# CONSIDERAȚII PRIVIND DETERMINAREA PERFORMANȚELOR ANTIDEFLAGRANTE ALE CAPSULĂRILOR MOTOARELOR ELECTRICE DESTINATE FOLOSIRII ÎN ATMOSFERE EXPLOZIVE DE GAZE, VAPORI


**Dr. ing. Mihai MAGYARI**
INCD – INSEMEX Petroşani



**Drd. ing. Sorin BURIAN**
INCD – INSEMEX, Petroşani



**Dr. ing. Martin FRIEDMANN**
INCD – INSEMEX, Petroşani



**Dr. ing. Lucian MOLDOVAN**
INCD – INSEMEX, Petroşani





**REZUMAT. Scopul lucrarii este de a efectua o analiza critica asupra celor mai importante cauze care conduc la transmiterea exploziei ( transferul aprinderii ), in timpul incercarilor de tip privind netransmiterea unei aprinderi interne la motoarele electrice destinate folosirii in atmosfere potential explozive de gaze, vapori, ceturi cu aer. In prima parte a lucrarii sunt prezentate criteriile tehnice care stau la baza cercetarii capsularilor antideflagrante, si anume: rezistenta mecanica a capsularilor functie de presiunile interne de explozie, pe de o parte, si proprietatile capsularilor antideflagrante in cea ce priveste netransmiterea unei aprinderi interne, pe de alta parte. In continuare se prezinta cateva consideratii teoretice cu privire la studiul procesului transmiterii exploziei, observandu-se dependenta importanta a vitezei de reactie si a temperaturii de concentratia gazelor din amestec. In ultima parte a lucrarii sunt prezentate metodele de cercetare a performantelor antideflagrante ale capsularilor de motoare electrice folosite in laboratorul de profil al INSEMEX Petrosani, precum si principalele concluzii care se desprind din analiza efectuata.**



**Cuvinte cheie:** capsulare antideflagranta, motoare electrice, netransmitere a unei explozii.



**ABSTRACT. The purpose of the present paper is to perform a critical analysis over the most important causes that lead to the explosion transmission ( ignition transfer ), during the type tests for the non transmission of an internal explosion, in the case of electric motors designed to be used in potentially explosive atmospheres of gases, vapors or mists with air. In the first part of the paper there are presented the technical criteria which lay at the basis of the researches regarding flameproof enclosures, that is: the mechanical resistance of the enclosures, function of the maximum explosion pressures, on one hand, and the features of the flameproof enclosures as regards the non transmission of an internal explosion, on the other hand. Further on, there are presented several theoretical aspects regarding the study of the process of ignition transfer, observing the important dependency of the reaction speed and temperature with the concentration of the explosive mixture. The last part of the paper presents some means of research of the performances of the flameproof enclosures of electrical motors, used in the specialized laboratory of INSEMEXPetrosani, as well as the main conclusions which can be drawn after the performed analysis.**



**Key words:** flameproof enclosure, electrical motor, ignition transfer.


## 1. INTRODUCERE

Motoarele electrice cu tipul de protecție capsulare antideflagrantă trebuie să corespundă următoarelor verificări şi încercări de tip, pentru a putea fi certificate în vederea punerii pe piață: încercarea privind determinarea presiunii maxime de explozie (presiunii de referință), încercarea la suprapresiune, încercarea privind netransmiterea unei aprinderi interne.

## 2. CRITERII TEHNICE FOLOSITE PENTRU CERCETAREA CAPSULĂRILOR ANTIDEFLAGRANTE

### 2.1. Rezistența mecanică a capsulărilor în funcție de presiunile interne de explozie

Presiunea maximă internă dezvoltată prin aprinderea unui amestec exploziv cu aer în capsulare depinde direct de volumul de gaze care se descarcă prin interstițiile de la îmbinări şi prin alte dispozitive de descărcare, dacă acestea există. Totuşi interstițiile îmbinărilor nu pot fi prevăzute pentru descărcarea presiunilor de explozie şi ele trebuie asigurate, la dimensiunile de securitate la care este prevenită transmiterea exploziei la atmosfera ambiantă. Capsularea trebuie să suporte presiunea de explozie fără supralărgirea interstițiilor îmbinărilor. În scopul verificării rezistenței la presiune se fac determinările concrete cu amestecuri explozive la fiecare tip de capsulare şi se măsoară presiunea maximă de explozie, după care se verifică rezistența mecanică şi supralărgirea interstițiilor îmbinărilor prin expunere la suprapresiune cu factorul de securitate 1,5 ori.

