

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI**

ing. GABOR DAN SORIN

**TEZĂ DE
DOCTORAT**

- REZUMAT -

***CERCETĂRI PRIVIND RISCUL DE EXPLOZII PREZENTAT
DE ELECTRICITATEA STATICĂ ÎN MEDII INDUSTRIALE***

Conducător științific: *prof. univ. dr. ing. RADU SORIN MIHAI*

PETROȘANI

-2020-

CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

CUVÂNT ÎNAINTE	Error!
Bookmark not defined.	
CUPRINS	2
ACRONIME ȘI NOTAȚII	Error!
Bookmark not defined.	
LISTA FIGURILOR	Error!
Bookmark not defined.	
LISTA TABELELOR	Error!
Bookmark not defined.	
IMPORTANȚA ȘI NECESITATEA TEMEI. OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI	3
<i>CAPITOLUL 1. ELECTRICITATEA STATICĂ CA SURSĂ DE INIȚIERE A ATMOSFEREI EXPLOZIVE SAU A CAPSELOR DETONANTE ELECTRICE, A ARTICOLELOR PIROTEHNICE, A PROPULSANȚILOR ȘI A COMBUSTIBILILOR PENTRU RACHETE</i>	14
<i>CAPITOLUL 2. ANALIZA CERINȚELOR DE EVALUARE/ ÎNCERCARE A ECHIPAMENTELOR INDIVIDUALE DE PROTECȚIE (EIP) PENTRU REDUCEREA RISCULUI DE APRINDERE A ATMOSFERELOR EXPLOZIVE PRIN DESCĂRCĂRI ELECTROSTATICE DE LA OM</i>	9
<i>CAPITOLUL 3. PERICOLUL DE INIȚIERE PRIN DESCĂRCĂRI ELECTROSTATICE A CAPSELOR DETONANTE ELECTRICE, A ARTICOLELOR PIROTEHNICE, A PROPULSANȚILOR ȘI A COMBUSTIBILILOR PENTRU RACHETE</i>	9
<i>4. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE</i>	21
BIBLIOGRAFIE	23
ANEXE	

IMPORTANȚA ȘI NECESITATEA TEMEI. OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI

Electricitatea statică este un fenomen des întâlnit în activitățile industriale. În prezența materialelor combustibile și/sau a substanțelor capabile să formeze amestecuri explozive în aer sau în prezența explozivilor, descărcările electrostatice de la echipamente, materiale sau de la persoane pot genera incendii și **explozii**.

În teza de doctorat am abordat problematica evaluării riscului de explozii prezentat de formarea, acumularea și descărcarea sarcinilor electrostatice în atmosfere potențial explozive, precum și riscul de inițiere intempestivă a capselor detonante electrice, a articolelor pirotehnice, a propulsanților și a combustibililor pentru rachete. Scopul evaluării riscului de explozii este de a stabili măsuri de protecție adecvate pentru prevenirea sau limitarea acestora.

Importanța lucrării rezidă din necesitatea creării mecanismelor de aplicare a Directivelor europene care au fost transpuse în legislația națională :

- Directiva 2014/34/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 26 februarie 2014 privind armonizarea legislației statelor membre referitoare la echipamentele și sistemele de protecție destinate utilizării în atmosfere potențial explozive;
- Directiva 2014/28/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 26 februarie 2014 privind armonizarea legislației statelor membre referitoare la punerea la dispoziție pe piață și controlul explozivilor de uz civil;
- Directiva 2013/29/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 12 iunie 2013 privind armonizarea legislației statelor membre referitoare la punerea la dispoziție pe piață a articolelor pirotehnice.

Astfel, în lucrarea de doctorat am prezentat rezultatele studiilor și cercetărilor efectuate pentru evaluarea riscului de explozii, pornind de la nivelul de cunoaștere tehnico-științifică în domeniu, la nivel internațional, ținând cont de cerințele normelor și standardelor europene, cu focalizare pe metodele de încercare și simulare în laborator a performanțelor de protecție la electricitate statică a materialelor și pe determinarea sensibilității articolelor, materialelor/dispozitivelor pirotehnice la inițierea prin descărcări electrostatice.

Lucrarea este structurată pe 3 capitole:

1. Electricitatea statică ca sursă de inițiere a atmosferei explozive sau a capselor detonante electrice, a articolelor pirotehnice, a propulsanților și a combustibililor pentru rachete;
2. Analiza cerințelor de evaluare / încercare a echipamentelor individuale de protecție (EIP) pentru reducerea riscului de aprindere a atmosferelor explozive prin descărcări electrostatice de la om;
3. Pericolul de inițiere a capselor detonante electrice, a articolelor pirotehnice, a propulsanților și a combustibililor pentru rachete prin descărcări electrostatice.

Cele trei capitole sunt urmate de CONCLUZII, Bibliografie și Anexe.

Pe tot parcursul lucrării am evidențiat contribuțiile personale, pornind de la studiile *teoretice* privind fenomenele de încărcare/acumulare și descărcare a sarcinilor electrostatice, precum și a factorilor de influență, a fenomenelor de aprindere a atmosferei explozive sau a dispozitivelor/materialelor pirotehnice și identificarea cerințelor de securitate cu evidențierea stadiului actual de cunoaștere, până la realizările *practice* ale standurilor de încercări în laborator.

Partea consistentă și valoroasă a contribuțiilor personale o reprezintă :

- *elaborarea unei soluții inovative pentru realizarea standului de încercare în laborator a materialelor textile, stand pentru verificarea proprietăților antistatice, urmată de experimentarea*

standului, validarea metodei de încercare și implementarea ei în sistemul calității laboratorului de încercare, acreditat la nivel național GLI INSEMEX;

- *elaborarea soluției tehnice pentru realizarea standului de încercare/realizarea efectivă a standului pentru testarea capselor detonante electrice privind performanțele de protecție împotriva inițierii necontrolate prin descărcări electrostatice, experimentarea și implementarea procedurii în laboratorul acreditat pentru încercări;*
- *elaborarea unei metode inovative pentru determinarea sensibilității la descărcări electrostatice a propulsanților și a combustibililor pentru rachete, identificarea soluțiilor tehnice pentru efectuarea încercării, elaborarea soluțiilor de implementare a noii metode de încercare a propulsanților și a combustibililor pentru rachete pentru evaluarea conformității cu cerințele de prevenire a detonării intempestive prin descărcări electrostatice.*

Prin aplicarea în practică a rezultatelor obținute, am adus o contribuție importantă la dezvoltarea metodelor și mijloacelor de protecție contra electricității statice, în scopul asigurării unui nivel ridicat de securitate a muncii în zone cu atmosfere potențial explozive și la lucrări de împușcare.

Studiile cu caracter teoretic dar și practic, analiza cerințelor tehnice și de securitate, experimentarea metodelor de încercare, cercetările de laborator și metodele de testare și evaluare a pericolului de aprindere la echipamentele tehnice, au condus la îmbunătățirea performanțelor sistemului actual de efectuare a încercărilor și de realizare a evaluărilor necesare certificării conformității echipamentelor și materialelor cu cerințele Directivelor europene.

Dezvoltarea metodelor de încercare prin elaborarea metodologiilor de testare și evaluare, conceperea și proiectarea standurilor de încercare, experimentarea lor și validarea metodelor de încercare, contribuie la dezvoltarea eficacității sistemului de încercare/certificare actual al Laboratorului Echipamente Neelectrice Ex, Electrostatică, Materiale și EIP din cadrul INCD-INSEMEX

Elaborarea unor metode și proceduri de încercare noi, care să fie în concordanță cu principiile și practicile internaționale, asigură evaluarea precisă a caracteristicilor echipamentelor tehnice, echipamente destinate utilizării în medii cu atmosfere potențial explozive. Astfel acestea se aliniază la practica europeană în domeniu, precum și la dezvoltarea laboratorului de încercări în conformitate cu principiile și cerințele din standardul SR EN ISO/CEI 17025:2018, pentru furnizarea datelor necesare evaluării conformității cu cerințele esențiale de securitate și sănătate prevăzute în Directivele Europene aplicabile.

Elaborarea și dezvoltarea metodelor/procedurilor de încercare, prin asigurarea facilităților/infrastructurii necesare, oferă posibilitatea cunoașterii tuturor aspectelor esențiale legate de securitatea echipamentelor tehnice, având în vedere tendința general ascendentă de creștere a nivelului de securitate și sănătate a lucrătorilor care își desfășoară activitatea în industrii cu pericol de explozii.

Menționez că dețin un brevet de invenție și 4 propuneri de brevet de invenție în domeniul inginerie minieră și inginerie electrică depuse la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci – OSIM.

CAPITOLUL 1

ELECTRICITATEA STATICĂ CA SURSĂ DE INIȚIERE A ATMOSFEREI EXPLOZIVE SAU A CAPSELOR DETONANTE ELECTRICE, A ARTICOLELOR PIROTEHNICE, A PROPULSANȚILOR ȘI A COMBUSTIBILILOR PENTRU RACHETE

Formarea, acumularea și descărcarea sarcinilor electrostatice

Formarea și acumularea sarcinilor electrostatice are loc ca urmare a mecanismelor de electrizare dintre care electrizarea de contact este cel mai des întâlnită. Două materiale de natură diferită care sunt aduse în contact și apoi separate, vor purta sarcini electrostatice egale ca mărime și de semne contrare.

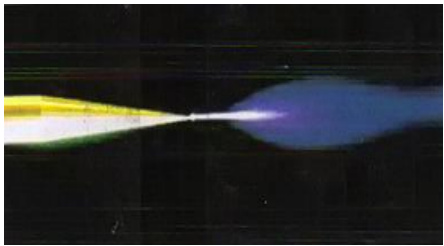
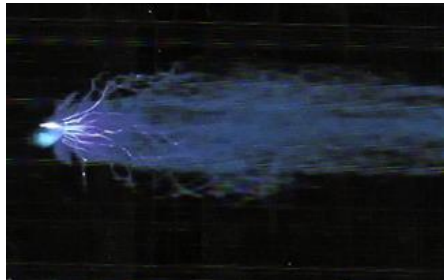
De asemenea, o altă componentă a mecanismului de electrizare o reprezintă electrizarea prin inducție, caz în care materialele conductoare pot fi încărcate cu sarcini de natură electrostatică de la un alt obiect încărcat aflat în apropiere. Produsele/materialele pot primi, de asemenea, sarcini prin transfer fie direct de la alte obiecte, fie prin influență, printr-un curent de ioni.

