

Proiect: PN-III-P2-2.1-PTE-2019-0213- MUNIȚII DE TIP CONTRAMĂSURĂ TERMICĂ CU COMPOZIȚIE PIROTEHNICĂ SPECTRALĂ INOVATIVĂ FLARE PENTRU TOATE TIPURILE DE AERONAVE DIN DOTAREA FORȚELOR AERIENE (ACRONIM CHIMERA) – 59PTE/2020

RELEVANȚA PROIECTULUI

Scopul proiectului îl reprezintă dezvoltarea capacității de fabricare, la nivel industrial, a **munițiilor de tip contramăsură termică (FLARE)**, prin **transfer tehnologic** și **Know-how**, de la **Centrul de Cercetare Științifică pentru Apărare CBRN și Ecologie (Partenerul 1)** la **CN Romarm SA (Coordonator)** – unul dintre cele mai mari companii din industria de apărare din Europa de Est - care va asigura implementarea acestui proiect în cadrul unei filiale a CN ROMARM SA specializată pentru fabricația, dezvoltarea și omologarea ulterioară a acestui tip de echipament militar - Uzina Mecanică Ploeni, în scopul asigurării **necesarului de înzestrare al Forțelor Aeriene Române** (instrucție, stoc) cât și pentru **beneficiari externi**.

Obiectul transferului tehnologic îl reprezintă **muniția rectangulară standard NATO de tip 1x1x8 inch și respectiv 2x1x8 inch**, compatibilă cu sistemele de lansare din dotarea tuturor tipurilor de aeronave din dotarea Forțelor Aeriene Române (IAR 330 PUMA și PUMA SOCAT, MIG 21 Lancer, F-16MLU 5.2R, C-27J Spartan, C-130B Hercules, Antonov AN 30, IAR 99 ȘOIM) și a aeronavelor partenerilor din cadrul Alianței Nord Atlantice.

Prin atingerea obiectivelor tehnico-științifice ale proiectului CHIMERA, se va asigura creșterea **capacității și competitivității economice** a operatorului industrial, transferul tehnologic asigurând asimilarea în fabricație a unui **produs de înaltă complexitate, de importanță strategică și cu un potențial de piață ridicat**, produs care la momentul actual este fabricat de un **număr restrâns de producători** din Europa și din lume. În corelație cu **stadiul actual pe plan internațional**, compoziția pirotehnică de tip contramăsură termică **FLARE dezvoltată de P1**, posedă următoarele **avantaje și caracter inovativ**:

1. Utilizarea în compoziție a **hexaminei (urotropinei)**, cu rol de carburant, aceasta având atât un conținut ridicat de azot (40% masic) cât și o densitate energetică ridicată (30MJ/kg). Producții de ardere ai hexaminei sunt în totalitate gazoși, fapt ce va diminua emisia generată de particule fierbinți (conduc la scăderea raportului θ) și totodată hexamina este disponibilă în cantități mari, la un preț relativ scăzut. Utilizarea **hexaminei** în compoziții de **tip contramăsură termică** prezintă **caracter de noutate pe plan mondial**.

2. Utilizarea ca **liant al poliuretanului**, este o urmare a calității acestuia, fiind un material rezistent la factorii oxidativi și termici specifici depozitării de lungă durată. Acest material posedă avantajul punerii în formă prin utilizarea tehnologiei **squeeze-casting (presare în stare semilichidă)** conducând la obținerea unor calupi pirotehnici **cu geometrie complexă** și implicit suprafață de combustie mare cât și cu **proprietăți mecanice deosebite** – s-au înregistrat valori remarcabile ale rezistenței la tracțiune, încovoiere, comprimare și vibrații.

3. Înlocuirea în compoziție a **magneziului**, utilizat în compozițiile clasice, cu **magnaliu (aliaj magneziu-aluminiu)**, acesta conducând la **creșterea intensității radiative** și a **vitezei de combustie**.

DATE IDENTIFICARE PROIECT

- ▶ **AUTORITATE CONTRACTANTĂ** - Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării;
- ▶ **PROGRAM** - P2-Creșterea competitivității economiei românești prin cercetare, dezvoltare, inovare;
- ▶ **SUBPROGRAM** - Subprogramul 2.1. - Competitivitate prin cercetare, dezvoltare și inovare – **PROIECT DE TRANSFER LA OPERATORUL ECONOMIC;**
- ▶ **DIRECTIA DE CERCETARE** - Spațiu și Securitate;
- ▶ **TITLUL PROIECTULUI** - Muniții de tip contramăsură termică cu compoziție pirotehnică spectrală inovativă –FLARE pentru toate tipurile de aeronave din dotarea Forțelor Aeriene;
- ▶ **COD DE IDENTIFICARE** - PN-III-P2-2.1-PTE-2019-0213;
- ▶ **CONTRACT** – 59 PTE/ 07.09.2020;
- ▶ **ACRONIM** - CHIMERA;
- ▶ **COORDONATOR PROIECT** – Compania Națională ROMARM SA – CN ROMARM SA;
- ▶ **PARTENER 1** - MINISTERUL APĂRĂRII NAȚIONALE prin Centrul de Cercetare Științifică pentru Apărare CBRN și Ecologie;
- ▶ **DIRECTOR PROIECT** – Ing. Adrian-Mircea PENE ;
- ▶ **FINANTARE** - Bugetul national prin P2-Creșterea competitivității economiei românești prin cercetare, dezvoltare, inovare, Subprogramul 2.1. - Competitivitate prin cercetare, dezvoltare și inovare – **PROIECT DE TRANSFER LA OPERATORUL ECONOMIC – Competiția 2019;**
- ▶ **COFINANTARE** – Surse proprii;
- ▶ **VALOAREA TOTALĂ A CONTRACTULUI** -1.714.616 lei, din care:
 - Sursa 1 – de la bugetul de stat – 1.189.000 lei;
 - Sursa 2 – din alte surse (cofinanțare) – 526.616 lei;

PREZENTAREA CONSORȚIULUI

I. ORGANIZAȚIILE PARTENERE ÎN PROIECT

COORDONATOR PROIECT: Compania Națională ROMARM SA – CN ROMARM SA;

DIRECTOR PROIECT: Ing. Adrian-Mircea PENE;

PARTENER 1: În MINISTERUL APĂRĂRII NAȚIONALE prin Centrul de Cercetare Științifică pentru Apărare CBRN și Ecologie;

RESPONSABIL DE PROIECT: Dr. Ing. Cristiana EPURE;

II. DURATA PROIECTULUI - 24 luni;

DATE DESPRE PARTENERI



CO-Compania Nationala ROMARM SA, cu sediul în București, Bulevardul Timisoara nr. 5B, Sector 6, Cod 061301, tel: +4-021-3171971, fax: +4-021-3171984, <http://www.romarm.ro>, e-mail: office@romarm.ro, înregistrata la Registrul Comertului nr. J40/10841/2000,

Cod fiscal 13554423, cont bancar IBAN: RO46TREZ7005069XXX000404, Trezoreria A.T.C.P. Mun. Bucuresti, reprezentata prin **Director General Gabriel ȚUȚU**, **Director Economic Florentina MICU** și **Director de Proiect Adrian-Mircea PENE**, tel: +4-021-3171971, fax: +4-021-3171984, tel. mobil: 0723-438-340 e-mail: ampene61@gmail.com;



P1 - Ministerul Apărării Naționale, prin Centrul de Cercetare Științifică pentru Apărare CBRN și Ecologie, cu sediul în București, Șos. Olteniței, nr. 225, sectorul 4, Cod 040309, tel: 021.332.11.99, fax: 021.332.21.15, e-mail: office@nbce.ro, cod fiscal 4193044, cont bancar IBAN: RO20TREZ70420E332000XXXX, Trezoreria Sectorului 4, reprezentata prin **Director col.dr.ing. Gabriel EPURE**, **Contabil șef lt.col. Ionel IVAN** si **Responsabil de proiect Dr. Ing. Cristiana EPURE**, tel. 0721346196, Fax: 021.332.21.15, email: cristiana.epure@nbce.ro;

OBIECTIVELE SI ETAPELE DE REALIZARE ALE PROIECTULUI

Obiectivul 1. Dezvoltarea, prin transfer tehnologic de la *Centrul de Cercetare pentru Apărare CBRN și Ecologie*, denumit în continuare P1 la CN ROMARM SA denumită în continuare CO - a produselor: „**Muniție rectangulară contramăsură termică de tip FLARE 1x1x8 inch**”, denumită în continuare „**FLARE 1x1x8**” și a „**Muniției rectangulare contramăsură termică de tip FLARE 2x1x8 inch**”, denumită în continuare „**FLARE 2x1x8**”, la nivel **prototip industrial**, procesul fiind implementat în locații acreditate de MAPN ca spații speciale, cu înalt grad de securitate, în care se efectuează activitățile de fabricație și testare a munițiilor la filiala din teritoriu a CN ROMARM SA - Uzina Mecanică Plopeni. Acest obiectiv va fi realizat prin transferul specificației de dezvoltare și a celei de fabricație (valabil prototip de cercetare) și adaptarea acestora la cerințele NATO, în ceea ce privește gradul de performanță și caracteristicile de siguranță ale muniției. Pentru dezvoltarea produsului, P1 va implica în proiect resurse umane cu **experiență și expertiză înaltă în domeniul produselor pirotehnice** și va pune la dispoziție infrastructură de cercetare de înaltă tehnologie, necesară pentru dezvoltarea acestor **produse complexe și specializare inteligentă**.

