

# **RAPORT DE CERCETARE**

## **2.1. Cuprins**

- Obiectivul general
- Obiectivele fazei
- Rezumatul fazei
- Descrierea științifică și tehnică
- Concluzii
- Bibliografie

## **2.2. Obiectivul general**

•Dezvoltarea și promovarea unei tehnici noi de măsurare a descărcărilor parțiale.

## **2.3. Obiectivele fazei:**

- Realizarea unei tehnici noi de măsurare a descărcărilor parțiale prin cuplarea metodei electrice cu cea acustică.
- Validarea noii tehnici prin efectuarea de măsurări pe transformatoare.
- Consolidarea cooperării cu firmele Omicron-Asustria și Mtronix-Germania.

## **2.4. Rezumatul fazei III: Experimentarea noii tehnici de măsurare a descărcărilor parțiale**

Evaluarea sistematică a sistemelor de izolație ale transformatoarelor a devenit o necesitate pentru a preveni scoaterea intempestivă din funcțiune a acestora ceea ce ar conduce la pierderi financiare mari.

Este recunoscut pe plan mondial că singura măsurare care aduce informații obiective asupra naturii și gravității defectelor din transformator este măsurarea descărcărilor parțiale. Pentru o mai precisă diagnosticare a stării funcționale a

transformatorului este nevoie de localizarea defectelor. Aceasta permite totodată și reducerea timpului necesar pentru depistarea și repararea transformatoarelor.

Sistemul de măsurare realizat prezintă o tehnică nouă de localizare a surselor de descărcări electrice care combină rezultatele măsurării pe cale electrică cu cele obținute din măsurările prin metoda emisiei acustice.

## **2.5. Descrierea științifică și tehnică**

### **2.5.1. Introducere**

Transformatoarele de putere sunt unele dintre cele mai importante componente ale Sistemelor Energetice Naționale. Multe dintre acestea au fost în serviciu de mulți ani fiind supuse la solicitări speciale: climatice, electrice și mecanice.

Transformatoarele de putere sunt scumpe și reprezintă un procent ridicat din investițiile făcute pentru realizarea Sistemului Energetic Național. Din acest motiv extinderea duratei lor de viață reprezintă nu numai un obiectiv economic dar și un mijloc de prevenire a pierderilor provocate de scoaterea intempestivă din funcțiune a transformatoarelor.

Pentru că măsurarea descărcărilor parțiale (DP) este un eficient mijloc pentru diagnosticare s-au făcut eforturi mari pentru analiza diverselor aspecte ale DP cum sunt: măsurarea, recunoașterea și localizarea lor.

Măsurarea DP pe transformatoarele energizate din rețeaua de tensiune înaltă este foarte dificilă din cauza procesului de discriminare între DP și diversele surse de zgomot.

În mod obișnuit DP sunt detectate cu senzori electrici sau acustici.

Sistemul de măsurare a emisiilor acustice ale DP nu poate fi etalonat din cauză că unda acustică trece prin mai multe bariere cu impedanța acustică diferită și este supusă fenomenului de reflecție. Metoda acustică este folosită numai pentru monitorizare și localizare.

Metoda de măsurare electrică permite evaluarea mărimii sarcinii electrice aparente și o localizare globală a sursei de DP.

### **2.5.2. Realizarea unei tehnici noi de măsurare a descărcărilor parțiale prin cuplarea metodei electrice cu cea acustică.**

Noua tehnică de măsurare a preluat avantajele fiecărei metode folosite până acum și anume:

a) de la măsurarea pe cale electrică:

- capabilitatea de a fi etalonată și a da o mărime interpretabilă;
- posibilitatea determinării naturii defectului;
- posibilitatea aprecierii înfășurării care are un defect sau se află în imediata apropiere a acestuia;

b) de la măsurarea pe cale acustică:

- nu este influențată de perturbațiile externe;
- pretabilă la tehnici precise de localizare.

“Preluarea avantajelor fiecărei metode” este un mod de exprimare care ascunde o activitate de cercetare intensă și nu de puține ori iterativă deoarece mai multe soluții hardware cuplate cu software personalizat au fost realizate și încercate până s-a ajuns la o variantă care a fost validată prin măsurări și localizări de defecte pe transformatoare reale.