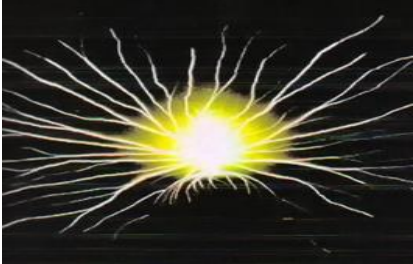
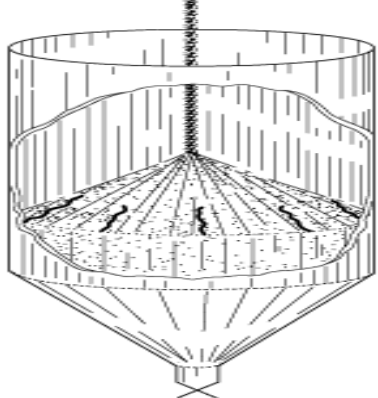
Sarcina electrostatică acumulată pe un solid sau pe un lichid prezintă pericol doar dacă aceasta este transmisă (descărcată) pe un alt corp sau către pământ. Aceste descărcări variază mult ca tip și grad potențial de inițiere.

După separarea din timpul procesului de încărcare electrostatică sarcinile se pot recombina foarte rapid, fie direct prin contact, fie prin pământ. Sarcinile de pe un nonconductor sunt reținute din cauza rezistenței materialului însuși. Dar pentru ca un conductor să rămână încărcat, el trebuie să fie izolat de alți conductori și de pământ.

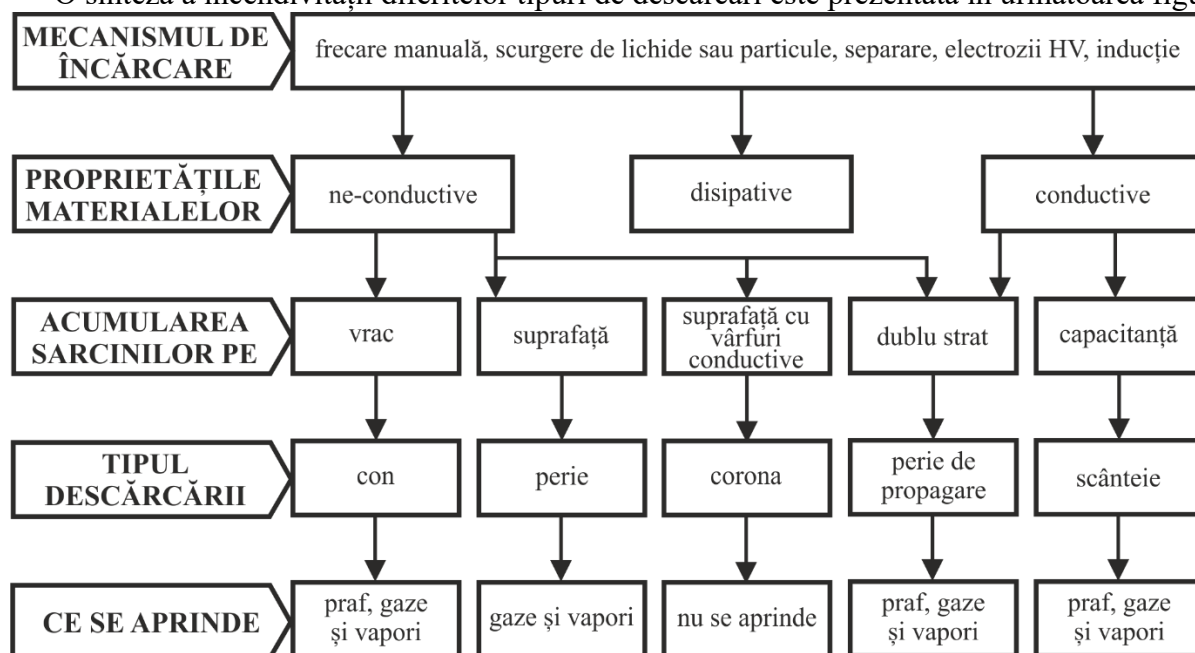
Descărcările de electricitate statică variază mult ca tip și grad potențial de inițiere.

O sinteză a diferitelor tipuri de descărcări electrostatice este prezentată în tabelul următor:

<i>Descărcări electrostatice</i>		
Scântei	Descărcări între doi conductori care pot fi solizi sau lichizi.	Energia scântei $W = Q \cdot V = \frac{1}{2} C \cdot V^2 ,$ unde: W este energia disipată, în jouli; Q este cantitatea de sarcină a conductorului, în coulombi; V este potențialul, în volți; C este capacitatea, în farazi.
Descărcări „Corona”	Descărcările au loc în zonele ascuțite sau la marginile conductorilor. Descărcarea „Corona” poate avea loc când un conductor legat la pământ, conductor care prezintă zone ascuțite, este mișcat în direcția unui obiect puternic încărcat sau dacă acestuia i se mărește foarte mult potențialul.	
Descărcări tip perie	Pot avea loc atunci când conductori rotunzi (opuși celor ascuțiți), legați la rețeaua de pământare, sunt deplasați către obiecte încărcate cu sarcină, slab conducătoare. Acest tip de descărcare poate să apară, de exemplu, între degetul unei persoane și o suprafață din material plastic.	

Descărcări tip perie de propagare	Descărcări între cele două suprafețe ale unei coli (strat) de material de rezistivitate mare și cu o rezistență dielectrică mare, puternic încărcate cu sarcini de polaritate opusă.	
Descărcările de tip con	Descărcări ce apar în silozurile sau containerele mari când sunt umplute cu un praf (slab conductor) puternic încărcat cu sarcină (se generează o zonă de densitate mare de sarcină în interiorul grămezii de praf)	

O sinteză a incendiivității diferitelor tipuri de descărcări este prezentată în următoarea figură:



Dintre măsurile de prevenire a descărcărilor de electricitate statică pot fi amintite următoarele:

- legarea la pământ;
- utilizarea unor materiale adecvate;
- antistatizarea materialelor;
- alegerea formei constructive adecvate (suprafața, distanța față de elementele conductoare legate la pământ, grosimile materialelor neconductive);
- evitarea frecărilor periculoase (limitarea vitezei de deplasare la benzi sau a vitezei de curgere prin conducte);
- condiții de mediu (umidități ridicate);
- folosirea neutralizatoarelor de sarcini.

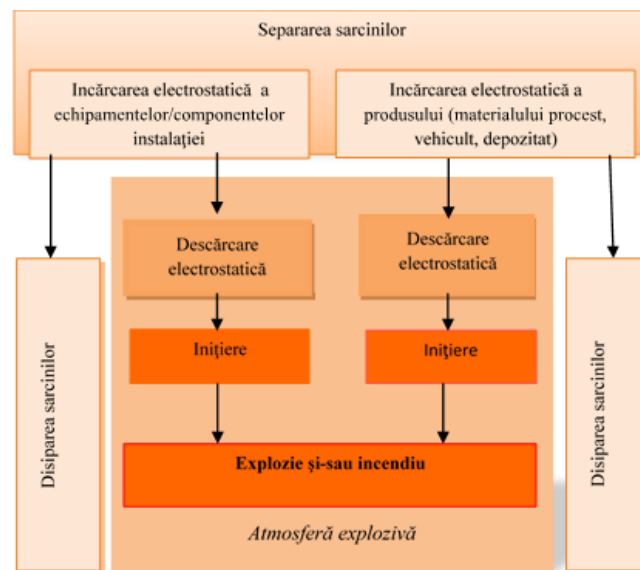
Evaluarea riscului de aprindere a atmosferelor explozive prin descărcări electrostatice

Evaluarea apariției și determinarea incendivității descărcărilor electrostatice în diferite situații reale este cel mai important și cel mai dificil pas în analizarea pericolelor create prin încărcări electrostatice.

Datele necesare pentru o analiză fiabilă sunt:

- cunoașterea exactă a proprietăților amestecului potențial exploziv care poate fi prezent;
- rezistențele sau conductivitățile substanțelor, aparatelor, ambalajelor, materialelor și echipamentelor individuale utilizate;
- volumele și aranjamentul geometric al instalațiilor și al dispozitivelor tehnice, precum și
- cunoștințe precise despre condițiile existente de scurgere la pământ și a condițiilor de echilibru al potențialului.

Astfel, o evaluare a riscului de explozie trebuie să ia în considerare probabilitatea formării sarcinilor electrostatice și descărcarea lor atât la echipamente, cât și la produs sau material.



Prezentarea schematică a etapelor care conduc la inițierea unei atmosfere explozive prin descărcări electrostatice.

Cunoscând incendivitatea descărcării (adică cantitatea de energie eliberată) și sensibilitatea atmosferei potențial explozive existente, așa cum a fost caracterizată prin energia minimă de aprindere MIE, se poate stabili dacă aprinderea apare sau nu.

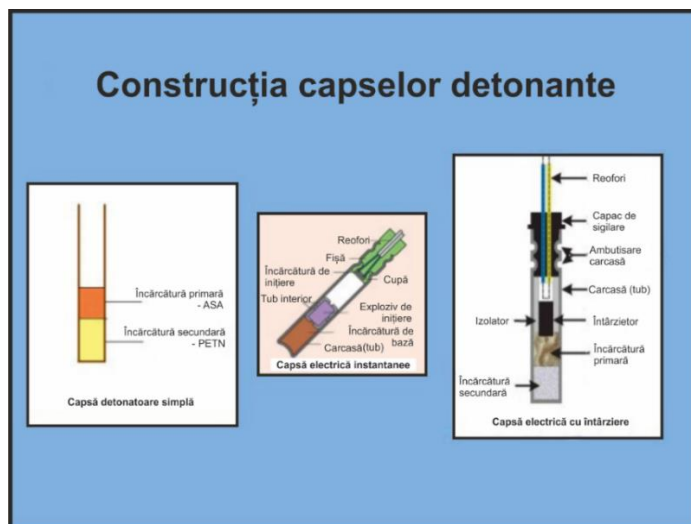
Analiza riscului de inițiere intempestivă a explozivilor și/sau a dispozitivelor de inițiere prin descărcări electrostatice

În cazul capselor detonante electrice, a propulsanților și a combustibililor pentru rachete există riscul de inițiere intempestivă a acestora prin intermediul descărcărilor electrostatice. În industria producătoare de explozivi prezența electricității statice și implicit a descărcărilor electrostatice nu poate fi prevenită în totalitate, deci și în acest sector de activitate este necesară o evaluare a riscului de inițiere necontrolată (intempestivă). Pentru această evaluare trebuie determinată sensibilitatea la descărcări electrostatice.

În funcție de sensibilitatea la descărcări electrostatice este necesar să fie aplicate, ca și în cazul atmosferelor explozive, măsuri adecvate de prevenire a descărcărilor de electricitate statică.