Obiectivul 2. Dezvoltarea tehnologiei și realizarea instalației de fabricație a produselor FLARE 1x1x8 și 2x1x8, la **nivel industrial**, pentru o capacitate de producție de **96000** de bucăți anual, folosind tehnologii cu **grad ridicat de siguranță**, prin dezvoltarea unor **procese industriale integrate inovative**, pe *instalatii si utilaje High-Tech*. Acest obiectiv impune implicarea în proiect, din partea CO, a tehnologilor și a specialiștilor în securitate pirotehnică din cadrul CN ROMARM SA - Uzina Mecanică Plopeni, colectivul de specialiști din cadrul filialei având o vastă și îndelungată experiență în fabricația munițiilor și a produselor pirotehnice pentru industria de apărare.

Obiectivul 3. Fabricarea și testarea produselor FLARE 1x1x8 și 2x1x8, la nivel industrial - serie 0. Produsele vor fi realizate și testate în conformitate cu ultimele **evoluții și cerințe existente la nivel internațional**, urmărind asigurarea caracteristicilor de **siguranță și performanță** ale produsului, în conformitate cu **standardele NATO**, ceea ce va permite validarea tehnologiei industriale de fabricație. Pentru atingerea acestui obiectiv, lotul industrial - serie 0 va parcurge un amplu **program de testare-evaluare de dezvoltare** ce va cuprinde evaluarea conformității și compatibilității produsului, parcurgerea testelor mecano-climatice, a siguranței în depozitare și în exploatare, cât și evaluarea caracteristicilor de performanță prin testare operațională.

Obiectivul 4. Stabilirea unui parteneriat durabil între P1 și CO în vederea desfășurării de activități de transfer tehnologic și de know-how, prin **creșterea investițiilor CO în cercetare-dezvoltare**, în scopul dezvoltării, în colaborare, a unor **produse de înaltă specializare**, aflate în tendințele ultimelor evoluții în sfera înzestrării armatelor moderne.

REZULTATE PRECONIZATE SI DISEMINAREA ACESTORA

Rezultate așteptate

Nivelul de maturitate tehnologică la sfârșitul proiectului va fi cel puțin de nivel **TRL 6** (se încearcă atingerea **nivelului TLR7**), proiectul finalizându-se cu testarea și evaluarea de dezvoltare a unui **lot serie 0**, a **câte 500 muniții FLARE 1x1x8 și 2x1x8**, obținute pe **instalația de fabricație** a produsului dezvoltată în cadrul proiectului. Programul de testare-evaluare de dezvoltare va cuprinde și etapa de testare în condiții **mecano-climatice relevante**, ce simulează condițiile operaționale, după cum urmează:

- **Testări climatice specifice regimului de zbor și depozitare** (temperaturi pozitive și negative extreme, expunere la rafale de ploaie și gheață, cicluri termice/umiditate diurne/sezoniere) și testarea prin trageri după condiționarea muniției la aceste condiții climatice, conform **NATO AECTP 300–Climatic enviromental tests**;

- **Teste mecanice cu privire la siguranța în depozitare și manipulare** (caderi accidentale, vibrații la transport) cât și teste de vibrații în regim de zbor supersonic, urmate de teste prin trageri după expunerea la aceste condiții, conform **NATO AECTP 400 – Mechanical enviromental tests**;

Proiectul se va finaliza cu omologarea produsului cu MapN, în scopul admiterii acestuia la testare operațională (teste în zbor). Considerăm că prin **testarea în condiții mecano-climatice și de sistem** (container dispensor, sistem de dare a focului preluat de pe aeronavă) **ce simulează condițiile reale de utilizare, folosind pentru testare lotul serie 0 realizat în mediu industrial**, proiectul va atinge la sfârșit cel puțin nivelul de maturitate tehnologică **TRL 6**.

Pentru a atinge nivelul de maturitate tehnologică dorit, în cadrul proiectului vor fi găsite soluții pentru următoarele **provocări tehnologice**:

1. Asigurarea **securității pirotehnice** la fabricarea și punerea în formă a compozițiilor cât și la asamblarea muniției. Acest deziderat va fi atins prin proiectarea unei linii de fabricație **automatizate**, ce va exclude prezența personalului la desfășurarea **operațiunilor deosebit de periculoase** (dozarea pulberilor, amestecarea uscată a acestora, presarea compoziției în matrițe) cât și utilizarea unei infrastructuri de tip anti-ex, ce va permite lucrul în condiții de siguranță la asamblarea muniției;
2. **Dezvoltarea** unei linii de formare prin injecție a **pistonului ejector**, din polietilenă de înaltă densitate HDPE. Pistonul ejector prezintă o importanță deosebită pentru funcționarea corespunzătoare și în **siguranță a muniției**, deoarece acesta asigură evacuarea coformă a calupului pirotehnic din dispensor și totodată conține mecanismul de siguranță pentru prevenirea aprinderii premature a calupului pirotehnic. Acest piston prezintă o geometrie complexă și se impune a fi realizat la **cote cu toleranțe foarte strânse**, pentru a preveni scăparea gazelor de propulsie pe lângă calupul pirotehnic.

Totodată, pistonul ejector trebuie realizat dintr-o **formulație** de tip HDPE care să asigure condiții de funcționare conformă la **temperaturi extreme**, specifice regimului de zbor la altitudini mari și totodată să își păstreze caracteristicile o perioadă de minim 5 ani de la asamblarea muniției.

3. **Dezvoltarea** unei instalații de formare a calupilor pirotehnici. Această instalație va constitui nucleul liniei de fabricație și va fi proiectată astfel încât în această să se realizeze dozarea și turnarea compoziției în matrițe cât și presarea în stare semilichidă. Pentru a obține o productivitate corespunzătoare mediului industrial (minim 400 calupi/zi), aceasta trebuie proiectată să realizeze operațiunile amintite în mai multe cuiburi (minim 10) și să asigure temperatura necesară reticulării liantului polimeric într-un timp redus.

Drepturile de difuzare a rezultatelor

1. Rezultatele obținute în cadrul proiectului vor fi diseminate de către toți membrii consorțiului prin prezentarea produsului la expoziții tehnico-științifice, publicarea de articole științifice, participarea la conferințe, etc. La nivelul anului 2020 **diseminarea** va consta în publicarea a min.două **articole științifice** în reviste de specialitate (International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion; Pyrotechnics, Explosives and Propellants; Journal of Energetic Materials; Central European Journal of Energetic Materials) și o participare cu poster/prezentare/articol la o conferință de specialitate cu participare internațională (New Trends in Research of Energetic Materials – NTREM sau Greener and Safer Energetic and Ballistic Systems – GSEBS).

Brevetarea soluțiilor tehnologice inovative – de către CO în colaborare cu P1, prin elaborarea și depunerea documentației necesare înregistrării în anul 2021 cel puțin a unei cereri de brevet de invenție la OSIM pe tematica proiectului CHIMERA.

2. **Coordonatorul proiectului va avea drept de proprietate industrială asupra produsului (drept de fabricație și comercializare a produsului, fără înstrăinarea sau licențierea produsului către terți, fără aprobarea M.Ap.N.).** În relațiile comerciale cu M.Ap.N. privind produsul transferat, coordonatorul proiectului nu va percepe marje de profit mai mari de 5%. În cazul unor comenzi concurente privind produsul transferat, **CN ROMARM SA-Filiala UM Plopeni** se obligă să preia cu prioritate comenzile Ministerului Apărării Naționale, în defavoarea altor clienți.

Rezultate Etapa I

Sinteza cheltuielilor

Natura cheltuielilor		Cheltuieli Etapa I - 59PTE - Lei		
		Buget de stat	Cofinanțare	Total
1	Cheltuieli cu personalul	224.101	6.080	230.181
2	Cheltuieli cu logistica din care:	100.256	76.319	176.575
	2.1. Cheltuieli de capital/Echipamente		0	0
	2.2. Cheltuieli privind stocurile	91.322	76.319	167.640
	2.3. Cheltuieli cu serviciile executate de terți	8.934	0	8.934
	2.3.1 Cheltuieli de subcontractare		0	0
	2.3.2 Alte cheltuieli cu serviciile executate de terți	8.934	0	8.934
3	Cheltuieli de deplasare		936	936
4	Cheltuieli indirecte (regia)	47.643	14.567	62.210
TOTAL		372.000	97.902	469.902

Rezumat date științifice și tehnice

1. Analiza tehnologiei integrate inovative de fabricație a modelului experimental de muniție rectangulară tip Flare pentru fabricația industrială a lotului prototip și transfer tehnologic;

În cadrul acestei activități a fost realizată analiza variantelor tehnologice integrate ale fluxului de fabricație preliminar, pentru realizarea reperelor pirotehnice ale muniției, după cum urmează:

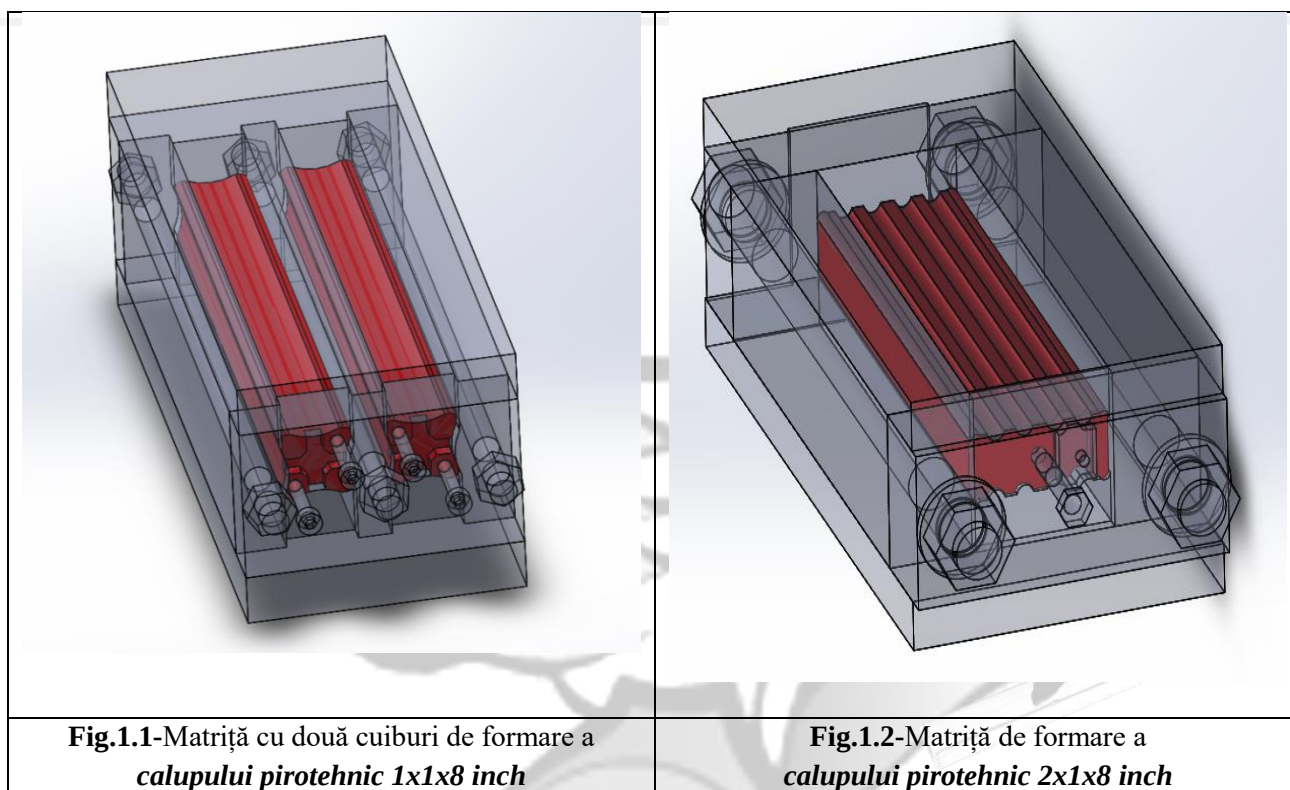
Calupul pirotehnic – Fluxul de fabricație presupune utilizarea în compoziție a unui liant de tip poliuretanic de tip solvent-free, care să permită utilizarea tehnologiei inovative "squeeze-casting". Avantajele realizării calupului prin această tehnologie de fabricație sunt:

-Vascozitate redusă a materiei prime în fluxul de alimentare, liantul găsindu-se în stare primară (nereticulat);

-Presiuni reduse de alimentare, în comparație cu tehnologia de injecție, nefiind necesară umplerea tuturor golurilor, acestea fiind umplute prin contracția materiei, cu ajutorul platanelor de presare;

-Presiune redusă de presare, datorită capacității de expandare a materialului pirotehnic. Prin această abordare se evită formarea unor solicitări mecanice nedorite asupra materialului pirotehnic.

În **Figurile 1.1, 1.2** sunt reprezentate matrițele pentru formarea prin tehnologia "squeeze-casting" pentru calupul pirotehnic 1x1x8 și 2x1x8 inch:



Fluxul tehnologic de fabricație a amorsei pirotehnice a avut la bază proiectarea unei soluții de amestecare, transport și aplicare a amestecului pirotehnic de amorsare în stare lichidă, utilizând un liant solubil. Acest flux tehnologic conferă următoarele avantaje:

- Omogenitate crescută a amestecului pirotehnic;
- Riscuri scăzute asociate stimulilor de tip descărcări electrostatice sau frecare pe timpul formulării, omogenizării, transportului și aplicării amorsei pirotehnice;
- Soluții facile de transport și aplicare a amorsei pirotehnice, bazate pe vâscozitatea scăzută a "pastei" obținută prin solubilizarea liantului;
- Timp de aplicare crescut, ceea ce permite dimensionarea și fabricarea unor șarje mari de amorsă pirotehnică.

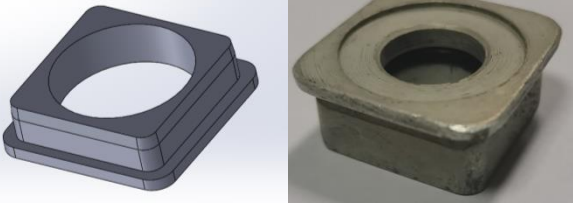
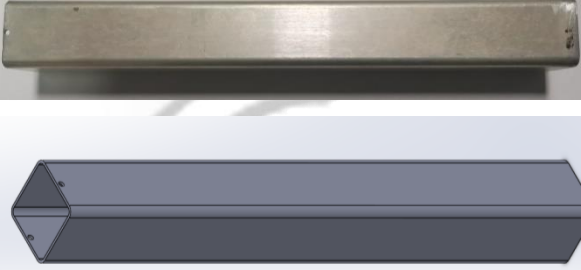
Fluxul tehnologic de fabricare a piroîntârzietorului pirotehnic a fost proiectat astfel încât să asigure o siguranță sporită, în etapa cea mai periculoasă de fabricație, și anume presarea acestuia. Aceste măsuri constau în:

- Utilizarea unei amestecări umede (în solvent volatil) a componentelor;
- Utilizarea unui liant polimeric, pentru minimizarea riscurilor asociate frecării și descărcărilor electrostatice;
- Utilizarea unor matrițe cu canale pentru eliminarea aerului (vaporilor de solvent) în timpul presării, și evitarea comprimării adiabateice a acestuia, cu risc de autoaprindere.
- Utilizarea unui agent de lubrifiere la presarea pastilelor piroîntârzietoare (grafit sau PTFE);

Fluxul tehnologic de de fabricatie pentru realizarea reperelor mecanice ale muniției FLARE a fost ales astfel încât să permită asimilarea unor elemente preformate, disponibile comercial, astfel:

- Utilizarea profilelor rectangulare din aluminiu pentru realizarea pereților tubului cartuş, cu dimenisunea 1x1 inch și 2x1 inch;
- Realizarea fundului de tub cartuş prin frezare automată din prefabricate debitate automat din bară rectangulară de aluminiu (disponibile comercial)
- Sertizarea tuburilor în fundul tubului cartuş are loc automat cu autocentrarea profilului în fundul tubului.

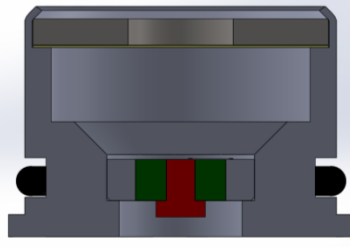
Prefabricatele utilizate la realizarea tubului cartuş sunt prezentate în **Figurile 1.3,1.4**:

	
Fig.1.3-Fund tub cartuş cu degajare pentru autocentrare	Fig.1.4-Tub cartuş obținut prin extrudare la rece a unui profil 1x1 inch, disponibil comercial

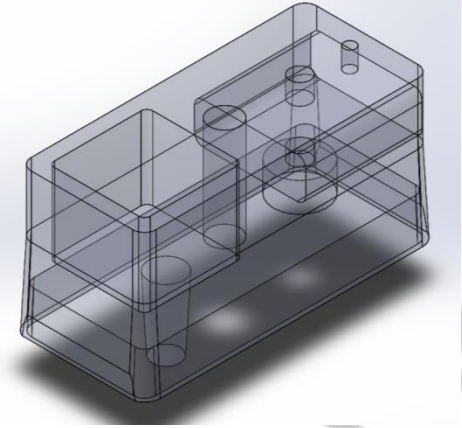
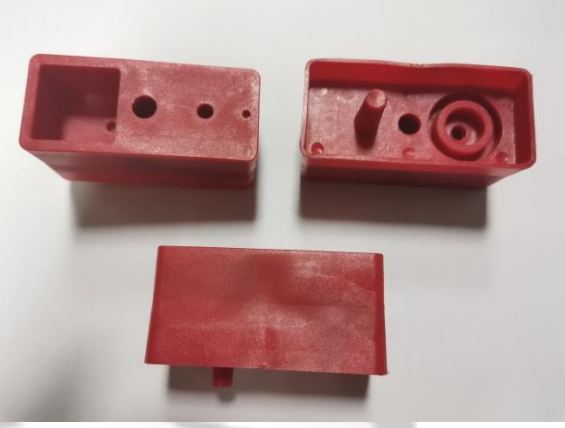
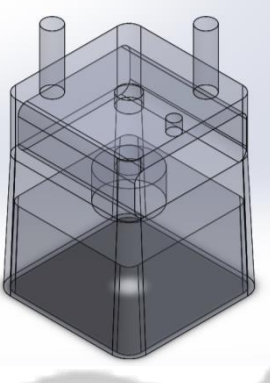
Capsa de aprindere și evacuare se realizează într-un flux tehnologic automat, ce cuprinde operații de debitare și strunjire. Operațiile suplimentare necesare realizării produsului mai presupun operații de sertizare și lipire a reoforului capsei. Operațiile de tratament electrochimic sunt prevăzute a se succede în fazele intermediare de realizare a capsei. Acestea au rol de a preveni coroziunea materialului (aluminiu) dar totodată să pastreze conductivitatea electrică atât a șasiului capsei cât și a pinului central.