În continuare este prezentată soluția finală care este compusă dintr-un sistem de măsurare pe cale acustică proiectat și realizat de ICMET Craiova, un sistem de măsurare pe cale electrică realizat de firma Mtronix-Berlin care face parte din grupul OMICRON-Austria, un software de discriminare a semnalelor utile de DP de perturbațiile electromagnetice realizat de firma OMICRON, un software de localizare a defectelor prin corelarea rezultatelor prin metoda electrică și acustică realizat de ICMET Craiova.

#### **2.5.2.1. Sistemul de măsurare acustic**

Sistemul de măsurare pe emisii acustice constă din patru senzori care au integrat în construcția lor un filtru și un preamplificator; un sistem de achiziție date; un dispozitiv de trigerare și un calculator (Fig.1).

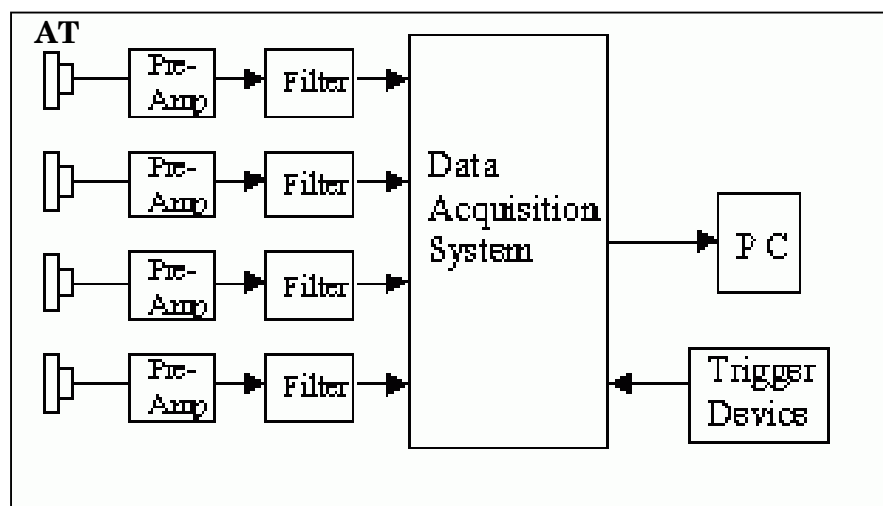


Fig.1. *Circuitul de detecție a emisiei acustice a DP.*

Undele acustice emise de sursa de DP sunt detectate de senzorii plasați pe cava transformatorului. Semnalul electric produs de senzorul acustic este achiziționat de un sistem convențional de achiziții date.

Senzorul de emisie acustică este un traductor piezoelectric care convertește semnalele acustice în semnale electrice proporționale cu viteza suprafeței pe care au fost atașate.

Ele funcționează în domeniul 20-80kHz și au un preamplificator cu coeficientul de amplificare de 46dB.

Cuplajul între cava transformatorului și senzor se consideră parte integrantă a sistemului de măsurare deoarece influențează puternic caracteristicile tehnice ale acestuia.

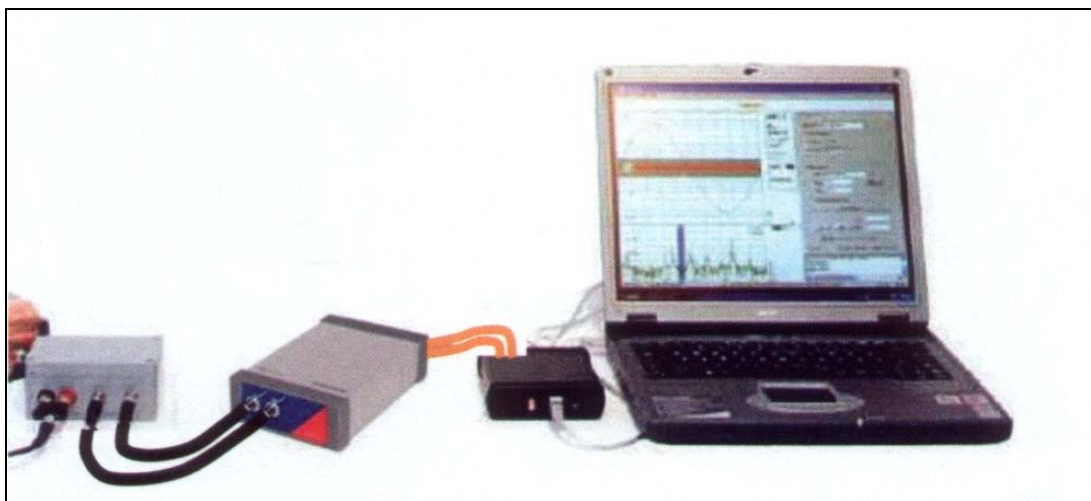
Achiziția sincronă de la cele patru canale este controlată de un dispozitiv de trigerare care detectează trecerea prin zero a tensiunii înalte care alimentează transformatorul.