Pentru inițierea încărcăturilor explozive se folosesc, pe plan mondial, mai multe tipuri de capse detonante electrice, ca o consecință a eforturilor firmelor constructoare pentru satisfacerea cerințelor exprimate de beneficiari, corespunzătoare condițiilor diferite în care se execută lucrările de împușcare,

În scopul obținerii eficienței dorite, precum și pentru asigurarea unui nivel ridicat de securitate pentru prevenirea riscului de detonări intempestive de la surse de inițiere exterioare.



Părțile componente ale capselor detonante electrice.

Există trei moduri de inițiere a capselor prin descărcări electrostatice:

- descărcare între reofori, pe calea normală de inițiere a capsei - RR (figura 1 a);
- descărcare între tubul capsei și un reofor – T1R (figura 1 b);
- descărcare între tubul capsei și reoforii scurtcircuitați - TRS (figura 1 c).

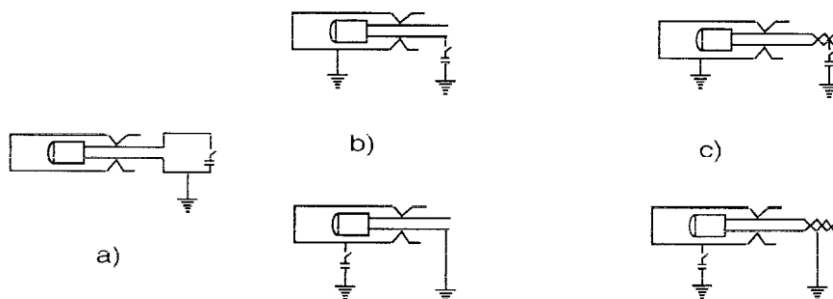


Fig. 1 - Cele trei moduri de descărcare a sarcinii electrostatice.

În lucrare am făcut o analiză a performanțelor de protecție la descărcări electrostatice ale diferitelor tipuri de capse detonante pornind de la parametrii garantați de producători, respectiv în funcție de energia minimă a descărcării electrostatice care poate iniția capsă, bazată în mare parte pe studiile și cercetările efectuate la INCD INSEMEX și completate cu informații din literatura de specialitate.

Am prezentat, de asemenea, cercetările efectuate la INCD INSEMEX pentru creșterea performanțelor de protecție a capselor la descărcări electrostatice care s-au concretizat în elaborarea unei soluții constructive adecvate de limitare a descărcărilor periculoase între tub și dispozitivul electric de aprindere, care constă în introducerea unui manșon de protecție peste cireașă (figura 2).

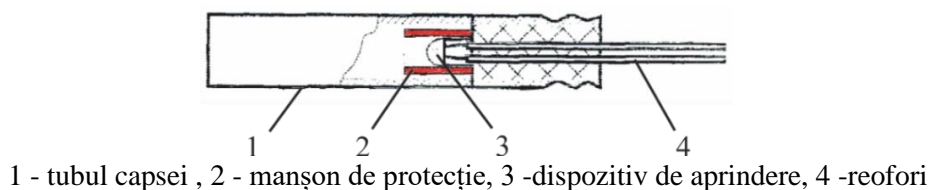
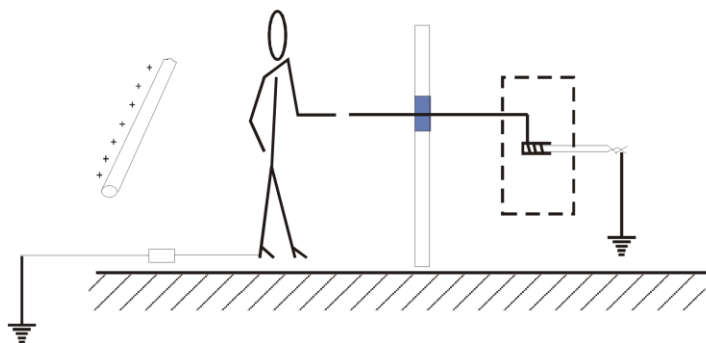


Fig. 2 - Capsă cu manșon de protecție.

Sunt prezentate, de asemenea, experimentările efectuate cu privire la riscul de aprindere a capselor de joasă intensitate prin descărcări electrostatice de la om și măsurile de protecție care trebuie luate în funcție de tipul capsei utilizate, inclusiv un studiu de caz privind stabilirea cauzelor care au dus la producerea unui accident de muncă datorat inițierii intempestive a unei capse detonante electrice, soldat cu moartea unei persoane.



Electrizarea omului de la un echipament încărcat cu sarcină.

CAPITOLUL 2

ANALIZA CERINTELOR DE EVALUARE/ÎNCERCARE A ECHIPAMENTELOR INDIVIDUALE DE PROTECȚIE (EIP) PENTRU REDUCEREA RISCULUI DE APRINDERE A ATMOSFERELOR EXPLOZIVE PRIN DESCĂRCĂRI ELECTROSTATICE DE LA OM

În prima parte a acestui capitol prezint câteva considerații generale privind mecanismele de încărcare, acumulare și descărcare a sarcinilor electrostatice pe om și/sau pe echipamentul individual de protecție.

Persoanele care sunt izolate față de pământ pot dobândi și reține cu ușurință o încărcătură electrostatică. Izolarea față de pământ se poate datora faptului că acoperirea de pe pardoseală sau tălpile încălțămintei sunt făcute din material neconductor. Încărcarea electrostatică a unei persoane poate să apară la: mersul pe pardoseală, ridicatul de pe scaun, scoaterea îmbrăcăminte, manipularea materialelor plastice, golirea sau colectarea unui material încărcat într-un container, statul aproape de obiecte încărcate puternic (de exemplu lângă o bandă în mișcare), sau prin inducție.

Dacă o persoană încărcată electrostatic atinge un obiect conductor (de exemplu mânerul unei uși, o balustradă, un container metalic), în punctul de contact poate să apară o scânteie. Astfel de scânteie, care sunt puțin probabil să poată fi văzute, auzite sau chiar simțite de persoană, pot genera aprinderi ale atmosferelor explozive. Scânteile de la persoane pot aprinde gaze, vapori și chiar prafuri mai sensibile. Este foarte important să se prevină încărcarea electrostatică a persoanelor care pot fi expuse atmosferelor inflamabile, atmosfere care au o energie minimă de aprindere redusă.

Cerințe privind evaluarea materialelor și echipamentelor individuale de protecție (EIP) din punct de vedere al performanțelor de protecție împotriva electricității statice periculoase

Cerințele pentru prevenirea descărcărilor electrostatice periculoase de la om sunt date în ghidul *IEC TS 60079-32-1:2013+AMD1:2017 „Explosive atmospheres - Part 32-1 Electrostatic hazards, guidance”* și în standardul român *SR EN 60079-32-2:2015 „Atmosfere explozive. Partea 32-2: Pericole electrostatice. Încercări”*.

Cerințele pentru evaluarea materialelor și EIP din punct de vedere al performanțelor de protecție împotriva electricității statice periculoase, sunt date în *Regulamentul (UE) 2016/425 al Parlamentului European și al Consiliului din 9 martie 2016 privind echipamentele individuale de protecție și de abrogare a Directivei 89/686/CEE a Consiliului și în standardele specifice tipurilor de*

echipament: îmbrăcăminte (SR EN 1149-1,2,3,5), încălțăminte (SR EN ISO 20344, SR EN ISO 20345, SR EN ISO 20347), mănuși (SR EN 388:2004) sau căști de protecție (SR EN 812 + A1:2003, SR EN 443:2008, SR EN 397 + A1:2003).

Din analiza standardelor de mai sus se constată că, exceptând îmbrăcăminte de protecție, la toate celelalte echipamente, cerințele de protecție se referă la limitarea rezistenței electrice, iar metodele de încercare sunt aplicate în laboratoarele INCD INSEMEX.

De aceea, studiile întreprinse de mine s-au focalizat pe identificarea soluțiilor tehnice și realizarea standului de încercare a materialelor textile pentru măsurarea capacității de disipare a sarcinilor în conformitate cu cerințele standardului SR EN 1149-3:2004.

În vederea selectării echipamentelor individuale de protecție (EIP) pentru utilizare în zone cu pericol de explozie am efectuat o analiză a riscului de aprindere asociat descărcărilor electrostatice provenite de la îmbrăcăminte, în funcție de prezența și sensibilitatea la aprindere a atmosferelor explozive. Au fost identificate diferite niveluri de risc în relație cu ariile periculoase Ex, zone clasificate în zone conform standardelor EN 60079-10-1 și EN 60079-10-2 și în funcție de sensibilitatea materialului inflamabil la aprindere, respectiv de energia minimă de aprindere (MIE). În analiza efectuată am luat în considerare probabilitatea să apară un mecanism de încărcare.

Tabelul 1 oferă îndrumări referitoare la îmbrăcăminte de protecție disipativă electrostatic și alte EIP necesare, recomandate sau care nu sunt necesare pe baza riscului global, care sunt o combinație a probabilității apariției unei atmosfere explozive, probabilitatea apariției unui mecanism de încărcare și sensibilitatea la aprindere a atmosferei explozive prin descărcări electrostatice.

Zone periculoase	Probabilitatea de încărcare	0,016 mJ ≤ MIE ≤ 0,2 mJ Grupele de explozie IIB și IIC	MIE > 0,2 mJ		
			Grupele de explozie IIA și IIB	Grupele de explozie IIIA, IIIB și IIIC	
Zona 0	ridică	necesar	necesar		
	scăzută				
Zona 1	ridică		recomandat		recomandat
	scăzută				
Zona 2	ridică	recomandat	nu este necesar		
	scăzută	nu este necesar			
Zonele 20, 21 și 22	ridică			nu este necesar	
	Scăzută				

Tab. 1 - Cerințe pentru îmbrăcăminte de protecție disipativă electrostatic și alte EIP.

Încărcarea este dependentă de o serie de factori și ar trebui să fie evaluată de la caz la caz. Deși natura materialelor determină în mare măsură tendința lor de încărcare, factorii de mediu, și anume temperatura și umiditatea, au de asemenea o influență apreciabilă.

În subcapitolul 2.4 din teză, am făcut o analiză a metodelor de încercare a îmbrăcăminte/materialelor textile pentru determinarea performanțelor de protecție ESD în vederea stabilirii celei mai adecvate metode de încercare pentru evaluarea conformității și certificarea EIP conform Regulamentului (UE) 2016/425.

După o descriere a tipurilor de materiale pentru îmbrăcăminte cu evidențierea apariției de noi tipuri de materiale compozite, materiale ce au o rețea sau benzi de fire conductive în interiorul matricei de bumbac, de poliester sau un amestec al acestor materiale sau a celor care au fire conductive confecționate dintr-un amestec de fibre conductive și izolante (fibre conductive pe suprafață, fibre conductive în miez, fibre tip sandwich, etc.) am făcut o analiză a metodelor de încercare aplicabile acestora.