Determinările experimentale de presiune au scos în evidență următoarele:

- volumul recipientului de explozie nu influențează presiunea maximă dacă pierderile de căldură la pereții recipientului sunt neglijabile;
- rata de creştere a presiunii scade dacă volumul creşte;
- forma recipientului de explozie nu influențează presiunea maximă de explozie dacă raportul dimensiunilor pe diferite direcții nu este mai mare de 2:1 şi este gol;
- variația presiunii inițiale din recipientul de explozie duce la modificarea direct proporțională a presiunii maxime de explozie şi a ratei de creştere a presiunii;
- variațiile de temperatură duc la modificări în sens invers ale presiunii şi ratei de creştere.

### 2.2. Proprietățile capsulărilor antideflagrante în ceea ce priveşte netransmiterea unei aprinderi interne

În prima fază a fost determinată distanța de stingere ca noțiune ce reprezintă lungimea traseului pe care o deflagrație trebuie să fie răcită astfel încât să se prevină propagarea exploziei la exteriorul capsulării. Totuşi, deşi concepția cu privire la această distanță este extrem de clară, din cercetări a rezultat că există o distanță considerabil mai mică la care de asemenea nu se propagă explozia. Motivația parțială rezultă din răcirea (în altă parte decât pe flanşele traseului) datorită destinderii adiabatice precum şi datorită substanțelor combustibile şi a jetului de gaze ce iese printre flanşe (prin antrenare).

Din cercetările efectuate atât pe plan intern cat si pe plan international, au rezultat următoarele:

- interstițiul experimental maxim de securitate (MESG) creşte când volumul scade deoarece pierderile de căldură sunt predominante în capsulari mici. Pe acest considerent sunt prevăzute interstiții mai mari pentru capsulări mai mici la aceleaşi lățimi de îmbinare.
- garniturile sau O-ringurile folosite pentru asigurarea gradului normal de protecție IP al capsulărilor antideflagrante nu trebuie să determine niciun efect semnificativ asupra siguranței capsulărilor şi nu trebuie să fie incluse pe suprafața îmbinărilor antideflagrante.
- toate determinările se referă la construcția metalică a îmbinărilor antideflagrante dar nu există încă informații certe că numai această construcție este importantă.
- interstițiul uzual industrial rezultat între îmbinări plane prelucrate, asamblate cu şuruburi fără garnitură se află în domeniul antideflagrant.
- procesul de stingere a exploziilor printr-o îmbinare antideflagrantă este un proces turbulent şi nu poate fi tratat ca un fenomen simplu de laminare; noțiunile „interstiții sau suprafețe de laminare" sunt nespecifice capsulărilor antideflagrante şi trebuie folosite noțiunile „interstiții sau îmbinări antideflagrante".

## 3. PROCESUL TRANSMITERII EXPLOZIEI

La încercările experimentale cu amestecuri explozive s-a observat dependența importantă a vitezei de reacție şi a temperaturii de concentrația gazelor din amestec. Chiar dacă nu se schimbă presiunea maximă, se modifică rata de creştere a presiunii.

Foarte semnificativă în procesul de explozie este influența răcirii. Prin extragere de căldură de ardere, limitele de aprindere se apropie şi viteza de reacție scade.