#### 2.5.2.2. Sistemul de măsurare electric

Măsurările cu metoda electrică se realizează cu sistemul digital tip MPD 600 realizat de firma Mtronix.

Acest sistem permite măsurări de DP în condiții on-site, în prezența unor perturbații electromagnetice puternice deoarece asigură achiziția sincronă de la toate punctele de măsurare folosite [1].

Sistemul de măsurare tip MPD 600 constă din șase unități de achiziție, o interfață optică USB și un calculator cu software instalat [2].



*Fig.2. Sistemul de măsurare MPD 600  
(Impedanță de măsurare, unitate de achiziție,  
interfață USB, fibră optică și notebook)*

În contrast cu sistemele de măsură convenționale

- procesul de filtrare trece bandă cerut pentru quasi integrare este realizat complet numeric;

- frecvența centrală și lățimea de bandă pot fi alese în domenii largi permițând o aranjare optimă pentru reducerea influenței perturbațiilor externe;

- procesarea numerică a semnalelor de DP este realizată în timp real până la o rată a impulsurilor de  $1,6 \cdot 10^6$  impulsuri/sec.;

- parametrii esențiali ai impulsurilor de DP sunt memorați ca șiruri de date în timp real (sarcina electrică aparentă, timpul, unghiul de fază, polaritatea, valorile instantanee ale tensiunii alternative de încercare);

-măsurarea DP este realizată sincron pentru toate canalele de măsurare (deviația maximă fiind de 20 nsec.);

-comunicația între canalele de măsurare și controlerul PC via fibra optică și alimentarea de la acumulator permite măsurări de tipul “potential-free”.

Înregistrarea impulsurilor de DP permite vizualizarea lor la dorința operatorului și cu ajutorul interfeței de export MatLab ele pot fi folosite pentru a fi analizate off-line cu noi metode.

Această facilitate a fost folosită pentru discriminarea semnalelor de DP de cele perturbatoare utilizând propriul program software dezvoltat de ICMET deoarece software-ul realizat de firma germană nu se preta la tehnica de localizare dezvoltată de partea română.

Compararea rezultatelor de separare a semnalelor utile de perturbații, obținute cu metoda ICMET și metoda Mtronix a asigurat corectitudinea modului de lucru.

Procesarea semnalelor se face off-line în ambele cazuri.

Tehnica părții române [3] constă în eliminarea semnalelor generate de efectul Corona prin identificarea semnalelor care au aceeași amplitudine și amplasare pe axa timpului ale celor trei înfășurări cu aceeași tensiune nominală.

Următorul pas constă în transformarea semnalelor procesate din domeniul frecvență folosind Fast Fourier Transformer (FFT) și o funcție fereastră. În domeniul frecvență sunt identificate și suprimate semnalele care au energia distribuită pe o singură frecvență.

În ultima etapă are loc transferul din domeniul frecvență în domeniu timp cu funcția inversă FFT obținându-se semnalele de DP.

Partea germană a dezvoltat un sistem de separare a semnalelor de DP de cele provocate de perturbațiile electromagnetice care se bazează pe diagrama relației nivelelor celor 3 faze (3 PARD).

