

CABLECH – Proiect 10EU / 01.04.2009

Studiu asupra efectelor de îmbatrânire radioinduse în materialele electroizolante ale cablurilor

Program: Capacitati / Modul III - CERN

Acronim: CABLECH

Nr. / Data contract: 10EU/ 01.04.2009;

Program: Capacitatie / Modul III – CERN;

Director proiect: Prof. dr. Radu SETNESCU

Anexa I - Formular B 1

Proiect de finanțare a participării la proiecte internaționale

Programul	Capacități /Modul III – CERN
Acronimul proiectului	CABLECH
Tipul proiectului	CERN
Țara/țările partenere	Romania/CERN
Perioada de colaborare	01 Aprilie 2009- 15 Decembrie 2010

B - DESCRIEREA PROPUNERII DE PROIECT

(1 exemplar în limba română)

1. DATE GENERALE DESPRE PROIECT

1.1. Titlul complet al propunerii de proiect: Studiu asupra efectelor de imbatranire radioinduse in materialele electroizolante ale cablurilor

1.2. Acronimul proiectului ; CABLECH

1.3. Obiectivul general al proiectului : punerea la punct a unei metode de evaluare a duratei de viata ramase a materialelor electroizolante ale cablurilor utilizate in CERN in medii cu diferite nivele de radiatii

1.4. Domeniul CDI în care se încadrează (conform strategiei naționale) Modelarea proceselor (Modelarea imbatranirii radioinduse a materialelor polimerice si evaluarea, pe aceasta baza, a duratei de viata ramase a cablurilor electrice)

2. DESCRIEREA PROIECTULUI

2.1. Dovada necesității realizării proiectului. Încadrarea sa în domeniile prioritare de cercetare ale PNII. Analiza obiectivelor și avantajelor scontate

Modelarea proceselor de imbatranire in campuri de radiatii, in scopul evaluarii duratei de viata, se va aplica unor materiale polimerice noi , complexe, realizate special pentru CERN si va avea ca scop evaluarea starii de imbatranire radioindusa si a duratei de viata ramase a cablurilor electrice utilizate in medii cu radiatii ionizante. Realizarea proiectului va avea implicatii si in cresterea securitatii energetice in aplicatiile nucleare si generale, precum si in realizarea de progrese in stiinta materialelor; prin urmare, proiectul propus, se incadreaza si la domeniile 2.1., 7.1, 10.2 si 10.6 din Strategia nationala.

Obiectivul proiectului este punerea la punct a unei metode si elaborarea unei proceduri adecvate pentru evaluarea duratei de viata ramase a materialelor electroizolante ale cablurilor utilizate in CERN in medii cu o plaja larga de nivele de solicitare termica si radiativa. In vederea atingerii acestui obiectiv, s-a avut in vedere

atingerea urmatoarelor tinte:

- Studiul datelor de literatura si stabilirea bazei fizico-chimice a fenomenelor implicate in degradarea radioindusa a materialelor electroizolante ale cablurilor;

- Colectarea de esantioane reprezentative din CERN, - initiale si utilizate in conditii de exploatare cunoscute; obtinerea de date de caracterizare fizico-chimica relevante pentru materialele componente;

- Efectuarea unei prime serii de teste, in paralel la CERN si la ICPE-CA, pe esantioanele colectate, folosind urmatoarele tehnici de analiza:

 - CL la ICPE-CA;

 - DSC-DTA la CERN

- Efectuarea de teste, la CERN si ICPE-CA, pe materiale iradiate in conditii definite pentru a demonstra capabilitatea metodelor;

 - Analiza rezultatelor obtinute si corelarea datelor de DSC-DTA cu cele de CL;

- Alegerea pe baza corelatiilor obtinute a metodei care va fi aplicata in continuare la CERN si la ICPE-CA pentru procedurile de control; achizitionarea in CERN a unui aparat pentru masurarea CL si efectuarea calibrarilor necesare, in cazul in care se va alege metoda de CL;

 - Efectuarea unei campanii exhaustive de teste la CERN pe cablurile aflate in serviciu;

- Elaborarea in comun si introducerea in CERN si ICPE-CA a unei proceduri bazate pe DSC-DTA sau pe CL ca test de rutina al calitatii si ca metoda de predictie a duratei de viata a cablurilor in serviciu in diferite zone critice.