Fluxul integrat de fabricație, împreună cu indicațiile cu privire la **documentația tehnologică de fabricație** este prezentată în **Anexa nr. 1** a RST.

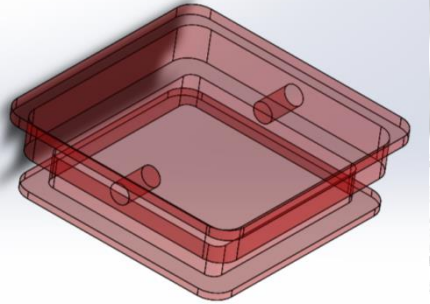
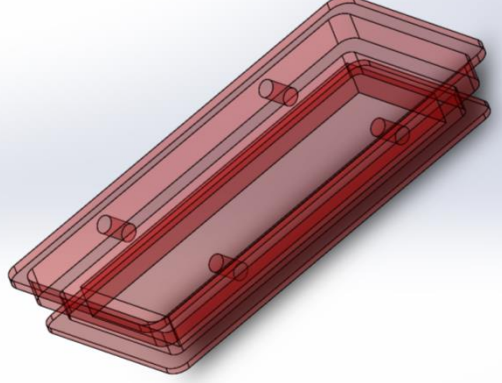
Pentru validarea documentației tehnice și tehnologice de fabricare a elementelor muniției, au fost întreprinse teste de casă, utilizând fluxul tehnologic de fabricație, pentru realizarea următoarelor tuturor elementelor componente ale muniției.

	
Proiectat	Realizat
Fig.1.5-Capsă de aprindere și evacuare realizată în cadrul activității de pregătire a fabricației	

Piston ejector 1x1 inch și 2x1 inch:

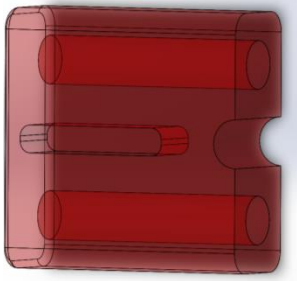
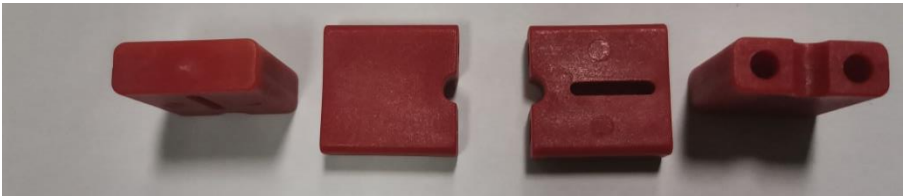
	
	
Proiectat	Realizat
Fig.1.6 - Piston ejector 1x1 inch si 1x2 inch realizat in cadrul activității de pregătire a fabricației	

Capac 1x1 inch și 2x1 inch:

Proiectat	Realizat
Fig.1.7-Capac 1x1 inch și 1x2 inch realizat în cadrul activității de pregătire a fabricației	

Buton de siguranță:

	
Proiectat	Realizat
Fig.1.8-Buton de siguranță realizat în cadrul activității de pregătire a fabricației	

2. Cercetari privind fabricația lotului prototip de munitie FLARE, 1x1x8 inch respectiv 2x1x8 inch, cu caracteristici optimizate, si demonstrarea functionalitatii modelului experimental;

Pentru realizarea calupului pirotehnic cu caracteristici spectrale optime, a fost realizat un studiu experimental bazat pe un model matematic de combustie izobară, împreună cu simulări numerice și teste de combustie pentru amestecul pirotehnic utilizat la fabricarea calupului pirotehnic.

Modelul de combustie izobară este util pentru predicția performanței de ardere în conformitate cu experimentele reale efectuate (combustia atmosferică fără confinare a ajutorului). Modelul se bazează pe presupunerea că arderea unui material energetic are loc fără pierderi de căldură în mediu, fiind un proces adiabatic.

Modelul de combustie izocoră a fost utilizat pentru a prezice căldura de combustie, temperatura flăcării și volumul produșilor gazoși în condiții de confinare, pentru a compara rezultatele cu determinările experimentale făcute în calorimetrul adiabatic.

Modelul izocoric de combustie utilizează ecuația virială de stare pentru a descrie produșii de combustie drept gaze reale. Aceasta este o caracteristică importantă, deoarece, în condiții de confinare, creșterea presiunii în timpul combustiei este ridicată, astfel încât ecuațiile ideale de stare ale gazului devin irelevante [21]. Formula chimică echivalentă și parametrii termodinamici folosiți ca intrări în software-ul Explo5 sunt prezentați în **Tabelul 2.1**, iar rețetele utilizate sunt prezentate în **Tabelul 2.2**.

Tabel Error! No text of specified style in document..1 - Proprietățile termochimice ale reactanților

Denumirea reactantului	Formula chimică echivalentă	Densitatea maximă teoretică (g/cm ³)	Căldura de formare (kJ/mol)
Perclorat de potasiu	KClO ₄	2.528	-432

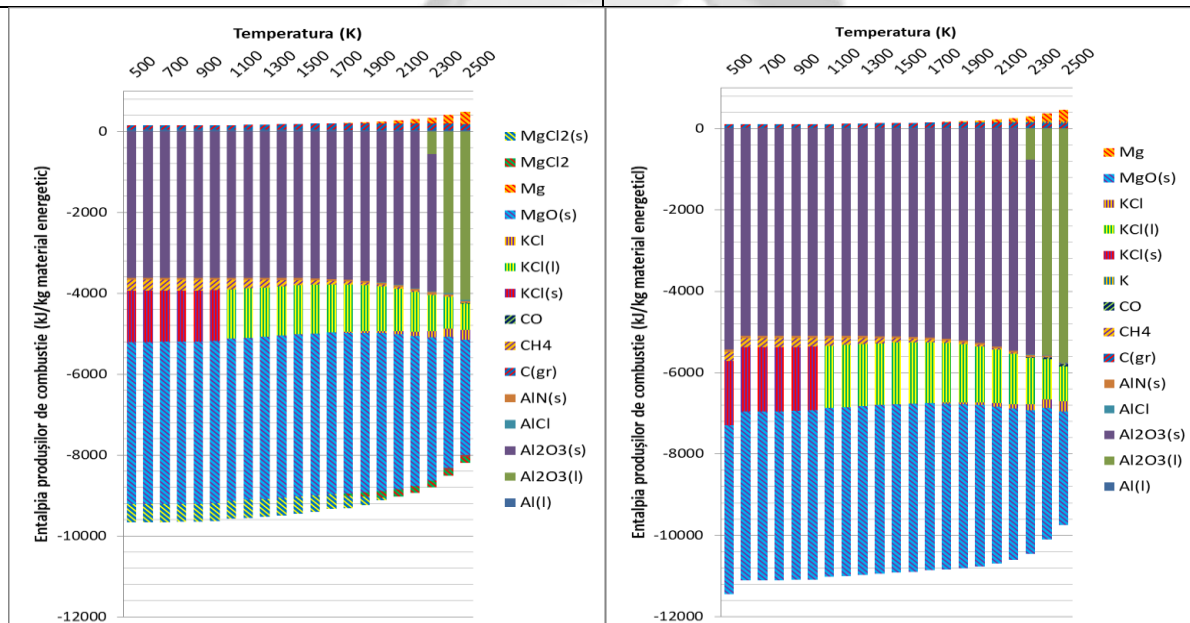
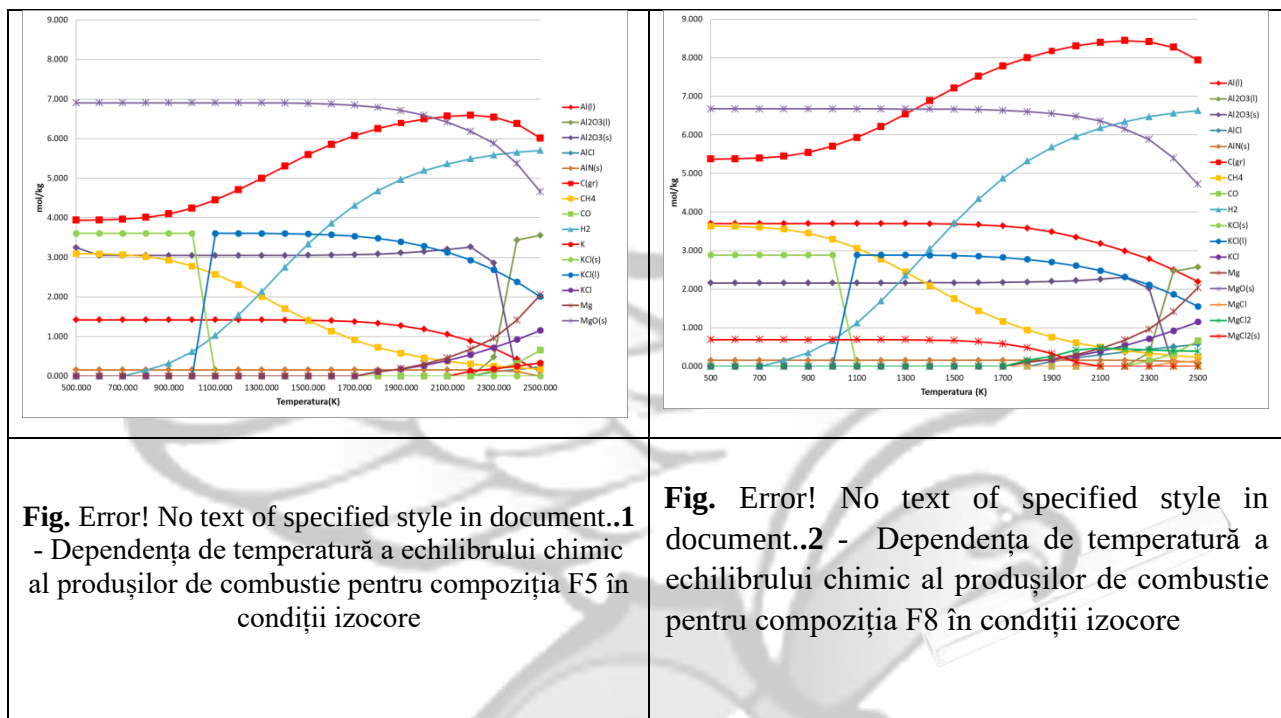
Parlon	$C_{10}H_{11}Cl_7$	1.5	-2200
Poliuretan	$C_{5.29}H_{10}N_{0.2}O_{1.47}$	1.05	-268
Diocil ftalat	$C_{24}H_{38}O_4$	0.985	-1082
Magnaliu	AlMg	2.2	0

