrom, București, 2006.
- [74] C. Homan, C. Csuzi, I. Lingvay, C. Lingvay, ”Fiabilitatea instalațiilor energetice de medie tensiune. Studii privind evoluția incidentelor pe rețeaua de distribuție a energiei electrice ClujNapoca”, in EEA, vol. 57/2009, nr. 1, p. 31.
- [79] *** <https://www.mathwave.com>, EasyFit Profesional 5.6.- Program de analiză și simulare, Mathwave Technologies.