Se apreciaza ca realizarea proiectului prezinta urmatoarele avantaje pentru partea romana:

- implicarea intr-un proiect international de cercetare fundamentala si aplicativa in domeniul materialelor polimerice speciale destinate utilizarii in CERN, cu efecte in cresterea "vizibilitatii" ICPE-CA la nivel international;

- interactiunea cu specialisti in domeniu din diferite tari, cu efect in perfectionarea specialistilor romani si in stabilirea de contacte in diferite laboratoare si medii industriale;

- promovarea si aplicarea experientei specialistilor ICPE-CA in domeniul CL, al aplicarii acesteia in evaluarea starii materialelor, precum si a predictiei duratei de viata in serviciu;

- elaborarea in comun a unor metode si proceduri de investigare aplicabile in ICPE-CA si in CERN, cu efect in cresterea capabilitatii ICPE-CA pentru participarea ulterioara la proiecte cu CERN si, in general, la proiecte internationale.

- cresterea capabilitatii ICPE-CA in realizarea de lucrari de evaluare a starii materialelor expuse in conditii similare (CNE, instalatii de iradiere, expunere in conditii naturale, geologie) si de realizare a predictiilor privind durata de viata in conditiile mentionate.

 - publicarea de lucrari stiintifice realizate in comun.

2.2. Referințe despre interesul comun existent al țărilor partenere pentru proiectul propus și justificarea necesității de colaborare cu celelalte echipe de cercetare

La nivelul CERN a fost recunoscuta de mult timp necesitatea unei predictii corecte a duratei de viata a materialelor utilizate in instalatiile nucleare complexe - existente, cum sunt SPS (Super Proton Synchrotron), PS (28 GeV Proton Synchrotron), LEP (Large Electron-Positron Collider), LHC (Large Hadron Collider), sau viitoare CLIC (CERN Linear Collider), LHC2, LHC3 s.a. Problemele tehnice ridicate de realizarea acestor instalatii sunt adeseori probleme noi, neintalnite in alte cazuri, deoarece materialele sunt supuse unor conditii de exploatare semnificativ diferite fata de cele din aplicatiile curente si chiar fata de cele cunoscute in aplicatiile nucleare civile. Ca urmare, data fiind lipsa unei experiente anterioare, in CERN a fost initiat un program de caracterizare a materialelor polimerice destinate utilizarii in astfel de instalatii; testele au privit atat materialele termoplastice pentru izolatii si mantale de cabluri, precum si materialele termoreactive