Într-adevăr, odată cu apariția noilor tipuri de materiale, apare ca o problemă dificilă testarea/caracterizarea acestor materiale, fiind necesară dezvoltarea testelor de control al calității și testelor funcționale efective. Câteva organisme internaționale de standardizare, incluzând IEC,

CENELEC și ISO, precum și diverse laboratoare individuale din mai multe țări au răspuns noilor provocări și au abordat anumite proiecte sau activități care să realizeze metode standard de testare în acest domeniu.

Comportamentul electrostatic al materialului omogen, isotropic este de obicei descris de două proprietăți: rezistivitate/rezistența de suprafață sau de volum și de descărcarea sarcinii (charge decay). Performanțele statice ale materialului îmbrăcăminteii exterioare din materiale compozite, eterogene, nu poate fi descris în acest fel deoarece prin măsurarea rezistenței între doi electrozi plasați pe material se poate obține o valoare foarte mică dacă electrozii au contact cu matricea conductivă, dar se poate obține și o valoare foarte mare dacă contactul este realizat doar cu substratul izolant electric. Similar, măsurătorile descărcărilor electrice la nivel macroscopic pot arăta pierderi foarte rapide de sarcină prin matricea conductivă, dar o reținere cvasi infinită de sarcină la izolator. Deoarece contactul dintre electrozi și material nu poate fi identic, măsurătoarea nu este repetabilă.

Pentru a nu se produce un eșec ca cel al abordării inițiale, bazat pe determinarea unor proprietăți ca rezistența și descărcarea de sarcină, pentru a determina performanțele îmbrăcăminteii protectoare exterioare s-a impus identificarea de noi proprietăți și/sau proceduri de testare adecvate pentru o caracterizare și/sau evaluare de încredere.

În cap 2.4.2 am efectuat un Studiu al metodelor de încercare a îmbrăcăminteii/materialelor textile pentru determinarea performanțelor de protecție ESD.

Încercările aplicabile pentru determinarea parametrilor de protecție ESD pot fi grupate în două categorii :

- încercări efectuate pe material;
- încercări efectuate pe îmbrăcăminte.

Astfel, au fost analizate în detaliu următoarele metode de testare a materialelor textile:

- Metodele rezistive din CEI 61340-5-1 (rezistența de suprafață, rezistența punct cu punct);
- Metodele rezistive din EN 1149-1 și EN 1149-2 (rezistența de suprafață, rezistența verticală - transversală);
- Rezistivitatea de suprafață conform EN 100015-1 (înlocuit cu CEI/EN 61340-5-1);
- Încercarea de încărcare prin inducție conform EN 1149-3;
- Încercarea de încărcare triboelectrică conform EN 1149-3;
- Încercarea de descărcare a sarcinii - încărcare prin contact (metoda VTT);
- Încercarea de încărcare corona conform CEI / EN 61340-2-1;
- Încercare de "Încărcare a capacității" a lui John Chubb (încărcare corona) cu ajutorul dispozitivelor de măsurare JCI155 și JCI176.

Studiul metodelor de încercare a îmbrăcăminteii finite cuprinde:

- Metodele rezistive descrise în standardul CEI 61340-5-1;
- Metodele rezistive din standardul ESD STM2.1;
- Metoda VTT de măsurare a timpului de descărcare a sarcinii la îmbrăcăminte de protecție ESD;
- Metoda SP 2175 "Măsurarea timpului de descărcare a sarcinii la îmbrăcăminte de protecție ESD";
- Metoda STFI de încercare nr. PS07 versiune 01/03 Rev. A "Metodă de încercare pentru determinarea potențialului corpului și transferului de sarcină prin purtarea de îmbrăcăminte de protecție disipativă electrostatic" (transfer de sarcină);
- Metoda Shirley 202 "Metodă de încercare pentru măsurarea electricității statice generate la dezbrăcarea îmbrăcăminteii de pe corpul uman";
- Metoda din standardul JIS L 1094:1997 "Metoda de măsurare cantitativă a electricității generate de încărcarea prin fricțiune".

Analiza aplicabilității metodelor de încercare pentru evaluarea performanțelor de protecție la descărcări electrostatice ale îmbrăcăminte de protecție utilizată în atmosfere potențial explozive

Cerințele pentru prevenirea descărcărilor care pot aprinde amestecurile explozive, se referă la utilizarea materialelor disipative electrostatic pentru straturile exterioare ale îmbrăcăminte de protecție. Aceste cerințe pot să nu fie suficiente în cazul atmosferelor îmbogățite cu oxigen.

Deoarece cerințele sunt pentru materiale, metodele de încercare aplicabile, conform standardelor în vigoare, se referă la testarea materialelor pentru caracterizarea lor din punct de vedere electrostatic. Încercările pe îmbrăcăminte completă sunt încă în studiu. Atâta timp cât astfel de teste nu sunt disponibile, nu poate fi posibilă efectuarea unei evaluări complete a proprietăților electrostatice ale îmbrăcăminte de protecție.

Stadiul actual al cunoștințelor în acest domeniu este reflectat în seria de standarde EN 1149 „Îmbrăcăminte de protecție. Proprietăți electrostatice”, standard care cuprinde cinci părți, și anume:

- Partea 1: Metodă de încercare pentru măsurarea rezistivității de suprafață;
- Partea 2: Metodă de încercare pentru măsurarea rezistenței electrice la traversarea materialelor (rezistență verticală);
- Partea 3: Metodă de încercare pentru măsurarea capacității de disipare a sarcinii;
- Partea 4: Încercarea îmbrăcăminte (în dezvoltare);
- Partea 5: Cerințe de performanță pentru materiale și cerințe de proiectare.

Aceste standarde au fost elaborate în urma cercetărilor efectuate în cadrul unui proiect European care au avut la bază încercări de inițiere a atmosferei de hidrogen. În consecință, limitele de acceptare recomandate sunt corelate cu energia sau sarcina minimă de aprindere a materialelor inflamabile, gazelor sau prafului, cu un coeficient de siguranță acoperitor datorită sensibilității mari a amestecului de hidrogen, comparativ cu alte substanțe inflamabile.

Cerințele de performanță pentru materiale din standardul SR EN 1149-5 sunt ca materialele disipative din punct de vedere electrostatic să corespundă la cel puțin una din următoarele cerințe:

- $t_{50\%} < 4s$ sau $S > 0,2$ atunci când materialul este încercat cu cea de a doua metodă (încărcare prin inducție) precizată în SR EN 1149-3, unde $t_{50\%}$ reprezintă timpul de înjumătățire a sarcinii iar S coeficient de protecție;
- rezistența de suprafață să fie $\leq 2,5 \times 10^9 \Omega$ pe cel puțin una dintre suprafețe, atunci când materialul este încercat în conformitate cu standardul SR EN 11491-1;
- pentru materiale care conțin fire conductoare în formă de grilă, distanța dintre acestea trebuie să nu fie mai mare de 10 mm în orice direcție.

CONTRIBUȚII PERSONALE LA DEZVOLTAREA ÎNCERCĂRILOR DE LABORATOR PENTRU VERIFICAREA PROPRIETĂȚILOR ANTISTATICE ALE MATERIALELOR TEXTILE

Stabilirea încercărilor necesare pentru evaluarea conformității îmbrăcăminte cu cerințele aplicabile de securitate, potrivit noilor standarde europene

Din “analiza aplicabilității metodelor de încercare pentru evaluarea performanțelor de protecție la descărcări electrostatice ale îmbrăcăminte de protecție utilizată în atmosfere potențial explozive”, rezultă că metodele de încercare care trebuie efectuate în laboratoarele INCD INSEMEX pentru verificarea caracteristicilor de disipare a sarcinilor electrostatice se referă la încercarea materialelor textile pentru determinarea caracteristicilor de disipare a sarcinilor.

În consecință, metodele de caracterizare a materialelor ca disipative electrostatic sunt cele descrise în SR EN 1149, și anume:

- Partea 1: Metodă de încercare pentru măsurarea rezistivității de suprafață;

- Partea 2: Metodă de încercare pentru măsurarea rezistenței electrice la traversarea materialelor (rezistența verticală);
- Partea 3: Metodă de încercare pentru măsurarea capacității de disipare a sarcinii – Metoda 2 cu încărcarea materialului prin inducție.

Întrucât metodele rezistive erau deja implementate în laboratoarele INCD INSEMEX, a fost necesar să dezvolt încercările pentru măsurarea capacității de disipare a sarcinii, respectiv pentru determinarea timpului de înjumătățire a sarcinii și a factorului de ecranare, conform metodei 2 din SR EN 1149-3.

În acest sens am elaborat documentația de realizare a standului pentru măsurarea capacității de disipare a sarcinii prin metoda de încercare care folosește încărcarea prin inducție și am realizat standul de încercare.

Schema de principiu a standului pentru măsurarea capacității de disipare a sarcinii prin metoda de încercare folosind încărcarea prin inducție este prezentată în figura 3.

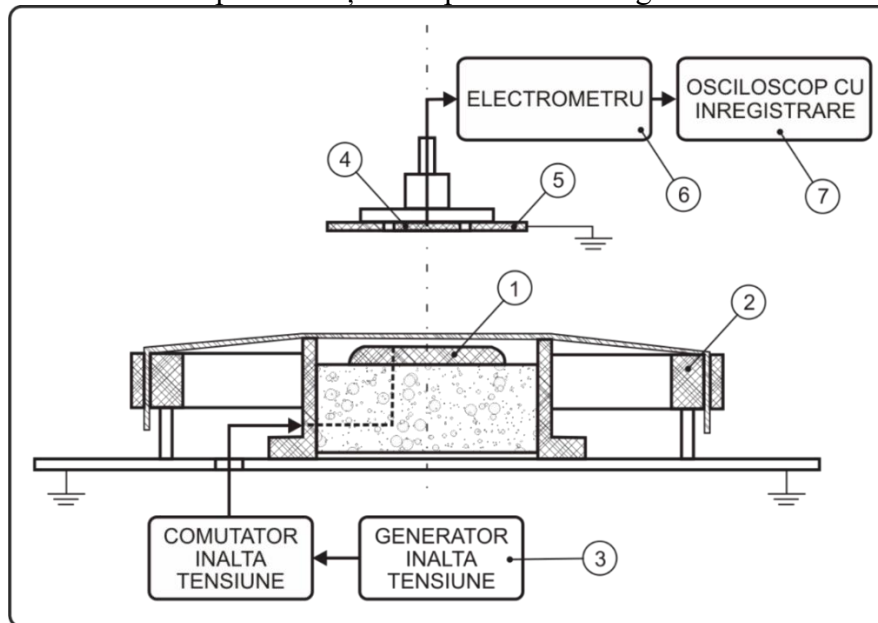





Fig. 3 - Schema de principiu a standului de încercare a materialelor textile cu metoda de încărcare prin inducție.