Tabel Error! No text of specified style in document..2 - *Rețete ale compozițiilor Flare*

Cod	Perclorat de potasiu (%)	Parlon (%)	Desmodur VL (%)	Sethatan D1150 (%)	Diocil ftalat (%)	Magnaliu (%)
F1	70	0	2.5	5	5	17.50
F2	70	7.5	2.5	5	5	10
F3	60	0	2.5	5	5	27.5
F4	60	7.5	2.5	5	5	20
F4-i	60	4	3.5	7.5	5	20
F4-ii	60	1.5	4.5	9	5	20
F5	50	0	2.5	5	5	37.5
F6	50	7.5	2.5	5	5	30
F6-i	50	10	2.5	5	5	27.5
F8	40	7.5	2.5	5	5	40

Efectuarea calculelor termo-chimice în condiții adiabactice a avut rolul de a determina temperatura flăcării atât pentru combustia în condiții izobare (la presiune atmosferică), cât și în condiții izocore. Calculele în condiții izocore au fost făcute în domeniul 500-2500 K și au avut rolul de a determina temperatura la care se stabilește echilibrul chimic, pe baza măsurătorilor volumului specific și a căldurii de combustie determinate experimental în calorimetru. Compoziția chimică, entalpia de formare a produșilor de combustie și cantitatea de produși

gazoși sunt reprezentate în **Figurile 2.1, 2.2, 2.3, 2.4** pentru o compoziție bogată în carburant (F5) și pentru o compoziție aditivată cu parlon (F8).



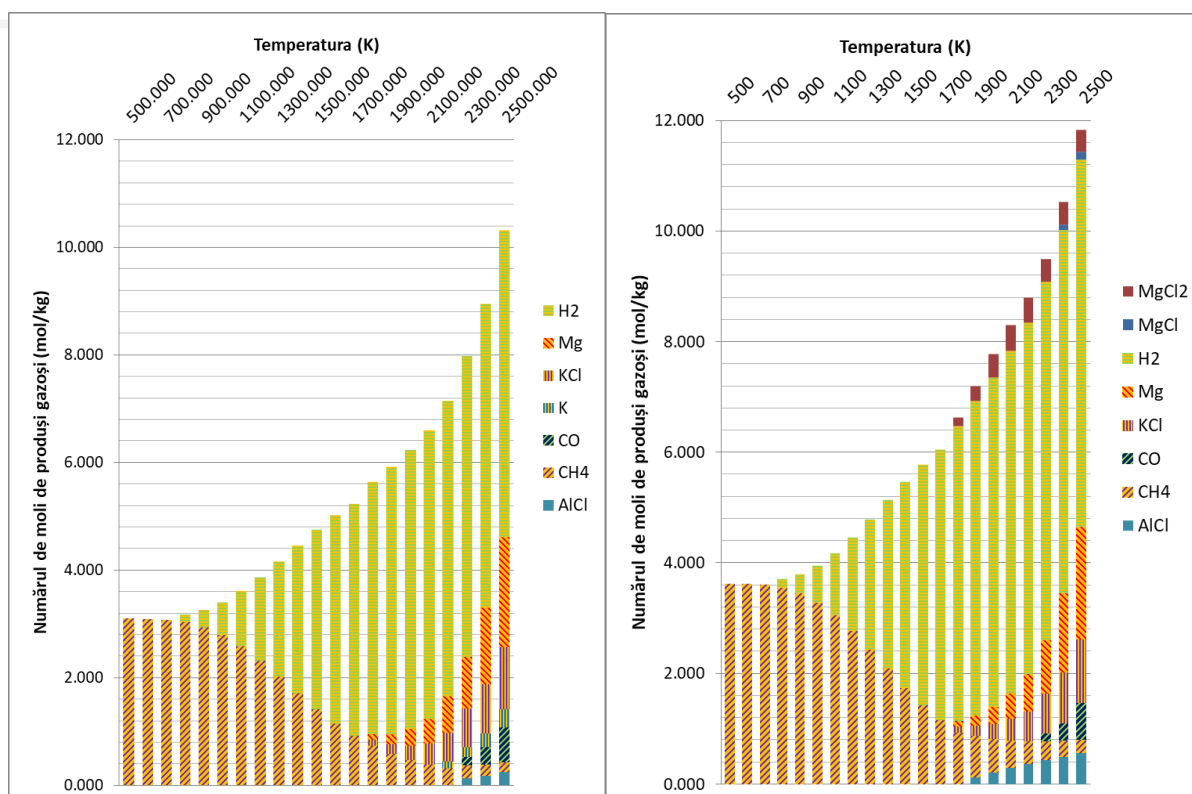


Fig. Error! No text of specified style in document..4 - Numărul de moli al produșilor de combustie gazoși în condiții izocore la diferite temperaturi ale flăcării pentru compozițiile F5 și F8

Cele două rețete (F5 și F8) sunt compoziții bogate în carburant și au balanța de oxigen de -36% respectiv -49%. Compoziția chimică a produșilor de combustie este dependentă atât de temperatură, cât și de presiune.

Calcululele termo-chimice au fost făcute la o densitate de încărcare de 0.08 g/cm^3 , cu scopul de a compara rezultatele obținute cu determinările experimentale. La temperaturi sub 1500 K , tot magneziul este oxidat, în timp ce restul de oxigen disponibil se consumă pentru a forma Al_2O_3 . La temperaturi mai mari de 1500 K , echilibrul începe să se schimbe pentru a favoriza formarea de Al_2O_3 și în compoziție se găsește exces de magneziu. La temperaturi de peste 2000 K , KCl în stare gazoasă se descompune, reacția fiind detrimentală pentru cantitatea de căldură produsă în reacția globală, așa cum se vede în **Figura 2.3**. Poliuretanul utilizat în compoziție suferă termoliză în carbon și metan fără a se forma produși de oxidare. Metanul este descompus în continuare la temperaturi mai mari în carbon și hidrogen molecular. O parte din carbonul disponibil este oxidat la monoxid de carbon la temperaturi de peste 2000 K .

În ceea ce privește căldura produsă de reacție, echilibrul chimic global are un randament mai bun la temperaturi mai mici deoarece la aceste temperaturi se împiedică formarea speciilor gazoase cu molecule grele, precum KCl și Mg .

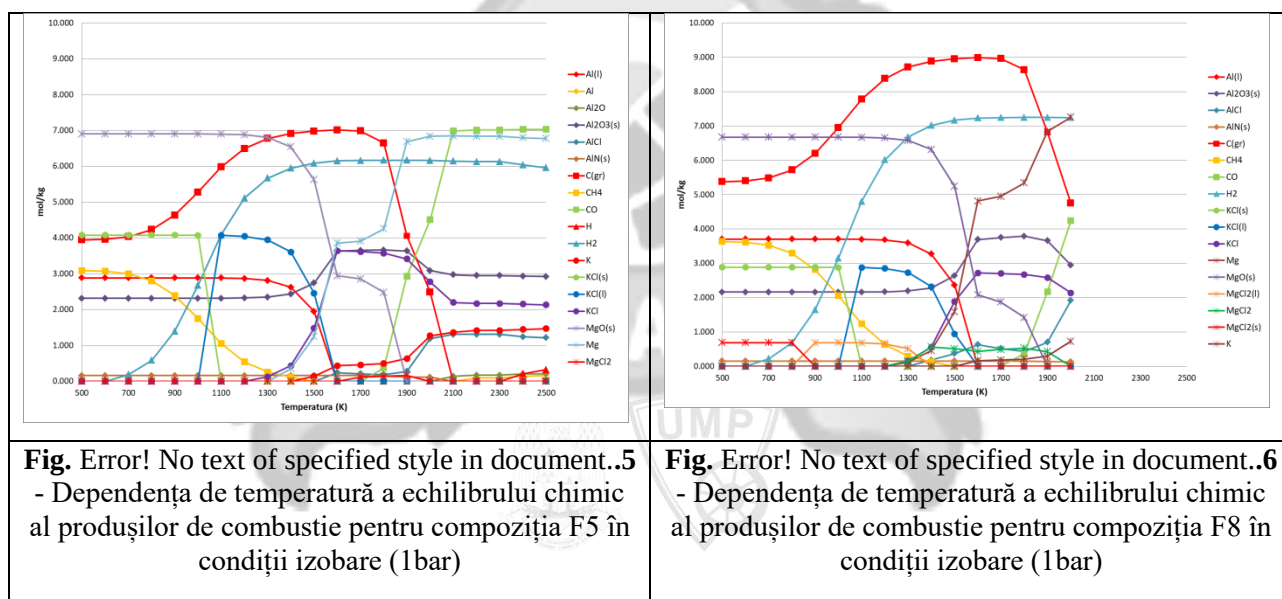
Având o entalpie de formare superioară, ar fi de preferat să se formeze Al_2O_3 în detrimentul MgO , dar cantitatea de oxigen folosită pentru reacția de oxidare specificată este mai mare, ceea ce înseamnă că totalul căldurii eliberate este mai mic la temperaturi ridicate. O temperatură mai mare a flăcării provoacă formarea de

specii gazoase, fapt datorat descompunerii unui mol de CH_4 în doi moli de H_2 și de asemenea vaporizării moleculelor mai grele, precum KCl și Mg , așa cum se vede în **Figura 2.4**.