pentru izolațiile unor conductori speciali, cum sunt cei folosiți la măsurile electromagnetice [1,2]. Testele respective, au fost efectuate conform IEC 60544 [3], comportarea la iradiere fiind evaluată prin determinarea proprietăților mecanice. Rezultatele testelor au permis selectarea diferitelor materiale necesare, pe baza rezultatelor de rezistență la iradiere, însă au o utilitate extrem de limitată pentru evaluarea duratei de viață a materialelor în condițiile concrete de solicitare în serviciu. O trăsătură specifică a condițiilor în instalațiile experimentale CERN constă, în afara energiilor mari ale particulelor, în faptul că există o plajă foarte largă de condiții de doze de debit de-a lungul fiecărui cablu (adeseori, acestea pot diferi cu ordine de mărime în zone foarte apropiate). În cazul cablurilor pentru tensiuni înalte și medii, sunt posibile și efecte de sinergism iradiere-temperatură, datorită încălzirii prin efect Joule; s-a estimat că temperatura în unele cabluri din componenta LHC va putea ajunge până la 80 °C [4], fiind deci de așteptat o degradare mai puternică decât cea previzibilă prin expunerea la radiații la temperatura ambiantă. O altă trăsătură specifică, determinată de complexitatea instalațiilor, precum și de caracterul internațional al CERN, o reprezintă numărul mare de tipuri de cabluri, cu structuri diferite dar cu funcționalitate similară, produse de firme diferite și instalate de-a lungul timpului în diferite obiective. Dintre cablurile existente, pentru prezentul proiect, au fost selectate peste 30 de cabluri, considerate relevante din punct de vedere al funcționalității LHC, a altor instalații experimentale (PS, SPS, LEP), precum și a sistemelor de securitate aferente. Cablurile selectate au structuri diferite și sunt produse de firme din diferite țări membre ale CERN, cu tehnologii și materii prime specifice; toate sunt însă conforme cu specificația CERN IS 23 [5], și sunt produse în mod special pentru CERN, folosind materiale avansate și soluții tehnice care să asigure o rezistență ridicată la degradarea prin iradiere, pentru a se preveni oprirea accidentală a instalațiilor în intervalul dintre reviziile periodice programate la intervale de ordinul anilor.

Cablurile alese pentru acest proiect, aparțin următoarelor categorii:

- cabluri pentru înaltă tensiune (300 kV), din materiale poliolefinice, cu rezistență la iradiere în domeniul 500 - 1000 kGy;
- cabluri de înaltă frecvență (de asemenea din materiale poliolefinice), care operează de asemenea la tensiuni mari (30 kV) în mediu de radiații; rezistența la iradiere a acestora este 500 - 1000 kGy;
- cabluri de distribuție și de instrumentație și control (curenți mici), din materiale poliolefinice cu rezistență la iradiere de min 500 kGy;
- cabluri de instrumentație și control pentru nivele mari de doze (>10000 kGy), cu izolație din kapton și/sau rasini poliimidice.

Este de menționat de asemenea că, datorită complexității instalațiilor, cablurile sunt fixate adeseori în suporturi (rack) ce pot conține câteva zeci de cabluri diferite, schimbarea unui singur cablu va fi astfel dificilă (datorită ramificațiilor, joncțiunilor etc.), fiind necesară scoaterea și înlocuirea întregului grup de cabluri din sectorul respectiv. Este ușor de imaginat mărimea costurilor materiale și de manoperă și durata unei astfel de operații (pentru cablurile "sensibile" s-au montat de la început dubluri pe care să se poată comuta în caz de avarie).

Evaluarea stării materialelor expuse în condiții de solicitare prin teste mecanice este practic imposibilă înainte de dezafectarea cablurilor, deoarece astfel de teste reclamă cantități mari de material, care nu sunt disponibile în condițiile analizei stării unui material aflat deja în exploatare. În plus, prelevarea de epruvete pentru teste mecanice devine dificilă atunci când izolațiile cablurilor sunt de mici dimensiuni (de exemplu, un cablu de instrumentație, anume SPA 6, conține 2 cabluri coaxiale cu ϕ_{ext} (diametrul exterior al mantalei) de cca. 4 mm, în timp ce izolația are un diametru de cca. 1 mm (Fig. 1; acest cablu, mai conține și două perechi de conductori izolați cu diametrul izolației de asemenea în jur de 1 mm), precum și în situația deja menționată a diferențelor mari de doze de debit între diferite puncte. În aceste condiții, s-a apreciat că monitorizarea în timp a comportării cablurilor, în scopul stabilirii cu exactitate a momentului declanșării unei campanii de schimbare a cablurilor electrice într-un anumit sector trebuie făcută prin alte metode, cel puțin la fel de sensibile și relevante pentru starea materialelor ca și testele mecanice, cum ar fi metodele de analiză termică (DSC-DTA) sau foto-termică (CL). În cadrul ICPE-CA a fost acumulată o experiență valoroasă în domeniul caracterizării materialelor polimerice electroizolante, fiind dezvoltată aparatura de CL și metodologii originale de investigare. Specialiștii ICPE-CA au fost și sunt implicați în proiecte naționale în domeniu, precum și în unele proiecte internaționale. Interesul pentru realizarea proiectului este legat de mai mulți factori, între care:

- deschiderea internationala pe care o poate oferi un astfel de proiect si dovedirea concreta a capabilitatii stiintifice si tehnice intr-un proiect aplicativ;
- schimbul de experienta si interactiunea cu specialisti din diferite tari membre ale CERN;
- publicarea in comun a rezultatelor stiintifice si participarea la manifestari stiintifice internationale.

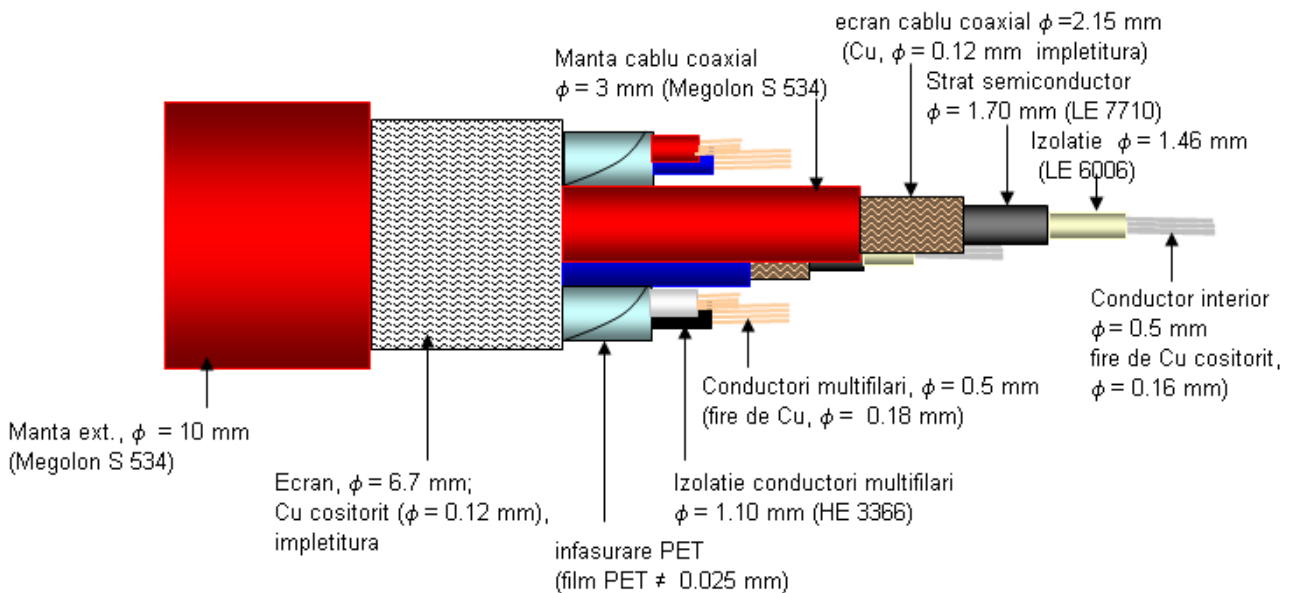


Fig. 1 - Structura unuia dintre cablurile de instrumentatie si control (SPA-6) utilizat la realizarea sistemelor de securitate ale LHC, SPS si PS, selectat pentru experimentari in cadrul prezentului proiect

2.3. Nivelul actual al cunoștințelor și experienței în cercetare pe plan național și internațional în țările partenere în domeniul proiectului propus (se anexează o listă cu bibliografia relevantă, maxim 20 de lucrări)