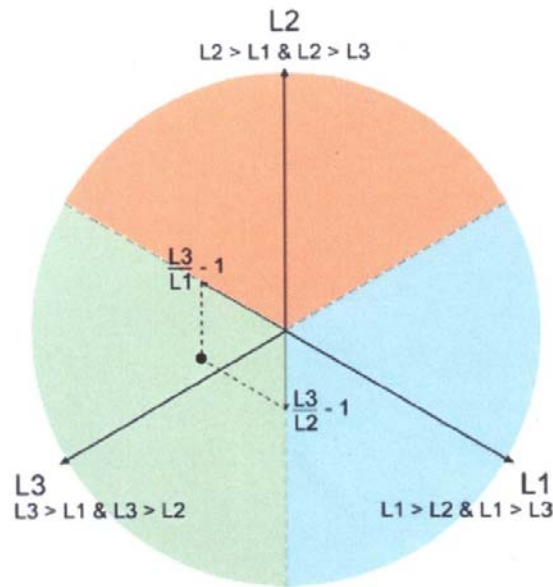


Fig.3. Construcția 3PARD [4]

Câteva proprietăți ale software 3PARD:

- impulsurile cu aceeași amplitudine de la cele 3 canale (common mode noise) sunt grupate în jurul originii axelor;
- DP cu simetrie la fazele vecine sunt concentrate pe axele diagramei (tipic pentru înfășurările triunghi).

Principalul scop al software-ului 3PARD este separarea impulsurilor combinate în impulsuri de DP și impulsuri false. Posibilitatea evaluării folosind histograme corespunzătoare și posibilitatea transformării inverse a grupei individuale de impulsuri de DP îi oferă un potențial real de aplicabilitate acestui software.

În concluzie 3PARD este realizat pentru analiza semnalelor achiziționate cu MPD 600 în scopul identificării naturii defectului și evaluării zonei sursei de DP.

Acest software nu a fost folosit în tehnica nouă de localizare a DP decât pentru comparare cu rezultatul software-ului realizat de ICMET.

Ne reamintim că după prelucrarea software a rezultat un impuls de DP a cărui poziție față de trecerea prin zero a tensiunii alternative este  $\Delta t$ .

Din măsurarea electrică rezultă și înfășurarea care este afectată de prezența descărcărilor parțiale. În jurul acestei înfășurări se plasează cele 4 traductoare acustice.

La energizarea transformatorului sunt înregistrate cele 4 semnale care provin de la traductoarele acustice care se propagă cu timpi diferiți ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  și  $T_4$ ).

În fig.4 sunt prezentați timpii de propagare conectați cu timpul de apariție a impulsului de DP care a provocat undele acustice [5].

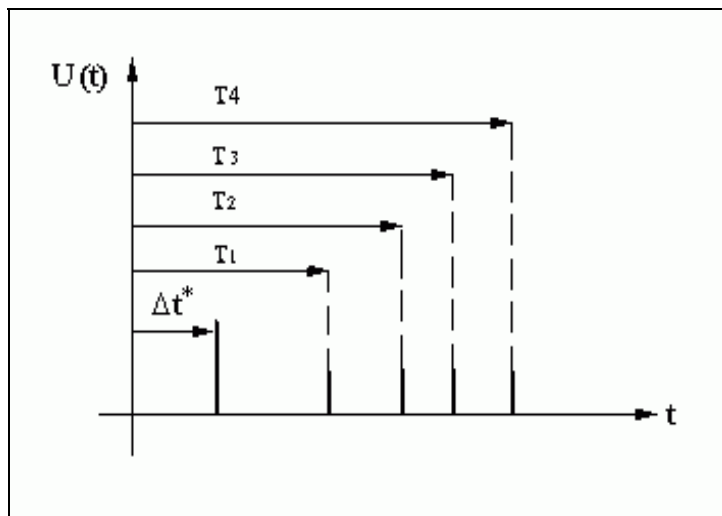


Fig.4 Vizualizarea timpilor de propagare a undelor acustice în relație cu timpul apariției de DP

Sursa de DP a fost modelată ca un punct care radiază unde acustice într-un mediu omogen. În fig.5 se prezintă o cuvă de transformator cu patru traductoare acustice atașate, sursa de DP și distanțele de la traductoare la sursa de DP.