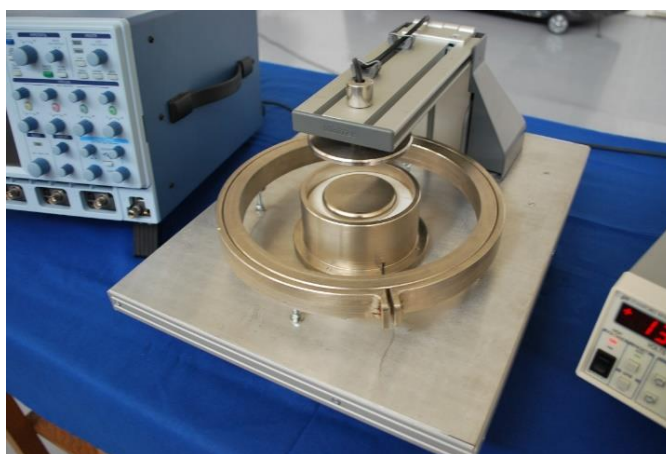
Standul de încercare este compus din:

- 1 - Un electrod de generare a câmpului sub formă de disc, din oțel inoxidabil, cu un diametru de 70 ± 1 mm, fixat pe un suport izolant;
- 2 - Un inel de susținere (inel metalic cu diametrul interior de 100 ± 1 mm, legat la pământ și amplasat în jurul electrodului de câmp) împreună cu un inel de strângere a eșantionului;
- 3 - Un generator de tensiune înaltă capabil să furnizeze electrodului de câmp o tensiune continuă stabilă de 1200 ± 50 V. Tensiunea este aplicată electrodului cu ajutorul unui comutator electronic de mare viteză, comutator care asigură un front al creșterii tensiunii în intervalul de $30 \mu\text{s}$ (o sursă reglabilă de tensiune de c.c. de 5000V și un întrerupător rapid HT);
- 4 - O sondă de măsurare a câmpului (un disc metalic cu diametru de $(30,0 \pm 1)$ mm);
- 5 - Inel de gardă legat la pământ care ecranează sonda de măsurare;
- 6 – Electrometru / coulombmetru electronic conectat la sonda de măsurare a câmpului;
- 7- Osciloscop digital prevăzut cu funcția de memorare care înregistrează curba tensiunii generate de coulombmetru. Valoarea intensității câmpului electrostatic înregistrat provine de la ieșirea sondei de măsurare a câmpului. Rezoluția pe axa timpului și timpul de răspuns al dispozitivului de măsurare sunt mai mici de $50 \mu\text{s}$.

Pentru realizarea standului am utilizat echipamente de ultimă generație. Echipamentele performante sunt cerute de noile standarde care solicită un înalt nivel tehnic al dotărilor de laborator.

Datele tehnice ale echipamentelor.

Denumirea echipamentului	Caracteristici / Date tehnice	
Electrometru / Coulombometru	<p>Tip Keithley 6514 Programmable Electrometer, DC – Multimeter. Acest electrometru programabil este capabil să măsoare tensiuni (V), curenți (A), rezistențe (Ohm) și sarcina electrostatică (C). Standul se utilizează pentru măsurarea sarcinii electrice, exprimată în nC. Sursă de curent constant încorporată; Până la 1200 citiri/secundă; Ieșire analogică 0 - 2V, inversoare pentru modul Coulomb; Interfață IEEE-488, RS-232C.</p>	
Sursă de înaltă tensiune	<p>Model PS325 – 2,50 kV High Voltage Power Supply, 25 Watts; Tensiune de ieșire: 50VDC la ± 5000VDC Curent maxim: 5mA</p>	
Întreprător rapid de înaltă tensiune cu semiconductori	<p>Comutator static cu tranzistor MOSFET; Tensiune nominală: 6 kV; Curent nominal: 50 A; Timp de creștere la pornire (Turn-On Rise Time): maxim 22ns.</p>	
Accesorii	<p>Cablu cu zgomot redus, cod 237-ALG-2, 3-conductoare și la capete cu Crocodili și mufă Triax, pentru conectarea sondei la electrometru; Adaptor cod 7078-TRX-BNC, adaptor de la Triax la BNC pentru conectare pe osciloscop a electrometrului.</p>	



Sistemul de electrozi de măsurare fără eșantionul de încercare.

Pentru comanda releului de înaltă tensiune am conceput și realizat un *dispozitiv de alimentare și comandă*.

În figura 4 prezint schema electrică a dispozitivului de alimentare și comandă a releului de înaltă tensiune, iar în figurile 5 și 6 prezint circuitul imprimat și circuitul asamblat al dispozitivului de alimentare și comandă a releului de înaltă tensiune.

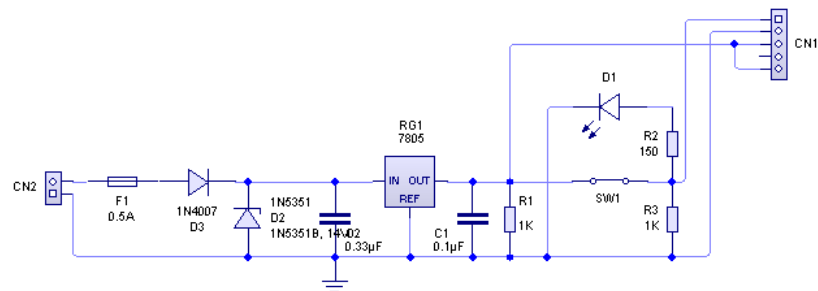


Fig. 4 - Schema electrică.

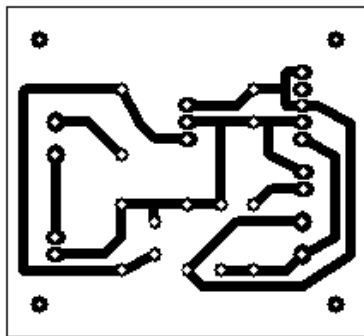


Fig. 5 - Circuitul imprimat.

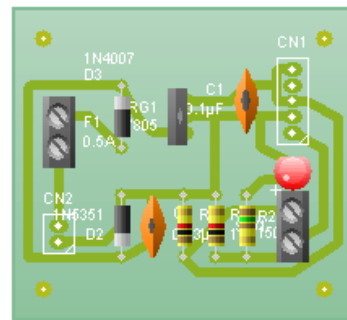


Fig. 6 - Circuitul asamblat.

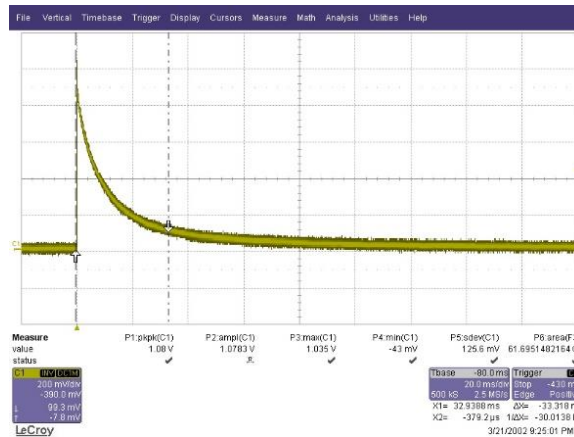
În figura 7 prezint standul de încercare asamblat, echipat cu aparatura de încercare. Ansamblul cuprinde generatorul de tensiune (sursa de curent continuu), electrometrul de măsurare și osciloscopul de înregistrare a rezultatelor.



Fig. 7 - Standul de încercare echipat cu aparatura de încercare.

În faza de *Implementare a metodei de încercare în cadrul laboratorului de încercări* am efectuat o serie de încercări pentru experimentarea noii metode în vederea identificării factorilor de influență pentru asigurarea repetabilității și reproductibilității încercărilor. Am avut în vedere conformarea cu cerințele standardului SR EN 17025 pentru încercarea de determinare a timpului de

înjumătățire a sarcinii. De asemenea, acuratețea rezultatelor obținute a fost confirmată, ulterior, prin încercări interlaboratoare.



Oscilogramă obținută pentru eșantionul 1 ($t_{50} < 10ms$).

De asemenea, am elaborat procedura de încercare pentru a implementa metoda de încercare în sistemul de calitate al laboratorului extinzând domeniul de competență al laboratorului. Procedura elaborată este *PI-60 Încercări pentru caracterizarea electrostatică (rezistență, conductibilitate, rezistivitate electrică, capacitate electrică, sarcină electrică, timp de înjumătățire a sarcinii)*.

CAPITOLUL 3

PERICOLUL DE ÎNȚIERE PRIN DESCĂRCĂRI ELECTROSTATICE A CAPSELOR DETONANTE ELECTRICE, A ARTICOLELOR PIROTEHNICE, A PROPULSANȚILOR ȘI A COMBUSTIBILILOR PENTRU RACHETE

Explozivii pentru uz civil, din categoria cărora fac parte și propulsanții, combustibili pentru rachete și capsule detonante electrice, în anumite situații pot fi inițiați intempestiv datorită descărcărilor electrostatice. Electricitatea statică, ca și sursă de apariție a descărcărilor electrostatice, este un fenomen frecvent întâlnit în industria producătoare de explozivi.

Determinarea performanțelor privind sensibilitatea acestor dispozitive la inițierea intempestivă prin descărcări electrostatice este foarte importantă, întrucât de acest lucru depinde siguranța și gradul de securitate al persoanelor.

În țările Uniunii Europene au fost armonizate reglementările privind standardele de testare, procedurile de evaluare a conformității și transportul acestora în cadrul următoarelor reglementări:

- Recomandarea Națiunilor Unite pentru transportul produselor periculoase, în forma elaborată de Comitetul de Experți de pe lângă Consiliul Economic și Social la sesiunea din 20.04.1957 cu amendamentele ulterioare;
- Directiva 2014/28/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 26 februarie 2014 privind armonizarea legislației statelor membre referitoare la punerea la dispoziție pe piață și controlul *explozivilor de uz civil*;
- Directiva 2013/29/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 12 iunie 2013 privind armonizarea legislației statelor membre referitoare la punerea la dispoziție pe piață a *articolelor pirotehnice*.

Principalele standarde armonizate care susțin cerințele *Directivei 2014/28/UE* privind protecția la electricitatea statică sunt:

- *SR EN 13938-1:2004* Explozivi pentru uz civil. Propulsanți și combustibili pentru rachete Partea 1: Cerințe;
- *SR EN 13938-2:2005* Explozivi pentru uz civil. Propulsanți și combustibili pentru rachete Partea 2: Determinarea rezistenței la energie electrostatică;
- *SR EN 13763-1* Explozivi pentru uz civil. Capse detonante și relee întârziatoare. Partea 1: Cerințe;
- *SR EN 13763-13:2004* Explozivi pentru uz civil. Capse detonante și relee întârziatoare. Partea 13: Determinarea rezistenței capselor detonante electrice la descărcare electrostatică.