Materialele electroizolante pentru cabluri expuse in mediu de radiatii si temperaturi ridicate, cum sunt cele din centralele nucleare-electrice sunt supuse unei degradari accelerate mai intense decat in aplicatiile obisnuite [4]. Cercetarile in domeniul prognozarii duratelor de viata in astfel de conditii au fost desfasurate in multe laboratoare din lume, inasa cele mai importante rezultate par sa se fi obtinut in SUA la SANDIA Laboratory [6], precum si la diferite alte laboratoare de energie nucleara si /sau tehnica si inginerie spatia. Rezultatele de la Sandia au servit ca baza pentru elaborarea standardului IEEE 1205-2000, aplicabile la monitorizarea, testarea si evaluarea diferitelor efecte de imbatranire a echipamentelor din CNE [7]. In afara de evaluarea duratei de viata a materialelor noi, o problema importanta este evaluarea duratei de viata ramase, in scopul garantarii unei functionari sigure a centralelor nucleare-electrice peste limita celor 40 de ani prevazuta initial [8]. In cadrul CERN, pana la nivelul anului 2000, a existat un program de caracterizare a rezistentei la radiatii a materialelor [1,2], ulterior, au fost desfasurate activitati de caracterizare punctuale, pe proiecte relativ mici, pentru cate un produs (material) sau pentru o grupa de produse inrudite, propuse a fi utilizate in LHC sau in alte instalatii [4].

A fost aratat ca utilizarea metodelor standard de testare a materialelor pentru evaluarea starii materialelor din cabluri expuse in conditii de serviciu este dificila, in primul rand datorita dimensiunilor reduse ale esantioanelor disponibile. O serie de lucrari au indicat corelarea stransa intre valorile proprietatilor mecanice si electrice cu parametrii dedusi din masuratori de analiza termica si, au sugerat posibilitatea utilizarii unor astfel de metode pentru evaluarea starii materialelor si a duratei lor de viata [9, 10]. Utilizarea unor astfel de metode (DTA, DSC, CL, absorbtia de oxigen) pentru caracterizarea stabilitatii initiale (verificarea concentratiei de antioxidant) este recomandata ca test curent de verificare a calitatii produselor finite in industria de cabluri [11] si este practicata ca proba de tip de catre unii producatori de materii prime pentru industria de cabluri, precum si de producatorii importanti de cabluri [12]. O serie de lucrari aparute in ultimii

ani mentioneaza si posibilitatea diagnosticarii cablurilor utilizate in medii cu radiatii prin analiza unor esantioane mici, folosind diferite teste, cum ar fi masurarea densitatii [8], analiza termica [13] sau absorbtia de oxigen [8]; in alte lucrari, si mai recente, este propusa utilizarea unor astfel de metode pentru testarea materialelor plastice in industria de automobile [10] sau a conductelor de apa calda ingropate in pamant [14].

In tara noastra, exista o bogata experienta in cadrul ICPE-CA, ce are o traditie de peste 30 de ani, in laboratoarele de Electrostatica, Izolanti organici si in cel de Calificare a Materialelor pentru Centralele Nucleare. Dupa 1990, si mai multe reorganizari administrative, activitatea in domeniu a continuat, inclusiv

prin punerea la punct in premiera nationala a unor tehnici experimentale de masurare a chemiluminescentei (CL) si a metodelor de investigare pentru diferite categorii de materiale (polimeri, uleiuri, grasimi, antioxidanti), precum si pentru diferite conditii de solicitare (in medii cu radiatii ionizante, in conditii naturale de mediu etc.). Activitatea desfasurata si experienta acumulata sunt in domeniu sunt reflectate de o bogata lista de lucrari stiintifice publicate in reviste cotate ISI din tara si din strainatate [15-21], prin participarea cu succes la conferinte nationale si internationale in domeniu [22-24], prin participarea la diferite proiecte de colaborare stiintifica internationale, cum sunt:

- ATREMIS;
- colaborare bilaterala cu Universitatea Abderrahmane Mira de Béjaia – Algeria
- colaborare bilaterala cu Universitatea Gunma, Kiryu – Japonia),

De asemenea, tehnologii si brevetele de inventie in domeniu [25,26] constituie o dovada a volumului de activitate si competentei colectivului de cercetare.