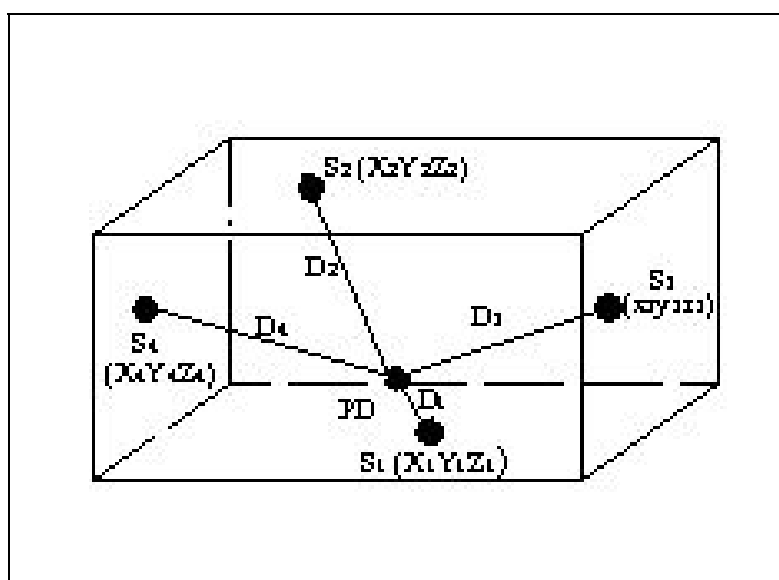


Fig.5 Traductoarele acustice plasate pe cuva unui transformator care are în interior o sursă de DP (folosind coordonatele Carteziene)



Următoarele ecuații rezultă pe baza funcțiilor sferice care intersectează sursa de DP:

$$(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 = [v(T_1-\Delta t^*)]^2$$

$$(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2 = [v(T_2-\Delta t^*)]^2$$

$$(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2 = [v(T_3-\Delta t^*)]^2$$

$$(x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2 = [v(T_4-\Delta t^*)]^2$$

unde  $V$  este viteza undei acustice prin ulei ( $\sim 1400$  m/s).

Dacă se notează cu  $T=T_1-\Delta t^*$  se obține un sistem de patru ecuații cu următoarele necunoscute:  $x$ ,  $y$ ,  $z$  și  $T$ . Cunoscând pe  $T$  și  $T_1$  se obține  $\Delta t^*$ .

Acest timp  $\Delta t^*$  este comparat cu cel obținut din măsurarea electrică ( $\Delta t$ ). Dacă valorile sunt apropiate atunci poziția geometrică a sursei de DP este corect determinată, dacă diferențele sunt mari atunci se re poziționează traductoarele acustice și se repetă măsurarea. În funcție de perspicacitatea operatorului poziția optimă a traductoarelor acustice se determină din 3-4 încercări.

### 2.5.2.3. Studiu de caz

Pentru evaluarea corectitudinii localizării au fost au fost executate mai multe măsurări în laborator și on-site.

Din păcate numai un singur caz a putut să ne ofere indicații de luat în considerare pentru că transformatorul măsurat a revenit în fabrica constructoare pentru reparare și cu această ocazie s-a făcut decuvarea lui și identificarea locului de defect.

Măsurările prin metoda electrică au pus în evidență la acest transformator (200MVA 400/220kV) descărcări parțiale de nivel mare pe una din faze (v.Fig.6a).

În Fig.6a este prezentată imaginea semnalelor achiziționate și în Fig.6b semnalul de DP rezultat în urma procesării.

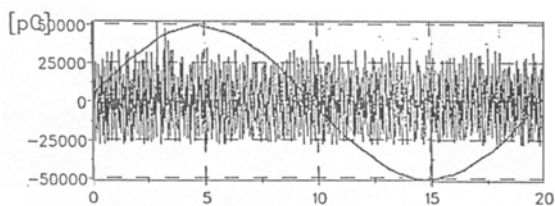


Fig.6a

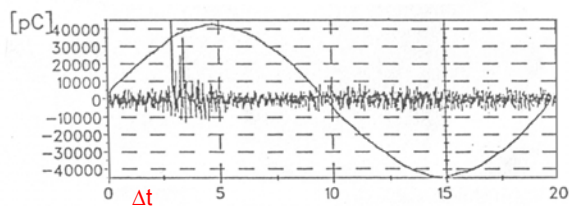


Fig.6b

Coordonatele sursei de DP au fost determinate poziționând succesiv cele 4 traductoare acustice astfel încât să se obțină o diferență cât mai mică între timpul de apariție a DP determinat din Fig.6b și cel rezultat din sistemul de ecuații prezentat anterior.