Într-un mod mai simplu, fenomenul poate fi studiat la arderea într-un tub în regim staționar. Poate fi determinată experimental o anumită rază critică de propagare funcție de căldura cedată. În mod simplificat procesul arderii poate fi studiat pe modelul unidimensional Mayer. In acest model se consideră o ardere staționară într-un tub de reacție de lungime mare secționat prin 2 planuri îndepărtate. Bilanțul energetic are următoarea relație:

$$\rho_1 \cdot v_0 \left(\overline{c}_p \cdot T_1 + Q\right) = \\ = \rho_e \cdot v_e \cdot c_p \cdot T_e + \rho_1 \cdot v_0 \cdot \overline{c}_p \cdot T_v \qquad (1)$$

unde: $\rho_1$ este densitatea la $T_1$; $Q$ – căldura de reacție disponibilă; $v_0$ – viteza de ardere fără pierderi; $v_e$ – viteza gazelor emise fără pierderi; $T_1$ – temperatura gazului proaspăt; $T_v$ – temperatura gazelor emise cu pierderi.

Dacă se extrage din reacție cantitatea $Q_e$, de căldură, se schimbă $v_0$ în $v_v$ şi relația devine:

$$\rho_1 \cdot v_0 \left(\overline{c}_p \cdot T_1 + Q\right) - \rho_1 \cdot v_v \cdot c_p \cdot T_v - Q_e = 0$$
$$Q_e = \rho_1 \cdot \overline{c}_p \cdot v_v \cdot \left(Te - T_v\right) \quad (2)$$

unde: $v_v$ este viteza de reacție cu pierderi.

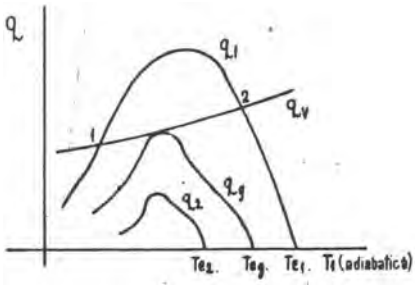
Folosind expresia $v^2 = A^2 \cdot e^{\frac{-2B}{T_e}}$ :

$$Q_e = \rho_1 \cdot c_p \cdot A \cdot \left(T_e - T_v\right) \cdot e^{\frac{-B}{T_e}} \quad (3)$$

unde $A$ şi $B$ sunt factori de conversie.

Grafic această expresie prezintă un maxim la o anumită temperatură, având în stânga o ramură stabilă şi în dreapta coborâtoare nestabilă. În figura 1 se exemplifică grafic curba pentru pierderea posibilă de căldură, unde $Q_1$ reprezintă limita maximă. Dacă există un mecanism anume pentru a extrage căldură într-un mod dependent de temperatura finală adiabatică, atunci se obține o curbă $Q_v$ care intersectează pe $Q_1$ în punctele *1* şi *2* determinând cele două limite de aprindere ale amestecului în aceste condiții de răcire. Poate fi demonstrat că există o limită de căldură extrasă la care nu au mai există ardere ($Q_v$ nu mai intersectează $Q_1$), deci reacția nu se mai propagă. Limita de propagare depinzând de temperatura finală adiabatică a arderii şi deci de compoziție, este reprezentată de o curbă tangentă la $Q_v$. Curba $Q_g$ tangentă la $Q_v$ în figura 1 reprezintă deci limita de extragere a căldurii şi limitele de aprindere funcție de răcire.

**Fig. 1**




În situația reală cantitatea de căldură cedată depinde de suprafața relativă care extrage căldura. Pe modelul unidimensional cedarea creşte cu micşorarea diametrului tubului şi limitele de aprindere se apropie până se ajunge la un diametru critic la care propagarea nu mai are loc şi reacția staționează în punctul de inițiere. Pentru diametrul critic rezultă următoarea relație:

$$d_{cr} = K \cdot \frac{\overline{u}}{\rho_1 \cdot c \cdot v} \cong \frac{\overline{x}}{v} \quad (4)$$

unde: $K$ este constanta de proporționalitate; $\overline{u}$ – capacitatea de transmitere a căldurii (W/m·K); $v$ – viteza arderii (m/s); $\rho_1$ – densitatea gazului (kg/m$^3$ ); $c_p$ – căldura specifică (J/kg·K); $\overline{x}$ – conductibilitatea termică a gazului.

Dacă se exprimă:

$$v = \frac{\overline{r}}{t_r}$$

unde $\overline{r}$ este grosimea zonei de reacție; $t_r$ – timpul de reacție.