Literatura de specialitate a ultimului deceniu releva utilitatea metodelor termice de analiza in evaluarea starii materialelor electroizolante ale cablurilor aflate in serviciu si a duratei de viata a acestora [13]. Se propune utilizarea timpului de inductie al oxidarii din masuratori izoterme (OIT) sau a temperaturii de inductie a oxidarii (OIT*) din masuratori neizoterme.

2.4. Modalități și posibilități de înregistrare și anunțare a rezultatelor colaborării: publicații, rapoarte, patente comune, know-how, prototipuri, altele (precizați)

Rezultatele comune obtinute in cadrul lucrarilor vor fi publicate, in comun, in reviste de specialitate, cum sunt: Nuclear Instruments and Methods, Polymer Degradation and Stability, Polymer Testing etc.

Realizarea proiectului va conduce la o procedura comuna in CERN si ICPE-CA pentru evaluarea calitatii materialelor izolante si pentru predictia duratei de viata a acestora. Procedura va putea fi utilizata de ambele institutii, in comun sau independent.

Referinte bibliografice

1. Tavlet M., Schonbacher H., "Compilation of radiation damage test data, part 1.1.: Halogen-free cable-insulating materials" CERN-89-12, CERN Technical Inspection and Safety Commission, Geneva 1989
2. Tavlet M., Fontaine A., Schonbacher H., "Compilation of radiation damage test data , part 2: Thermoset and thermoplastic resins, composite materials" CERN-98-01, CERN Technical Inspection and Safety Commission, Geneva 1998
3. IEC 60544 - Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants – IEC International Standard 60544-4 Second edition, 2003-07
4. Vincke H., "Degradation of cable insulations in a radiation environment at elevated temperatures" SC/RP-SL Technical Note, CERN-SC-2006-032-RP-TN, 2006 (EDMS 772560)
5. IS 23 - Criteria and Standard Test Methods for the Selection of Electric Cables and Wires with Respect to Fire Safety and Radiation Resistance", IS-23, CERN SC/GS, February 2005, EDMS 335745
6. SAND96-344 - "Aging Management Guideline for Commercial Nuclear Power Plants - Electrical Cable and Cable Terminations", Sandia Report, SAND96-344, 1996
7. IEEE 1205 - "Guide for Assessing, Monitoring, and Mitigating Aging Effects on Class 1E Equipment Used in Nuclear Power Generating Stations" IEEE Std. 1205-2000