În condiții de combustie izocore, la compoziții cu balanța de oxigen mică, prezența parlonului produce o cantitate mai mare de C , CH_4 și H_2 ca produși de piroliză a aditivului, în timp de atomii de clor disponibili reacționează cu magneziul pentru a forma MgCl_2 , aceasta fiind o reacție exotermă.

În condiții de combustie izobare, la presiune atmosferică, este importantă pierderea de căldură în mediul înconjurător și fracția nearsă a calupului pirotehnic. Prin urmare, s-au efectuat calcule și pentru domeniul 500-2500K, pentru a evalua echilibrul chimic al produșilor de combustie ca un grafic funcție de temperatura flăcării. Pe baza măsurătorilor temperaturii flăcării, compoziția chimică a produșilor de combustie, căldura de combustie și volumul produșilor gazoși pot fi calculate mai precis. Calculele au fost făcute presupunând că postcombustia cu aerul nu are loc în frontul de combustie, deoarece produșii de combustie creează un curgere continuă în lateral, deviată de viteza vântului generată de ventilator. Procesul de postcombustie poate fi observat pe camera termală în afara frontului de combustie.

Compoziția chimică, entalpia de formare a produșilor de combustie și cantitatea de produși gazoși în regim de combustie izobar (1bar) sunt reprezentate în **Figurile 2.5, 2.6, 2.7 și 2.8** pentru o compoziție bogată în carburant (F5) și pentru o compoziție aditivată cu parlon (F8).



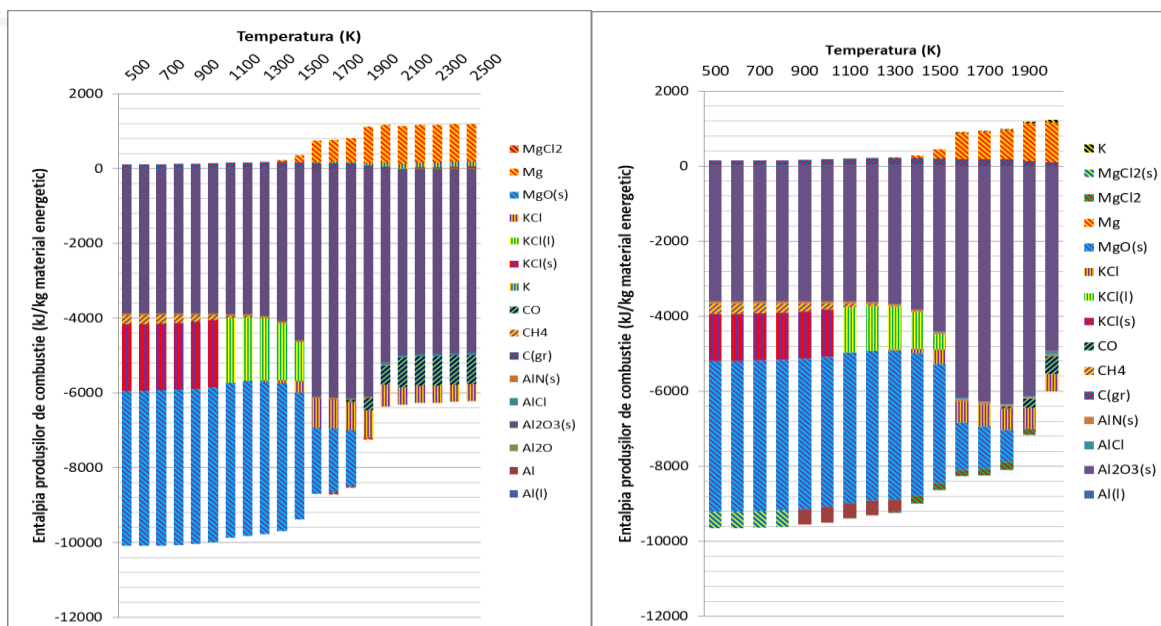


Fig. Error! No text of specified style in document..7 - Entalpia de formare a produşilor de combustie în condiţii izobare (1bar) la diferite temperaturi ale flăcării pentru compoziţiile F5 (fără parlon) şi F8 (cu parlon)

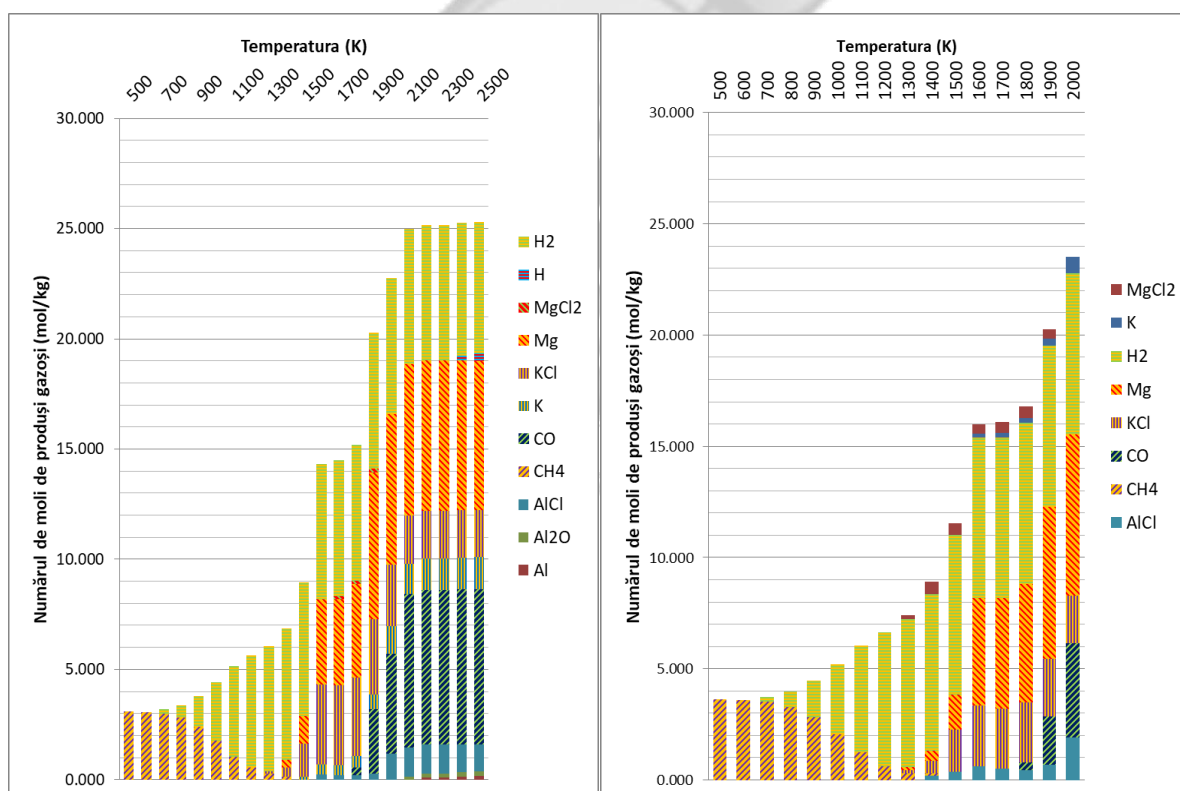


Fig. Error! No text of specified style in document..8 - Numărul de moli ai produşilor de combustie gazoşi în condiţii izobare (1bar) la diferite temperaturi ale flăcării pentru compoziţiile F5 şi F8

Temperatura flăcării este parametrul dăunător în echilibrul chimic în condiții de presiune atmosferică. Condițiile de presiune normală favorizează formarea produșilor gazoși, în special la temperaturi de peste 1300 K. La această temperatură se observă o schimbare bruscă a speciilor oxidate, iar între 1300-1900K scade concentrația de MgO și se formează Al_2O_3 în cantități mai mari. La temperaturi de peste 1700 K se poate observa o creștere rapidă a cantității de CO, reacție care consumă o mare cantitate de oxigen, limitând tendința de formare a Al_2O_3 . La peste 1900 K, MgO nu mai este prezent în produșii de combustie, tot oxigenul disponibil în amestec fiind implicat în formarea de cantități cât mai mari de CO și o cantitate constantă de Al_2O_3 . Căldura globală produsă în reacție este puternic afectată de formarea CO, așa cum se vede în **Figura 2.7**.