Rezultă $\frac{\overline{x}}{v}$ aproape proporțională cu $\overline{r}$ deci relația (4) poate fi scrisă

$$d_{cr} = const.\overline{r} \quad (5)$$

Prin urmare diametrul critic al tubului de reacție depinde direct de posibilitatea de extindere a zonei de reacție pe traseul tubului în condițiile arderii. Deci limitele de aprindere se deduc prin interacțiunea dintre ardere şi mediul ambiant. Nu poate fi neglijabilă nici influența aparaturii care se foloseşte la determinare şi se ştie că, limitele de aprindere pot fi măsurate numai în condițiile stabilite prin metoda de determinare. Se mai observă că propagarea arderii nu mai este posibilă când temperatura finală scade sub valoarea critică sau când viteza de reacție se reduce sub o anumită limită. Într-o formă mai completă, expresia diametrului critic trebuie scrisă funcție de proprietățile arderii şi anume:

$$d_{cr} = 2 \cdot \frac{x}{v} \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot e \cdot E}{R \cdot T}} \quad (6)$$

şi în mod analog:

$$g_{cr} = 2 \cdot \frac{x}{v} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot E}{R \cdot T}} \quad (7)$$

unde: $E$ este energia de activare (cal/Mol); $S$ – constanta universală a gazelor; $T$ – temperatura de ardere (°K); $x$ – conductibilitatea termică (m$^2$ /s); $v$ – viteza de propagare (m/s); $d_{cr}$ – diametrul critic al tubului (m); $g_{cr}$ - interstițiul critic pentru propagarea arderii în spațiul dintre 2 flanşe (mm).

Aceste relații determinate experimental pot fi aplicate la studierea transmiterii exploziei la diferite amestecuri de gaze-aer în capsulări sferice sau similare. Totuşi, procesul de transformare adiabatică şi turbulența frontului de propagare se modifică în mod semnificativ în cazul capsularilor cu forme geometrice complicate care diferă mult de forma sferică sau în cazul capsulărilor divizate prin echipamentul interior. Efectul turbulenței suplimentare ce apare în aceste cazuri se poate observa după influența poziției punctului de inițiere. Diametrul critic nu depinde numai de caracteristicile amestecului ca în cazul unei sfere, şi se modifică într-o relație inversă cu presiunea dinamică a arderii. Expresia (7) devine:

$$d_{cr} \cong \frac{A}{p^n} \quad (8)$$

unde: $p$ este presiunea, dinamică; $A$ – factor de conversie; $n$ – un factor natural al aparaturii folosite.

Dacă turbulența crește, presiunea dinamică scade și $d_{cr}$ crește. Turbulența depinde la rândul ei de viteza de reacție, de produsele arderii și de rezistența întâmpinată la propagare. Poate fi demonstrat că poziția punctului de inițiere nu trebuie să fie întâmplătoare și determină valoarea pentru $d_{cr}$ sau $g_{cr}$ în cazul capsulărilor care se îndepărtează de la forma sferică și în cazul amestecurilor explozive cu hidrocarburi - aer.

## 4. METODE DE CERCETARE A PERFORMANȚELOR ANTIDEDFLAGRANTE

**Determinarea antideflagranței** Antideflagranța este determinată de presiunea de explozie nu numai prin efectul ei asupra procesului de transformare dar și pe altă cale, prin efectele mecanice pe care le are asupra îmbinărilor antideflagrante. Conform SR EN 60079-1-1, MESG este determinat în condițiile unor flanșe nedeformabile. La aplicațiile practice, flanșele pot fi deformate sub efectul presiunii de explozie, lărgind interstițiul pe durata exploziei. Metoda de verificare a performanțelor antideflagrante prevede expunerea directă a fiecărui tip de capsulare antideflagrantă la efectele exploziei interne într-un amestec exploziv, ambiant tocmai cu scop de a se verifica și efectul deformărilor reversibile. Lărgimea interstițiilor este o variabilă în funcție de presiunea de explozie interioară. Pot fi și îmbinări complet rigide dar în general la capsulări cu suprafețe semnificative expuse la presiune intervin deformări și nu poate fi determinată antideflagranța numai prin simple măsurători dimensionale fără o încercare a tipului concret de capsulare în amestecuri explozive.