Standardul armonizat cu cerințele Directivei 2013/29/UE privind protecția la electricitatea statică este *SR EN 16265:2016* „Articole pirotehnice. Alte articole pirotehnice. Dispozitive cu aprindere”.

Întrucât aplicarea noilor metode de încercare pentru determinarea parametrilor de securitate este deosebit de importantă pentru evaluarea conformității explozivilor de uz civil și al articolelor pirotehnice cu cerințele de securitate prevăzute în directivele specificate, am efectuat o serie de studii și cercetări pentru implementarea metodelor de încercare conform noilor norme și standarde în laboratoarele INCD INSEMEX.

În acest sens, am făcut un studiu pentru *ELABORAREA UNOR METODE INOVATIVE PENTRU TESTAREA CAPSELOR DETONANTE ELECTRICE PRIVIND SENSIBILITATEA LA DESCĂRCĂRI ELECTROSTATICE*, pentru *REALIZAREA UNUI STAND DE ÎNCERCĂRI*, am făcut *EXPERIMENTĂRI DE LABORATOR* și am *IMPLEMENTAT METODA ÎN PROCEDURILE DE ÎNCERCARE ÎN REGIM ACREDITAT*.

Prin studiul efectuat în cadrul unui proiect de cercetare derulat în cadrul programului NUCLEU am făcut o analiză metodelor de evaluare și încercare a performanțelor de protecție a capselor detonante electrice și am identificat soluțiile de implementare a noii metode de încercare a capselor detonante electrice pentru evaluarea conformității cu cerințele de prevenire a detonării nedorite prin descărcări electrostatice și am stabilit încercările necesare, condițiile de încercare și aplicare a descărcării electrostatice. Studiul s-a finalizat cu realizarea standului de încercare pentru testarea capselor detonante privind performanțele de protecție împotriva inițierii necontrolate prin descărcări electrostatice.

Standul de încercare realizat respectă schema de principiu standardizată, așa cum este prezentată în fig. 8.

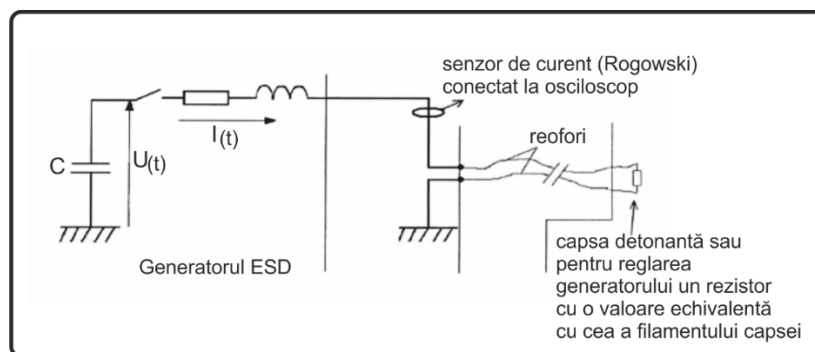


Fig. 8 – Montajul aparatului de încercare.

Standul de încercare pentru testarea capselor privind performanțele de protecție împotriva inițierii necontrolate prin descărcări electrostatice, realizat de mine (figura 9), este format din:

- *Generatorul de descărcare electrostatică* (generatorul ESD) compus dintr-o baterie de condensatoare cu capacități cuprinse de la 500 pF până la 3500 pF, condensatoare cu tensiunea de lucru peste 30 kV și o sursă de tensiune continuă de peste 30 kV (sursă tip HCP 260-120 000 cu tensiune până la 120 kV);
- *Sistemul pentru înregistrarea curentului ESD și calcularea impulsului ESD furnizat capsei detonante*, sistem compus dintr-un senzor de curent cuplat inductiv Rogowski tip

CWT015B/1/80UM, un osciloscop cu funcții matematice capabil să integreze și să calculeze funcții pătratice, cu o lățime de bandă de 500 MHz, tip LeCroy WaveRunner 6000A, seria DSO;

- Rezistențe de calibrare, cabluri de conexiune de înaltă tensiune, releu electromagnetic în vid comandat de la o sursă de alimentare, uscător de aer pentru menținerea unei umidități relative de cel mult 60 %, tip HBC ADSORPTIONSENTFEUCHTER CR 750, instalație aer condiționat pentru menținerea unei temperaturi de (20 ± 2) °C.

Standul de încercare a fost realizat utilizând aparatura achiziționată în cadrul unor proiecte de cercetare derulate în cadrul INCD-INSEMEX Petroșani.

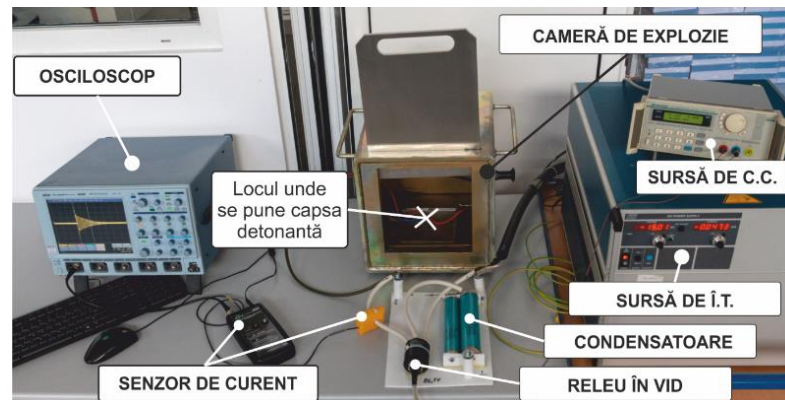


Fig. 9 – Stand pentru testarea capselor privind performanțele de protecție împotriva inițierii necontrolate prin descărcări electrostatice.

În cadrul fazei de experimentare și implementare a procedurii în laboratorul acreditat, am făcut mai multe încercări obținând curbe de descărcare cu formă descrescătoare și oscilantă (ușor armonizată) ca în figura 10.

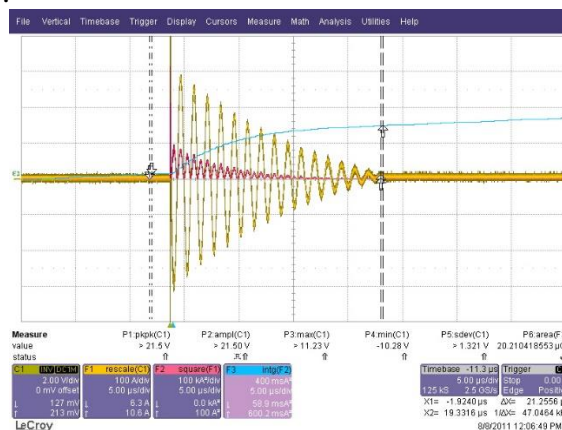


Fig. 10 – Oscilograma impulsului și curbele generate de funcțiile matematice.

Din experimentările efectuate am constatat următoarele:

- Rezultatele încercării, respectiv forma impulsului de descărcare, sunt puternic influențate de configurația circuitului de descărcare. Pentru a se obține curba de descărcare sub formă descrescătoare și oscilantă (ușor armonizată), așa cum se specifică în standard, este necesar să se reducă pe cât posibil inductanța circuitului electric;
- Legarea la pământ, pământarea defectuoasă a circuitului de încercare conduce la rezultate eronate. Curba de descărcare este puternic distorsionată datorită curenților vagabonzi;
- Temperatura mediului influențează aparatura de măsurare;
- Performanțele de încercare ale standului realizat sunt limitate de senzorul de curent cuplat inductiv CWT1 care suportă un curent de vârf de 300 A și de releul în vid care, la curenți foarte mari poate rămâne cu armăturile lipite, defectându-se.

Din analiza cerințelor de încercare standardizate, a caracteristicilor tehnice ale aparaturii de încercare, precum și a rezultatelor experimentale obținute, se poate constata faptul că metoda de încercare aplicată cu aparatura existentă oferă posibilitatea determinării corecte a sensibilității capselor detonante electrice la descărcări electrostatice, în conformitate cu cerințele de testare standardizate cuprinse în standardul SR EN 13763-13:2004.

O altă temă de cercetare a vizat *ELABORAREA UNEI METODE INOVATIVE PENTRU TESTAREA PROPULSANȚILOR ȘI A COMBUSTIBILILOR PENTRU RACHETE PRIVIND SENSIBILITATEA LA DESCĂRCĂRI ELECTROSTATICE.*

Propulsanții și combustibilii pentru rachete fac parte din categoria explozivilor de uz civil. Propulsorul este un exploziv deflagrant utilizat pentru propulsia sau pentru reducerea frecării proiectilelor. Carburantul propulsor poate fi utilizat ca și component al generatoarelor de gaz sau alte articole.

Rezistența la energie electrostatică este una din cerințele care trebuie îndeplinite de propulsanții și combustibilii solizi pentru rachete, de calupurile de pulbere și de pulberile negre pentru uz civil, ea fiind o cerință cuprinsă în standardul SR EN 13938-1.

În standardul SR EN 13938-1 se solicită ca la încercarea din EN 13938-2, sensibilitatea la energia electrostatică să nu fie mai mică de 0,5 J.

Pentru determinarea sensibilității la descărcări electrostatice, am identificat cerințele tehnice pentru standul de încercare în baza cărora INCD INSEMEX a achiziționat în anul 2019 un stand de încercări care îndeplinește condițiile prevăzute în standardele naționale și europene. În calitate de responsabil de contract desemnat de către conducerea INCD INSEMEX, eu am întocmit nota de fundamentare, caietul de sarcini cu cerințele pe care trebuie să le îndeplinească echipamentul, am analizat ofertele furnizorilor, am făcut completările de rigoare și am ales oferta tehnică care a îndeplinit toate cerințele necesare.

Standul de încercări are ca componentă principală echipamentul la scară redusă X SPARK 10 (figura 11), echipament utilizat pentru determinarea rezistenței la energie electrostatică a materialelor energetice (materiale cu o cantitate mare de energie chimică stocată).

Echipamentul X SPARK 10, produs de OZM Research Cehia, prezintă o serie de avantaje, cum ar fi:

- Permite testarea tuturor categoriilor de explozivi civili, de la explozivi de amorsare primari - extrem de sensibili, la explozivi puternici – insensibili, incluzând propulsanții și combustibilii pentru rachete;
- Măsurarea exactă a energiei de inițiere a materialelor energetice cristaline cu masa probabilă tipică de aproximativ 10 mg, în domeniul energiilor de descărcare de la 25 pJ la 25 J și la tensiuni de până la 10 kV;
- Efectuarea unui test complet necesitând maxim 40 de încercări, funcționează în două regimuri de descărcare - oscilant și amortizat.