Între poziția reală găsită la decuvare și cea determinată prin calcul diferența a fost de cca 20mm.

Cazul prezentat validează viabilitatea metodei de localizare a defectelor dar au existat câteva aspecte care au favorizat procedeul și tehnica propusă și anume:

-DP a fost generată de un defect important (v.Fig.7).



Fig.7 Fotografia ecranului defect.

-Sursa de DP nu a fost în interiorul bobinei și în consecință semnalele acustice s-au propagat fără refracții sau reflecții.

-Sursa de DP a fost unică.

În concluzie este necesar să se continue cu activitatea de cercetare experimentală pentru perfecționarea software-ului care susține partea hardware, acesta din urmă reprezentând cea mai performantă soluție existentă în acest moment pe plan mondial.

Perfecționarea prelucrării datelor se va face în funcție de fiecare particularitate a defectelor investigate.

### **2.5.3.Schimb de specialiști pentru cunoașterea tehnologiilor de măsurare dezvoltate de fiecare partener.**

Firma OMICRON a organizat un workshop în localitatea Bregeuz din Austria la circa 20km de sediul firmei care se află în localitatea Klaus.

Din partea ICMET au participat doi specialiști și anume ing.Popa Dorin – directorul proiectului și prof.dr.ing.Marinescu Andrei.

Pe lângă tematica workshop-ului care se referea la Măsurări de diagnosticare la transformatoare au existat două evenimente foarte importante pentru desfășurarea proiectului și anume:

- întâlnirea cu dr.Ronald Plath de la Universitatea Tehnică din Berlin;
- participarea la o întâlnire de lucru la sediul din Klaus cu specialiștii în exploatarea sistemului de măsurare tip MPD 600.

Dr.Plath este inițiatorul proiectului de realizare a unui sistem de măsurare pe cale electrică a descărcărilor parțiale care să ofere utilizatorului posibilități de investigare și analiză mai multe decât cele înscrise în standardul IEC 60270. Grupul de tineri care au format firma Mtronix la Berlin au fost orientat și sfătuit de dr.Plath.

Prin discuțiile avute s-a consolidat dorința de a lucra cu colectivul Laboratorului de Înaltă Tensiune din cadrul ICMET. Ideea de a cupla măsurarea acustică cu cea electrică a izvorât dintr-o cooperare anterioară când au fost făcute măsurări de DP comparative, fiecare partener folosind echipamentele proprii.

Lecțiile practice care au avut loc la firma OMICRON și care au fost predate în continuarea workshop-ului au condus la cunoașterea practică a echipamentului și la limpezirea anumitor aspecte referitoare la folosirea lui.

În principal a necesitat clarificări modul de folosire a software-ului care oferă foarte multe facilități cum sunt de exemplu:

- analiza în domeniul frecvență a semnalelor;

-gruparea semnalelor în funcție de amplitudine, număr de impulsuri, unghi de fază etc.;

-posibilitatea de suprimare a anumitor semnale prin simpla introducere a lor într-un dreptunghi.

În timpul lecțiilor practice fiecare participant a trebuit să folosească sistemul de măsurare într-un scop precizat de lector.

#### **2.5.4. Experimentarea tehnicii noi de măsurare în condiții de exploatare a transformatoarelor de putere și măsură**

Au fost executate măsurări ale descărcărilor parțiale pe transformatoare de putere la locul de funcționare a acestora în scopul evaluării stării lor funcționale. În funcție de situația existentă au fost executate măsurări prin metoda electrică și/sau acustică.

La toate măsurările executate s-a aplicat procedeul de localizare a surselor de descărcări parțiale dar numai un singur transformator a fost readus în fabrica constructoare pentru reparare (v.pct.5.2.3), ocazie cu care s-a evaluat precizia determinării defectului.

Localizarea defectelor reprezintă o metodă eficientă pentru aprecierea dinamicii involuției stării de sănătate a izolației transformatorului și reduce timpul de găsimire a lor și de evitare a deteriorării părților sănătoase ale transformatorului.