Conform prescripțiilor standardizate, verificarea antideflagranței este prevăzută cu amestecuri explozive supraactivate privind transmiterea aprinderii cu un coeficient de siguranță de cca. 1,5 ori față de amestecul gaz-aer pentru care este destinată capsularea. Acestea se numesc amestecuri explozive pentru verificarea netransmiterii unei aprinderi interne și diferă de amestecurile folosite pentru încercarea de tip la suprapresiune, Amestecurile explozive pentru antideflagranță permit verificarea MESG cu factorul de securitate 1,5.

## 5. CONCLUZII

Principala problemă care apare în mod sistematic atunci când se încearcă capsulări de motoare antideflagrante se referă la interpretarea vârfurilor de presiune, care înseamnă presiunea dezvoltată anormal ca rezultat al ratei accelerate de ardere a amestecului exploziv gaz - aer. Fenomenul este foarte frecvent în cazul capsulărilor care conțin configurații restrictive în interior. În general se recunoaște că acest fenomen poate apărea oricând capsulările sunt divizate fie prin pereți interiori, fie prin echipamentul electric încapsulat. Prescripțiile de încercare din standardele internaționale (CEI, EN) nu conțin însă nici un criteriu după care să se diferențieze amploarea vârfurilor de presiune la determinarea presiunii de referință, deși aceste vârfuri de presiune, funcție de amploarea lor pot fi dăunătoare pentru rezistența mecanică a capsulării. Și în această situație experiența stației de încercare are un rol foarte important. Cele mai dese manifestări ale fenomenului vârfurilor de presiune au fost semnalate la încercările mașinilor electrice rotative (în special la motoarele de gabarite mici), cu ventilație interioară. Aceste mașini se caracterizează prin existența așa-numitului întrefier dintre stator și rotor, precum și a ventilatorului pentru răcire montat pe axul mașinii, la unul din capete, și care provoacă o circulație forțată a aerului în interior. Într-o formă simplificată, capsularea unei mașini electrice se prezintă ca un ansamblu de două compartimente care comunică între ele prin canalele de ventilație și prin întrefier. La explozie se măsoară o presiune anormal de mare într-unul dintre compartimente și dacă nu rezultă presiune mai mare oricum se constată o rată de creștere mult mai rapidă a presiunii (dp/dt), atunci când inițierea aprinderii are loc în compartimentul opus. Acest fenomen s-a constatat ca este determinat de turbulența mai accentuată și de precomprimarea amestecului exploziv sub efectul transmiterii exploziei între compartimente prin porțiunea restrictivă a canalelor de ventilație și a întrefierului.

Toate încercările efectuate de-a lungul timpului în laboratorul de specialitate al INSEMEX Petrosani, asupra capsulărilor de motoare au scos în evidență faptul că acest fenomen (precomprimarea) este responsabil pentru transmiterea (transferul) aprinderii la atmosferă explozivă exterioară în timpul încercărilor privind netransmiterea unei aprinderi interne.

## BIBLIOGRAFIE

[1] **Geoffrey Bottrill., Derek Cheyne., G. Vijayaraghavan,** *Practical electrical equipment and installations in hazardous areas.* Editura Elsevier, 2005.

[2] **Huhulescu M. , Iliescu D.** *Aparate electrice antiexplozive si antigrizutoase de joasa tensiune.* Editura Tehnica, Bucureşti, 1983.

[3] **Magyari M.,** *Considerations regarding the Application of ATEx Directives to Power Drive Systems.* SESAM 2009, Felix, Oradea.

[4] **Wolfhard, H.G., Bruszak A.E.,** Passage of Explosions Through Narrow Cylindrical Channels. *Combustion and Flame*, vol 4.

[5] SR EN 60079-1: Atmosfere explozive. Partea 1: Echipamente protejate prin carcase antideflagrante „d".