Echipamentul face parte din cea mai nouă generație de instrumente de încercare destinate măsurării precise a energiei de inițiere (sensibilitatea la scânteia electrostatică) a materialelor explozive. Este proiectat pentru măsurarea exactă a energiei de inițiere a materialelor explozive cristaline în domeniul energiilor de descărcare (de la 25 pJ la 25 J), la o tensiune de până la 10 kV și cu masa tipică probabilă de aproximativ 10 mg. Acest echipament este foarte productiv deoarece sunt necesare puține încercări pentru determinarea sensibilității, de obicei sunt necesare aproximativ 30 - 40 de încercări cu diferite energii ale scânteii pentru a efectua un test complet.

Echipamentul la scară redusă pentru determinarea rezistenței la energie electrostatică a propulsanților și a combustibilului pentru rachete este constituit din:

- O sursă încorporată de alimentare cu înaltă tensiune;
- O baterie de condensatori;

- Un rezistor de amortizare;
- Un comutator de înaltă tensiune controlat de la distanță, cu acționare pneumatică;
- O cameră de încercare care include și un ventilator de aspirație;
- Un set de condensatori adiționali externi;
- O telecomandă;
- Un set de accesorii și un ecran suplimentar de protecție din plexiglas care protejează instrumentul împotriva influenței efectelor exploziei în timpul testării probelor explozive neconforme (care se inițiază).

Capacitatea de lucru este selectabilă, ea putând fii suplimentată cu condensatoare externe. Tensiunea de ieșire, de ordinul kV-ilor, este variabilă și se reglează dintr-un potențiomtru. Valoarea tensiunii este afișată pe ecranul echipamentului.

În cazul în care echipamentul este folosit pentru realizarea încercărilor din standardul SR EN 13938-2, acesta se va folosi în configurația „mod oscilant”. Calea curentului la descărcare este evidențiată cu liniile punctate în figura 12.

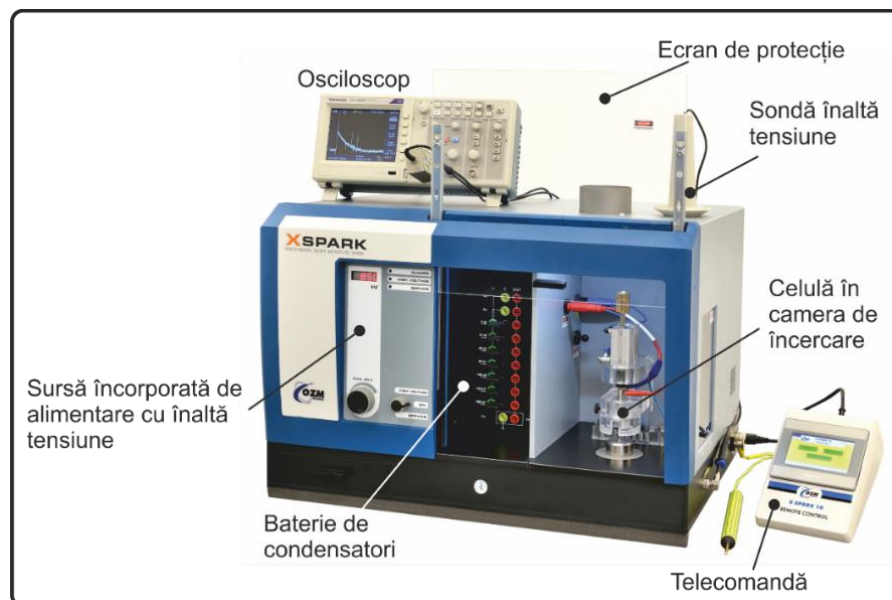


Fig. 11 – Echipamentul la scară redusă X Spark 10.

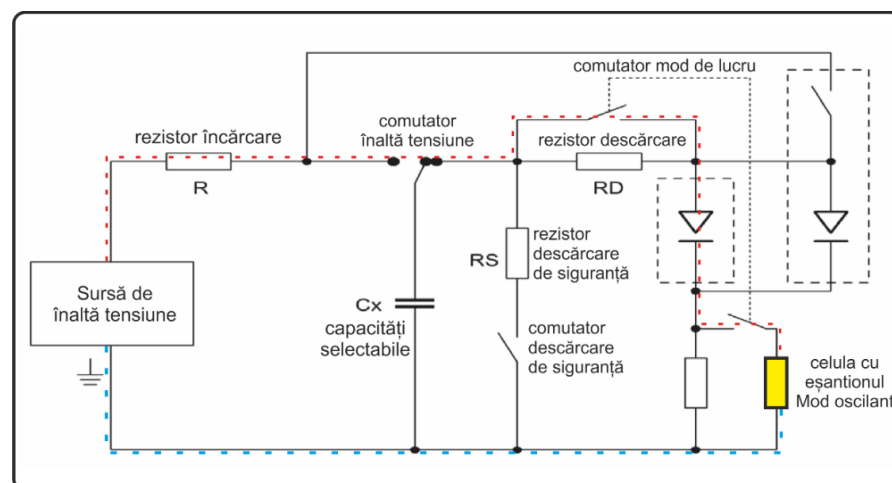


Fig. 12 – Schema bloc a echipamentului X Spark 10.

Pentru realizarea standului în conformitate cu standardul SR EN 13938-2 am achiziționat separat celulele și capacele din cupru (figura 13), cablul special de legătură între X Spark și celulă, precum și un compresor fără ulei pentru acționarea pneumatică a comutatorului de înaltă tensiune.

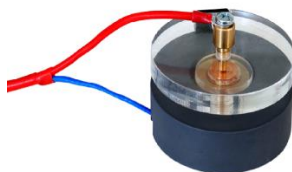


Fig. 13 – Celulă cu capac din cupru, asamblată.

În vederea extinderii domeniului de competență al Grupului de Laboratoare de Încercări GLI din cadrul INCD INSEMEX, acreditat de către RENAR în conformitate cu standardul *SR EN ISO/CEI 17025 Cerințe generale pentru competența laboratoarelor de încercări și etalonări*, am elaborat procedura de încercare pentru *Determinarea rezistenței la energie electrostatică a Explosivilor pentru uz civil - Propulsanți și combustibili pentru rachete*. Această procedură de încercare urmează să fie validată prin încercări de laborator experimentale.

4. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

CONCLUZII FINALE

Concluzii privind electricitatea statică ca sursă de inițiere a atmosferei explozive sau a capselor detonante electrice, a articolelor pirotehnice, a propulsanților și a combustibililor pentru rachete

Electricitatea statică este unul dintre fenomenele des întâlnite în activitățile industriale, dar și în viața de zi cu zi. Multe dintre efectele electricității statice trec complet neobservate sau nu produc daune, însă electricitatea statică poate să genereze și situații periculoase.

Electricitatea statică poate genera incendii și/sau explozii, detonarea nedorită a capselor detonante electrice, acționarea necontrolată a aparatului sensibil de comandă și control, iar la persoane poate genera șoc electric sau șoc electric în combinație cu un alt pericol (cădere, împiedicare).

Descărcările electrostatice incendive reprezintă un risc de inițiere a atmosferelor explozive de gaz, praf sau vapori, a inițierii nedorite a capselor detonante, a articolelor pirotehnice, a propulsanților și a combustibililor pentru rachete.

Descărcările incendive de tip con, perie, perie de propagare și scânteie, produc aprinderea atmosferelor explozive și a explozivilor de uz civil. Singura descărcare care nu produce aprinderea atmosferelor explozive de praf este descărcarea de tip corona, descărcare cu densitatea energetică mult prea mică.

Asigurarea securității în industrie, în locuri cu atmosferă potențial explozivă, la producerea, depozitarea și transportul explozivilor de uz civil, presupune analizarea fiecărei situații în parte, în ceea ce privește potențialele surse de electrizare, probabilitatea prezenței și persistenței atmosferei explozive sau a explozivilor și prin impunerea măsurilor de protecție adecvate pentru reducerea riscului la un nivel acceptabil.

Evaluarea riscului de aprindere a atmosferelor explozive prin descărcări electrostatice se poate face cunoscând incendivitatea descărcării (adică cantitatea de energie eliberată) și sensibilitatea atmosferei potențial explozive existente, așa cum a fost caracterizată prin energia minimă de aprindere MIE.

Cunoscând incendivitatea descărcării și sensibilitatea atmosferei potențial explozive, se poate stabili dacă aprinderea apare sau nu.

Evaluarea apariției de descărcări de toate tipurile este practic cel mai important lucru și, de asemenea, cel mai dificil pas în analizarea pericolelor create de încărcările electrostatice.

Evaluarea riscului de inițiere necontrolată a capselor detonante electrice, a propulsanților și a combustibililor pentru rachete depinde de sensibilitatea lor la descărcări electrostatice.

Concluzii privind analiza cerințelor de evaluare/încercare a echipamentelor individuale de protecție (EIP) pentru reducerea riscului de aprindere a atmosferelor explozive prin descărcări electrostatice de la om

Dacă o persoană încărcată electrostatic atinge un obiect conductiv (de exemplu, mânerul unei uși, o balustradă, un container metalic), în punctul de contact poate să apară o scânteie. Astfel de scânteie, care sunt puțin probabil să poată fi văzute, auzite sau chiar simțite de persoană, pot genera aprinderi ale atmosferelor explozive. Scânteile de la persoane pot aprinde gaze, vapori și chiar prafuri mai sensibile. Este foarte important să se prevină încărcarea electrostatică a persoanelor care pot fi expuse atmosferelor inflamabile, atmosfere care au o energie minimă de aprindere redusă.

Prin studiul metodelor de încercare a îmbrăcămintei / materialelor textile pentru determinarea performanțelor de protecție ESD am evidențiat multitudinea de metode de încercare folosite pe plan mondial. Multe din aceste metode nu pot fi utilizate pentru noile materiale compozite, materiale textile utilizate la noile EIP. Am constatat că metoda care poate fi folosită la evaluarea tuturor materialelor textile este cea care folosește timpul de descărcare a sarcinii, metodă conformă cu standardul EN 1149-3 metoda 2 (încărcarea prin inducție).

Pentru aplicarea metodei de încercare în Laboratorul Echipamente Neelectrice Ex., Electrostatică, Materiale și Echipamente Individuale de Protecție din cadrul INCD INSEMEX, am proiectat, realizat și experimentat un stand nou de încercare pe care l-am prezentat în teză.

Concluzii privind pericolul de inițiere prin descărcări electrostatice a capselor detonante electrice, a articolelor pirotehnice, a propulsanților și a combustibililor pentru rachete

Explozivii pentru uz civil, din categoria cărora fac parte și propulsanții, combustibili pentru rachete și capsule detonante electrice, în anumite situații, pot fi inițiați intempestiv datorită descărcărilor electrostatice. Electricitatea statică, ca și sursă de apariție a descărcărilor electrostatice, este un fenomen frecvent întâlnit în industria producătoare de explozivi.