8. Gillen K.T., Celina M., Clough R., "Density measurements as a condition monitoring approach for following the aging of nuclear power plant materials", *Rad. Phys. Chem.* **56** (1999) 429-447
9. Gillen K.T., Bernstein R., Clough R.L., Celina M., "Lifetime Predictions for Semi-crystalline Cable Insulation Materials: I - Mechanical Properties and Oxygen Consumption Measurements on EPR Materials", *Polym. Degrad. Stab.*, **91**, 2006, 2146 - 2156
10. Simon P., Fratricova M., Schwartz P., Wilde H-W., "Evaluation of the Residual Stability of Polyurethane Automotive Coatings by DSC. Equivalence of Xenotest and Desert Weathering Tests and the Synergism of Stabilizers" *J. Thermal. Anal. Cal.* **84(3)**, 2006, 679-692
11. IEC 60811 - Common Test Methods for Insulating and Sheathing Materials of Electric and Optical Cables - IEC International Standard 60811-4, 2001-07
12. Generic Requirements for Metallic Communications Cable, part. 3.4. Thermal Oxidative Requirements, GR-421-Core, Issue 1, December 1998
http://telecom-info.telcordia.com/ido/AUX/GR_421_TOC.i01.pdf
13. Mason L.R., Reynolds A.B., "Comparison of Oxidation Induction Time Measurements with Values Derived from Oxidation Induction Temperature. Measurements for EPDM and XLPE Polymers", *Polymer Engineering and Science*, **38(7)**, 1998, 1149 - 1153
14. Florida Method of Test for Predicting the Oxidation Resistance of HDPE Corrugated Pipes Designation, FM 5-574, 2005
15. Jipa S., Zaharescu T., Mărcuță M., Setnescu R., Gorghiu L.M., Dumitrescu C., "Synergistic effects of EB irradiation and heat on EVA electrical insulators" *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res.* **B 236**, 2005, 567-574
16. Jipa S., Osawa Z., Setnescu R., Setnescu T., "Utilizarea chemiluminescentei la prognozarea durabilitatii PEjd stabilizata" *Materiale Plastice* **34**, 1997, 198 - 202
17. Jipa S., Setnescu R., Setnescu T., Dumitru M., Mihalcea I., Podina C., Osawa Z., "Irradiation of polyethylene in presence of several additives as studied by chemiluminescence" *J. of Macromol. Sci., Pure & Appl. Chem.* **A 35**, 1998, 1103 - 1115
18. Kaci M., Setnescu R., Touati N., Setnescu T., Jipa S., "Characterisation by chemiluminescence of unstabilised HALS - stabilised LDPE films exposed to natural weathering conditions", *Int. Journ. Polym. Anal. Charact.* **9**, (2004) 275-287
19. Setnescu R., Kaci M., Jipa S., Setnescu T., Zaharescu T., Hebal G., Benhamida A., Djedjelli H., "Chemiluminescence study on irradiated low density polyethylene containing various photostabilizers", *Polym. Degrad. Stab.* **84**, (2004) 475 - 481
20. Setnescu R., Jipa S., Setnescu T., Podina C., Osawa Z., "Chemiluminescence study on the oxidation of several polyolefins. II. Chemiluminescence from γ - irradiated polymers" *Polym. Degrad. Stab.* **61**, 1998, 109 - 117
21. Setnescu R., Jipa S., Setnescu T., Dumitru M., Mihalcea I., Podina C., Notingher P., "Synergistic effects of temperature and radiation in degradation of LDPE emphasized by chemiluminescence techniques" *Proc. Int. Conf. on Dielectrics and Insulation*, 10 -13 Sept.1997, Budapest, Hungary, p. 337 - 340
22. Zaharescu T., Wurm D., Jipa S., Setnescu R., Podina C., Mihalcea I., "Radiation stability of EPDM/Hydroxyapatite system" *Proc. of Engineering materials 2001*, 23-26 September 2001, Melbourne, Australia, p.205-208
23. Setnescu R., Mares G., Jipa S., Setnescu T., Georgian G., Mihalcea I., Notingher P., "Study on ageing of an I & C cable under simultaneous action of gamma rays and electrical stationary field" *Proc. IX-th Int. Conf. on Electrical Machines and Drives, ELMA'99*, 23 - 25 September, 1999, Varna, Bulgaria, p. 1-12
24. Notingher P., Ciuprina F., Filippini J.C., Gosse B., Jipa S., Setnescu T., Setnescu R., Mihalcea I., "Studies of water treeing and chemiluminescence on irradiated polyethylene" *Proc. of 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Montreal, Quebec, Canada, 16 - 19 June 1996, p. 163 - 166
25. Jipa S., Constantinescu V., Setnescu R., Setnescu T., "Aparat pentru determinarea stabilitatii antioxidative a materialelor polimerice solide" *Brevet România 116367/ 1991*
26. Setnescu R., Jipa S., Setnescu T., Dumitru M., Mărcuță M., Marin G., Mihalcea I., Vilcu R., "Procedeu de determinare a stabilității și conținutului de antioxidant în materiile prime și pentru produse cu memoria formei indusă prin iradiere" *Dosar OSIM A/0387*