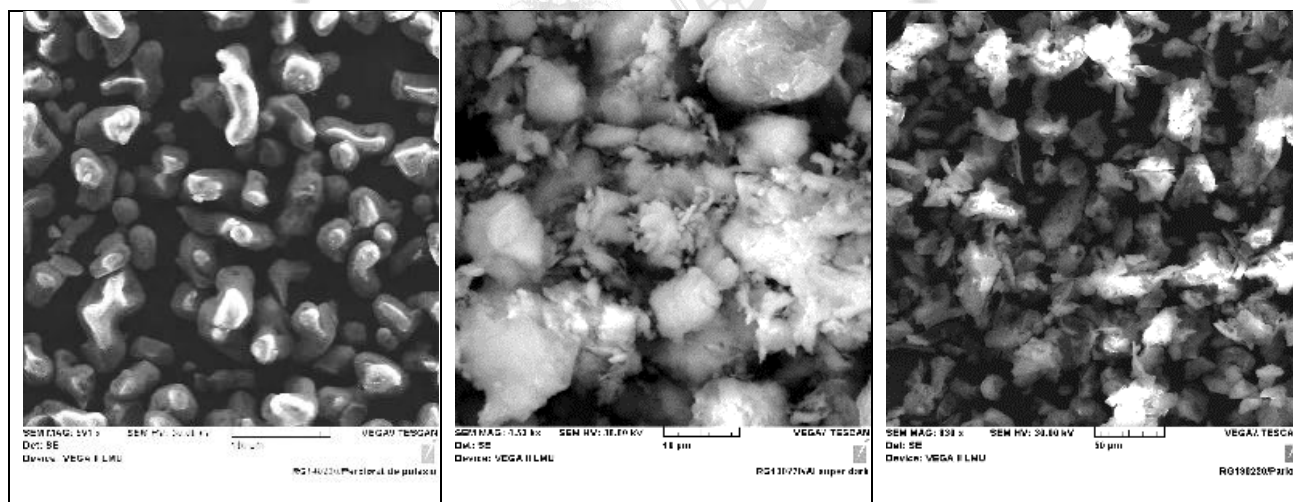
Volumul speciilor gazoase crește brusc în intervalul 1500-1900 K, fapt prezentat în **Figura 2.8**, creșterea fiind atribuită produșilor gazoși de Mg și, de asemenea, cantității mari de CO format la temperaturi de peste 1500 K. Rolul parlonului în combustie pare a fi minimal, întrucât polimerul pirolizează în carbon și metan și mai departe în carbon și hidrogen molecular la temperaturi mai mari. Tot clorul rezultat din descompunerea aditivului reacționează cu Mg, aceasta fiind o reacție independentă de temperatură.

3. Studiul experimental privind metodele de determinare a temperaturii de combustie și a vitezei de combustie a compozițiilor pirotehnice generatoare de radiație IR

Materiale

Rețeta constă într-o matrice polimerică obținută prin reticularea fără solvent a unui polioli pe bază de ulei de ricin – Sethatan D1150 (conținut de hidroxil de $4,7 \pm 0,2\%$, vâscozitate $3500 \pm 500 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ la 23°C , achiziționat de la Nuplex prin distribuitor local) cu diizocianat de difenilmetan – Desmodur VL (grupări NCO $31,5 \pm 0,5\%$, vâscozitate $90 \pm 29 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ la 25°C , achiziționat de la Covestro prin distribuitor local), într-un raport de masă de 2:1. Oxidantul, perclorat de potasiu (puritate 98%, dimensiunea medie a particulelor $100 \mu\text{m}$, carburantul, magnaliu (dimensiunea medie a particulelor $63 \mu\text{m}$) și cauciucul clorurat pulverulent – Parlon politetrafluoroetilenă (micropulbere PTFE), au fost achiziționate de la Pyrogarage. Plastifiantul, dioctil ftalat – DOF (puritate 98%) și solventul, acetona, au fost obținute de la Sigma Aldrich.

Figura 3.1 prezintă morfologia pulberilor utilizate în compozițiile pirotehnice.



a)perclorat de potasiu	b) magnaliu	e) parlon
------------------------	-------------	-----------

Fig. Error! No text of specified style in document..9 - Pulberi utilizate în compozițiile pirotehnice

Determinarea compoziției și stabilirea metodei de turnare

Toate pulberile au fost cernute pentru a se dezagrega și au fost uscate timp de 24 de ore la 60°C într-o etuvă ventilată. Percloratul de potasiu a fost cântărit și pus într-un mojar împreună cu sethatanul și DOF.

După amestecarea manuală timp de 2 minute, carburantul a fost adăugat progresiv, continuându-se amestecarea. În același mod s-a adăugat și parlonul. S-a adăugat Desmodul VI și 10g de acetona, amestecând continuu timp de 10 minute, până când acetona s-a evaporat și amestecul începe să reticuleze datorită începutului procesului de întărire.

Amestecurile au fost făcute în loturi de 100g, fiind împărțite în 3 probe pentru determinări. Materialul a fost presat în PLA (acid polilactic) printat 3D în tuburi cu lungime 100 ± 1 mm și diametrul interior de 10mm. Grosimea peretelui tubului a fost de 1,2mm. Materialele au fost încărcate în tuburi prin presare manuală repetată pentru fiecare 2-4g, până când fiecare tub a fost umplut cu $30 \pm 0,5$ g de compoziție pirotehnică.

Probele au fost lăsate în etuvă la temperatura de 40°C pentru 24 de ore. Toate tuburile au fost amorsate cu 1g compoziție de aprindere, adăugat peste coloana de 30g compoziție pirotehnică.

Determinarea temperaturii de combustie

Metoda și echipamentul utilizat pentru măsurarea temperaturii de combustie a compozițiilor pirotehnice se bazează pe măsurarea de la distanță a radiațiilor infraroșii generate de produșii de ardere încălziți, transmise prin atmosferă unei camere termale cu următoarele caracteristici: Tip FLIR X6580sc cu detector InSb în banda 1,5-5,4μm și apertură F/3 cu senzor digital cu 640x512 pixeli.

Obiectivul folosit a fost un MW cu distanța focală F/2 și apertură 50mm cu filtru de temperatură înaltă MW 60%, calibrat din fabrică pentru domeniul 300°C - 1500°C. Număr de frame-uri/secundă folosit este de 50Hz cu un timp de integrare de 30μs. Probele au fost măsurate în următoarele condiții: distanța până la cameră – 3m, temperatura reflectată 20°C, temperatura atmosferică 20°C cu umiditate 60%.

A fost folosit un ventilator pentru a devia în lateral fumul generat prin arderea compoziției, acesta fiind plasat la 1m de sursa de ardere, generând o viteză a vântului de 4 m/s. Factorul de emisivitate pentru suprafața de ardere a fost stabilit la 0,75 pentru toate măsurătorile [22,23,24].

Măsurătorile de temperatură au fost înregistrate și interpretate cu software-ul FLIR ResearchIR Max. A fost înregistrat timpul total de ardere, iar temperaturile zonei centrale au fost măsurate utilizând o regiune de interes de 10x10 pixeli (ROI) plasată pe o suprafață de aproximativ 25mm² din suprafața de ardere. Exemple pentru ROI-urile specifice și frameuri folosite pentru determinarea temperaturilor pentru o compoziție de bază și o compoziție aditivată cu parlon sunt prezentate în **Figura 3.2**.

S-a înregistrat un grafic temperatură-timp pentru 3 probe din fiecare compoziție pirotehnică. Debutul regimului de ardere constantă a fost stabilit în momentul în care temperatura de ardere devine staționară, iar

datele analizate au fost luate în considerare între începutul și sfârșitul arderii constante, așa cum este prezentat în **Figura 3.3**.

Măsurarea a fost condiționată de medierea temperaturilor înregistrate în interiorul ROI (media de 100 pixeli) și, de asemenea, prin medierea măsurătorilor dependente de timp cu un factor de 10 (de la 50Hz la 5Hz). Graficul temperatură-timp este prezentat în **Figura 3.4**.

Puterea radiativă a fost măsurată și considerată un parametru de performanță secundar al compoziției pirotehnice, pentru a cuantifica transferul de căldură către gazele de ardere și către particulele proiectate și de asemenea pentru a cuantifica post-combustia gazelor nearse împreună cu oxigenul atmosferic. Pentru puterea radiativă s-a folosit aceeași condiționare a datelor. Aceasta a fost calculată utilizând legea Stefan-Boltzmann[22] cu temperatura înregistrată din zona reprezentată de drepunghiul verde vizibil în figura 2, care corespunde unei valori de 0,058m² în planul de ardere.

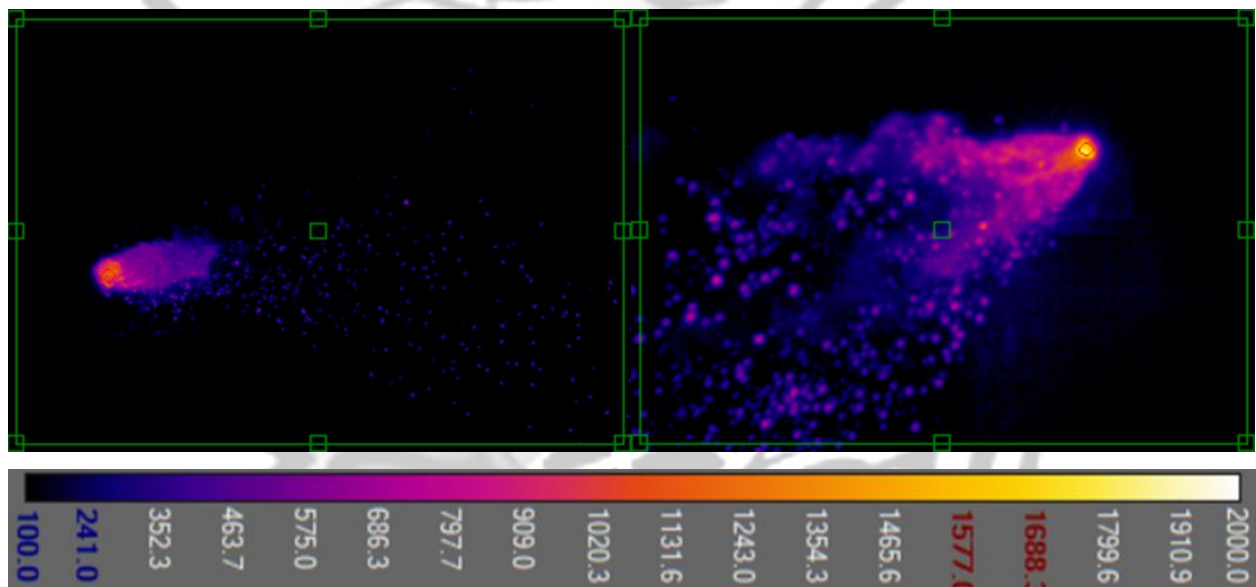


Fig. Error! No text of specified style in document..10 -ROI-ul de măsurare, roșu pentru temperatură, verde pentru puterea radiativă pentru compoziția F5 –stânga, F8 (cu parlon) – dreapta