#### **2.5.5. Întâlnire de lucru pentru prelucrarea și interpretarea rezultatelor**

ICMET Craiova a organizat în perioada 26-28 noiembrie a.c. un simpozion în localitatea Băile Olănești.

Simpozionul a avut două secțiuni cu următoarele tematici:

- măsurări și încercări cu tensiuni înalte sau curenți mari;
- monitorizarea și diagnosticarea echipamentelor electroenergetice.

O zi a fost dedicată pentru prezentarea a cinci tutoriale susținute de personalități recunoscute pe plan european.

Prof.Malewski Ryszard a vorbit despre detecția deplasărilor înfășurărilor transformatorului folosind metoda analizei răspunsului în frecvență.

Dr.Kachler Adolf a prezentat cerințele pentru exploatarea și mentenanța transformatorului în scopul prelungirii duratei lui de viață.

Dr.Plath Ronald a prezentat încercările speciale executate on-site pe echipamentele de înaltă tensiune.

Prof.Marinescu Andrei a vorbit despre metodele de măsurare cu senzori optici în tehnologia tensiunilor înalte.

Ing.Diaconescu Ion a prezentat participarea României în cadrul Comitetului de Studii pentru Transformatoare din cadrul organizației CIGRE.

În aceeași zi a fost organizată o întâlnire de lucru cu prof.Malewski și cu dr.Plath, personalități recunoscute internațional pentru contribuțiile aduse în domeniul măsurării descărcărilor parțiale, pentru discutarea rezultatelor măsurărilor de descărcări parțiale executate de ICMET Craiova pe transformatoare.

Din partea ICMET Craiova au participat ing.Popa Dorin, ing.Nicoară Tania și prof.Marinescu Andrei.

Au fost evaluate tehnicile de filtrare software folosite de ICMET și firma OMICRON.

Au fost făcute observații referitoare la modul de operare a sistemului de măsurare DP tip MPD 600 care în forma actuală este conceput numai pentru activitatea de cercetare nu și pentru aceea de execuție de măsurări de certificare.

Au fost comparate histograme a unor defecte cunoscute cu cele rezultate din măsurările on-site executate de ICMET și care au fost diagnosticate conform procedurii ICMET.

Au fost discutate lucrările prezentate de dl.ing.Popa Dorin “Localization of partial discharge source in power transformers” și de d-na Nicoară Tania “Experiments on the effect of wave guide material and shape on the acoustic emission transmission characteristics” a căror problematică este legată de implementarea de noi tehnici de măsurare a DP în locuri care au o puternică perturbație electromagnetică.

S-a convenit ca între specialiștii OMICRON și ICMET să se facă schimburi periodice de idei și să se colaboreze pentru lansarea pe piața europeană a unui nou produs pentru măsurarea și localizarea DP.

### **Concluzii**

- A fost implementată în ICMET o tehnică nouă de măsurare a DP atât prin metoda electrică cât și prin metoda emisiei acustice.
- La nivel național s-a asigurat o metodă modernă de investigare a stării funcționale a sistemelor de izolație a echipamentelor electromagnetice de înaltă tensiune.
- S-au efectuat măsurări de DP, on-site, în cadrul unor contracte cu firme din țară.
- S-au stabilit relații profesionale cu personalități recunoscute internațional din domeniul tehnicii tensiunilor înalte.

### **Bibliografie**

1. R.Plath - Multi channel PD measurements. In: 14-th ISH, Beijing, China, August 25-29, 2005.
2. Omicron electronics: "MPD-600 – Product brief and specification. Klaus, Austria, 2007.
3. D.Popa – On-site PD electric measurement at power transformers. In: 1998 Doble Annual European Colloquium, Lisboa, 1998.
4. K.D.Plath, R.Plath, H.Emanuel, W.Kalkner – Synchrone dreiphasige Teilentladungsmessung an Leistungstransformatoren vor Ort und in Labor. In: ETG-Fachtagung Diagnostik elektrischer Betriebsmittel, Beitrag 0-11, Berlin, Feb.2002.
5. M.Markalous, S.Tenbholen, K.Feser – New robust non-iterative algorithmus for acoustic PD-localization in oil paper insulated transformers. In: Proceedings of the 14-th International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, China, August 25+29, 2005.