Determinarea performanțelor privind sensibilitatea acestor dispozitive la inițierea intempestivă prin descărcări electrostatice este foarte importantă, întrucât de acest lucru depinde siguranța și gradul de securitate al persoanelor. Din studiul efectuat privind metodele de încercare a parametrilor de securitate ai capselor detonante electrice, a articolelor pirotehnice, a propulsanților și a combustibililor pentru rachete privind inițierea prin descărcări electrostatice am constatat că nu au fost implementate în laboratoarele INSEMEX. În acest sens am efectuat o serie de studii care s-au finalizat cu realizarea standului de încercare pentru testarea capselor detonante privind performanțele de protecție împotriva inițierii necontrolate prin descărcări electrostatice și achiziția unui stand pentru testarea propulsanților și a combustibililor pentru rachete privind sensibilitatea la descărcări electrostatice. Ambele standuri au fost experimentate și puse în funcțiune. S-au elaborat procedurile de încercare care au fost implementate în laborator în vederea extinderii domeniului de competență al Grupului de laboratoare de încercări GLI din cadrul INCD INSEMEX, acreditat de către RENAR în conformitate cu standardul SR EN ISO/CEI 17025.

CONTRIBUȚII PERSONALE

Contribuții teoretice

- Evaluarea riscului de aprindere a atmosferelor explozive praf/aer prin descărcări electrostatice;
- Analiza riscului de inițiere intempestivă a explozivilor și/sau a dispozitivelor de inițiere prin descărcări electrostatice;

- Analiza performanțelor de protecție la descărcări electrostatice ale diferitelor tipuri de capse detonante;
- Analiza riscului de inițiere a capselor detonante electrice de joasă intensitate prin descărcări electrostatice;
- Analiza cerințelor de evaluare/încercare a echipamentelor individuale de protecție (EIP) pentru reducerea riscului de aprindere a atmosferelor explozive prin descărcări electrostatice de la om;
- Analiza metodelor de încercare a îmbrăcăminte/materialelor textile pentru determinarea performanțelor de protecție ESD;
- Analiza aplicabilității metodelor de încercare pentru evaluarea performanțelor de protecție la descărcări electrostatice ale îmbrăcăminte de protecție utilizată în atmosfere potențial explozive;
- Stabilirea încercărilor necesare pentru evaluarea conformității îmbrăcăminte cu cerințele aplicabile de securitate, potrivit noilor standarde europene;
- Analiza metodelor de evaluare și încercare a performanțelor de protecție (rezistența la descărcări electrostatice) a capselor detonante electrice;

Contribuții hardware

- Realizarea și implementarea standului pentru măsurarea capacității de disipare a sarcinii prin metoda de încercare folosind încărcarea prin inducție;
- Realizarea și implementarea standului de încercare pentru testarea capselor detonante privind performanțele de protecție împotriva inițierii necontrolate prin descărcări electrostatice;
- Realizarea și implementarea standului pentru determinarea sensibilității la descărcări electrostatice a propulsanților și a combustibililor pentru rachete.

Contribuții experimentale și aplicative

- Elaborarea documentației de realizare a standului pentru măsurarea capacității de disipare a sarcinii prin metoda de încercare încărcare prin inducție, stand pentru determinarea caracteristicilor antistatice a EIP;
- Elaborarea procedurii de încercare pentru metoda de încercare care folosește încărcarea prin inducție și implementarea acesteia în sistemul de calitate al laboratorului, scopul fiind extinderea domeniului de competență al laboratorului;
- Experimentarea și implementarea procedurii în laboratorul acreditat pentru încercări;
- Constatări făcute în timpul încercărilor de laborator efectuate pe capse detonante electrice în faza de experimentare a standului;
- Elaborarea și implementarea procedurii de lucru „Determinarea rezistenței la energie electrostatică a propulsanților și a combustibililor pentru rachete” în laboratorul acreditat pentru încercări;

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Gabor D., Radu S.M., Ghicioi E., Părăian M., Jurca A., Vătavu N, Păun F., Popa M., *Study of methods for assessment of the ignition risk of dust/air explosive atmospheres by electrostatic discharge*, 8th International Multidisciplinary Scientific Symposium „UNIVERSITARIA SIMPRO” 11-13 October 2018, Petroșani, România, Conference Proceedings, ISSN–L 1842 – 4449, ISSN 2344 – 4754, Pag. 157÷162, 2018;
2. Gabor D., sa., „Cerințe specifice pentru instalațiile care funcționează în medii cu atmosferă explozivă, altele decât minele”, Editura INSEMEX, 2018, ISBN 978-606-8761-09-1;
3. Găman G.A., Gabor D., sa., „Ghidul național privind stabilirea cerințelor de securitate și sănătate în muncă, pentru agenții economici care operează cu substanțe/ produse/ bunuri

- capabile să genereze atmosfere explozive/ toxice, sau prezintă caracteristici detonante/ deflagrante”, Editura INSEMEX, Petroșani, România, 2018; ISBN* 978-606-8761-26-8
4. Holdstock P., *Comparison of charge decay test methods and results*. IEC TC101 WG5 meeting, Kista, Sweden, 2002;
 5. Paasi J, Nurmi S., Kalliohaka T., Coletti G., Guastavino F., Fast L., Nilsson A., Lemaire P., Laperre J., Vogel C., Haase J., Peltoniemi T., Reina G., Borjesson A., Smallwood J., *Electrostatic testing of ESD-protective clothing for electronics industry*, Proc. Electrostatics 2003 Conf., Inst Phys Conf Series, 2004.
 6. Părăian M., Gabor D., s.a., *Cod practic pentru intocmirea documentului de protecție la explozie*, Editura INSEMEX , 2018 ISBN 978-606-8761084;
 7. Păun F., Radu S.M., Burian S., Jurca M., Gabor D., Lupu L., *Research regarding on the ignition risk of explosive mixtures by electrostatic discharges*, 8th International Symposium Occupational Health and Safety – SESAM 2017, Proceedings of the Symposium, vol II, ISSN 1843-6226, 2007;
 8. Păun F., Gabor D., s.a. - *Selection of personal protective equipment for use in potentially explosive atmospheres* - 8th International Multidisciplinary Scientific Symposium „UNIVERSITARIA SIMPRO” 11-13 October 2018, Petroșani, România, Conference Proceedings, ISSN-L 1842 – 4449, ISSN 2344 – 4754;
 9. Păun F., Gabor D., s.a., Proiect PN 07-45-02-55 Cercetări privind sensibilitatea amestecurilor explozive, a capselor detonante electrice și a articolelor pirotehnice pentru vehicule la descărcări electrostatice. Determinarea energiei minime de aprindere a amestecurilor explozive sau de inițiere a dispozitivelor pirotehnice;
 10. Smallwood J.M. and Paasi J., *Assessment of ESD threats to electronic components and ESD control requirements*. Proc. Electrostatics 2003 Conf., Inst Phys Conf Series, 2004;
 11. von Pidoll U., *Determining the incendivity of electrostatic discharges without explosive gas mixtures*, PTB Braunschweig, 2002;
 12. ***, Directiva 2013/29/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 12 iunie 2013 privind armonizarea legislației statelor membre referitoare la punerea la dispoziție pe piață a articolelor pirotehnice (reformare);
 13. ***, Directiva 2014/28/UE privind armonizarea legislației statelor membre referitoare la punerea la dispoziție pe piață și controlul explozivilor de uz civil, transpusă prin HG nr.197/2016 (a înlocuit Directiva 93/15/CE transpusă prin HG nr.207/2005);
 14. ***, Directive 2014/34/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres;
 15. ***, European research project SMT4-CT96-2079 “*The evaluation of the electrostatic safety of personal protective clothing for use in flammable atmospheres*”;
 16. ***, IEC TS 60079-32-1:2013+A1:2017, *Atmosfere explozive - Partea 32-1: Pericole electrostatice. Ghid (Explosive atmospheres - Part 32-1: Electrostatic hazards, guidance)*, martie 2017;
 17. ***, Japanese Industrial Standard JIS L 1094:1997 *Testing methods for electrostatic propensity of woven and knitted fabrics*, 1997;
 18. ***, PN 07-45-02-01 - *Metode armonizate de încercare a capselor detonante electrice pentru evaluarea conformității cu cerințele de prevenire a detonării intempestive prin descărcări electrostatice (ICDE)*;
 19. ***, PN 07-45-02-13 *"Dezvoltarea metodelor de încercare pentru evaluarea performanțelor de protecție la electricitatea statică ale echipamentelor individuale de protecție utilizate în industrie în locuri cu pericol de explozii - MELSTEIP"*;
 20. ***, PN 07-45-02-55 - *Cercetări privind sensibilitatea amestecurilor explozive, a capselor detonante electrice și a articolelor pirotehnice pentru vehicule la descărcări electrostatice.*

Determinarea energiei minime de aprindere a amestecurilor explozive sau de inițiere a dispozitivelor pirotehnice.

21. ***, *Protective clothing for use in the manufacturing of electrostatic sensitive devices (ESTAT-Garments)*, EC contract No G6RD-CT-2001-00615;
22. ***, Shirley Method 202, Test method for measuring static electricity generated when removing garments from the human body, *British Textile Technology Group (BTTG)*, 2002;
23. ***, SP-Method 2175, Measurement of decay time of ESD-protective clothing, *Rev. 3*, 2000;
24. ***, SR EN 1127-1:2011 - Atmosfere explozive. Prevenirea și protecția la explozii. Partea 1. Concepte fundamentale și metodologie;
25. ***, SR EN 1149-3:2004 - *Îmbrăcăminte de protecție. Proprietăți electrostatice. Partea 3. Metodă de încercare pentru măsurarea capacității de disipare a sarcinilor*;
26. ***, SR EN 13763-13:2004 - Explozivi pentru uz civil. Capse detonante și relele întârziatoare. Partea 13: Determinarea rezistenței capselor detonante electrice la descărcare electrostatică;
27. ***, SR EN 13938-2:2005 - Explozivi pentru uz civil. Propulsanți și combustibili pentru rachete. Partea 2: Determinarea rezistenței la energie electrostatică;
28. ***, SR EN ISO/CEI 17025:2018 - Cerințe generale pentru competența laboratoarelor de încercări și etalonări.
29. ***, SR EN 61340-2-1:2004 Electrostatică. Partea 2-1: Metode de măsurare. Capabilitatea materialelor și produselor de a disipa încărcările electrostatice;
30. ***, *Test Method STFI-Reference No. PS 07, Version: 01/03 Rev. A*, Test method to determine the body potential and the charge transfer by wearing of electrostatically dissipative protective clothing, 2003;