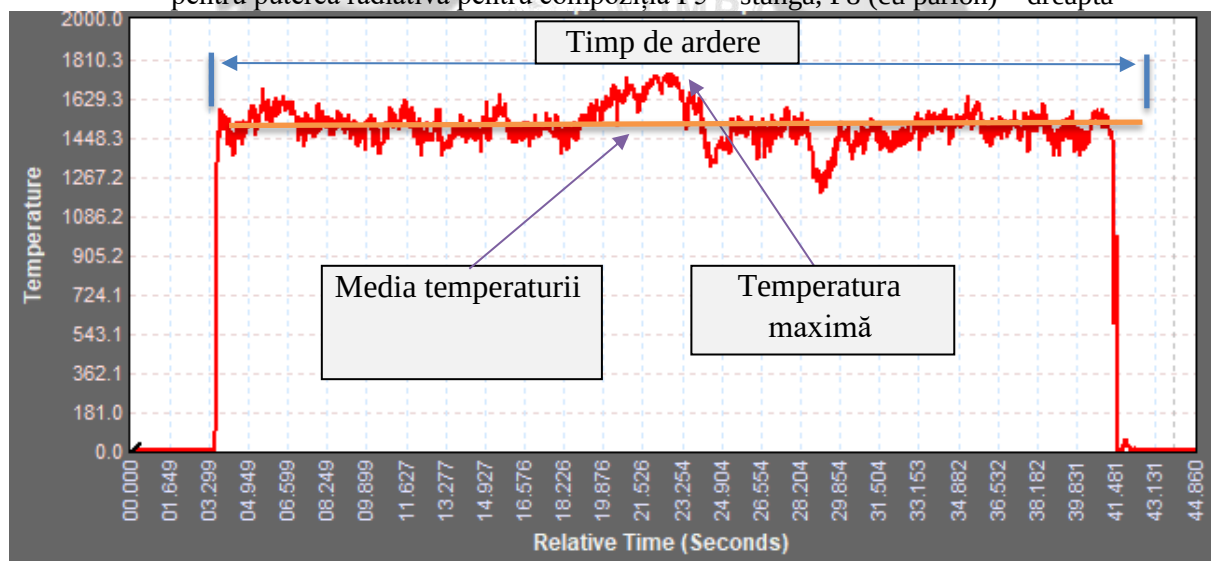


Fig. Error! No text of specified style in document..11 - Datele de achiziție din temperatura ROI-ului pentru compoziția F8

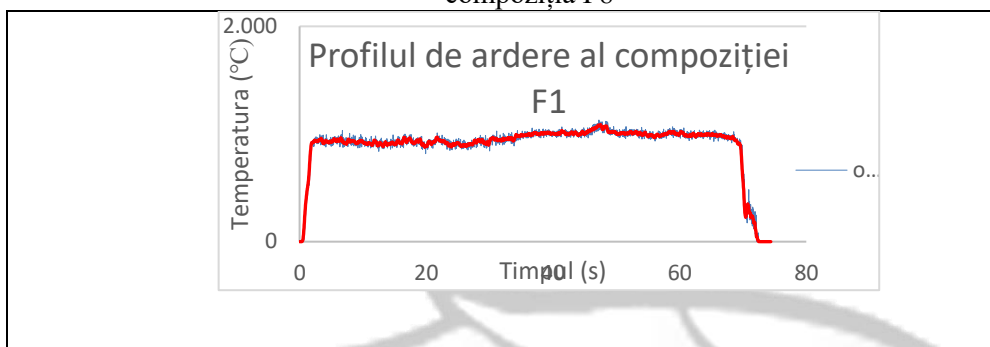


Fig. Error! No text of specified style in document..12 - Datele de achiziție din temperatura ROI-ului pentru compoziția F1

Măsurarea vitezei de ardere

Viteza de ardere a fost determinată cu camera termală FLIR X6580-sc și, de asemenea, cu o cameră vizibilă setată la 30 de cadre pe secundă. Epruvetele au fost de 100mm pentru a avea o lungime suficientă de ardere pentru a reduce la maximum erorile generate de aprinderea și stingerea frontului de flacără. Au fost luate în considerare doar testele care au arătat o ardere constantă (temperatură constantă), pentru a exclude măsurători în care epruvetele s-au fragmentat, provocând o creștere a presiunii locale și o variație a vitezei de ardere. Perioada de ardere considerată în măsurare este prezentată în **Figura 3.4**.

Determinarea căldurii de combustie și a volumului specific

Căldura de combustie este un factor important în evaluarea performanțelor compozițiilor pirotehnice. În condiții adiabactice, dacă produșii de combustie sunt cunoscuți, căldura de combustie poate ajuta la estimarea teoretică a temperaturii de ardere. Valoarea a fost măsurată folosind un calorimetru balistic adiabatic AVL 1805 cu camera de 25 cm³ și un termometru Beckman (precizie de 0,01K). Aprinderea a fost făcută cu inflamatori electrici care au echivalent caloric cunoscut.

Au fost testate câte 2 probe de 2g din fiecare tip de compoziție pirotehnică, după ce acestea au fost măcinate și uscate timp de 24 de ore. Camera a fost vidată înainte de determinare, iar căldura de combustie a fost calculată cu următoarea formulă:

$$Q_c = \frac{K * \Delta t - q}{w} \quad (3.1)$$

unde:

- Q_c – căldura de combustie (cal/g);
- K – echivalentul caloric al calorimetrului (1364,393 cal/K);
- Δt – diferența dintre temperatura finală și inițială citite pe termometrul Beckman (K);
- q – echivalentul caloric al inflamatorului electric (cal);
- w – cantitatea compoziției analizate (g).

Pentru determinarea q , $Q_{\text{igniter}}=716,32$ cal/g a inflamatorului electric este împărțită la masa inflamatorului.

Volumul specific al produșilor de combustie a fost măsurat în volumetrul Julius-Peters, după determinarea căldurii de combustie, prin evacuarea camerei de ardere, după ce a atins temperatura acesteia. Această determinare măsoară volumul produșilor de ardere gazoși în condiții de temperatură și presiune standard, iar apa rezultată în urma combustiei rămâne condensată în cameră. Volumul specific de ardere a fost calculat cu formula:

$$V_c = \frac{W * \Delta H * 273,15}{\omega * 760 * (273,15 + t)} - \frac{\omega_i}{\omega} * V_{ei} \quad (3.2)$$

unde:

V_e – volumul specific al produșilor de combustie pentru compoziția respectivă (l/kg);
 W – volumul bombei calorimetrice și a tubului de măsurare a gazelor (3175 cm³);
 ΔH – diferența de presiune din volumetrul Julius-Peters (mmHg);
 ω – masa probei analizate (g);
 t – temperatura ambientală (°C);
 ω_i – masa inflamatorului electric (g);
 V_{ei} – volumul specific generat de compoziția pirotehnică din inflamatorul electric (184,59 l/kg).

Căldura de combustie și volumul produșilor gazoși au fost calculate în funcție de temperatura flăcării atât pentru condiții izobare (1bar), cât și pentru condiții izocore.

Așa cum este reprezentat în **Figura 3.5**, dependența de temperatura flăcării a parametrilor calculați este mai mare în condiții izobare. Comparând cu determinările experimentale, căldura de combustie și volumul speciilor gazoase au fost calculate considerând fazele produșilor de combustie la 293 K.

În **Figura 3.6** este reprezentat calculul termo-chimic pentru căldura de combustie în condiții izocore ca o funcție de temperatura flăcării (Q_v constant), în timp ce valoarea căldurii de combustie este obținută prin determinare în calorimetru și reprezentată ca o constantă (Q_{exp}). Calculele sunt efectuate pentru compozițiile F5 și F8.

În același mod, volumul produșilor de combustie este reprezentat ca funcție de temperatura flăcării (V_v constant), în timp ce valoarea experimentală determinată în volumetrul Julius Peters este constantă.

Convergența valorilor experimentale și teoretice determinate atât pentru volum, cât și pentru căldura de combustie, se află într-un interval restrâns și reprezintă o validare a modelului teoretic și, de asemenea, poate furniza informații despre temperatura la care se stabilește echilibrul chimic al produșilor de combustie.

Valorile experimentale ale căldurii de combustie și ale volumului specific al produșilor de combustie din **Tabelul 3.1** sunt pentru compozițiile F1-F8. Temperatura la care se stabilește echilibrul chimic al produșilor de combustie este determinată de interpolarea prin regresie liniară cu valorile teoretice calculate pentru condiții izocore.

Presiunea din cameră în condiții de echilibru termodinamic se calculează luând în considerare o densitate de încărcare de 0.08 g/cm³.

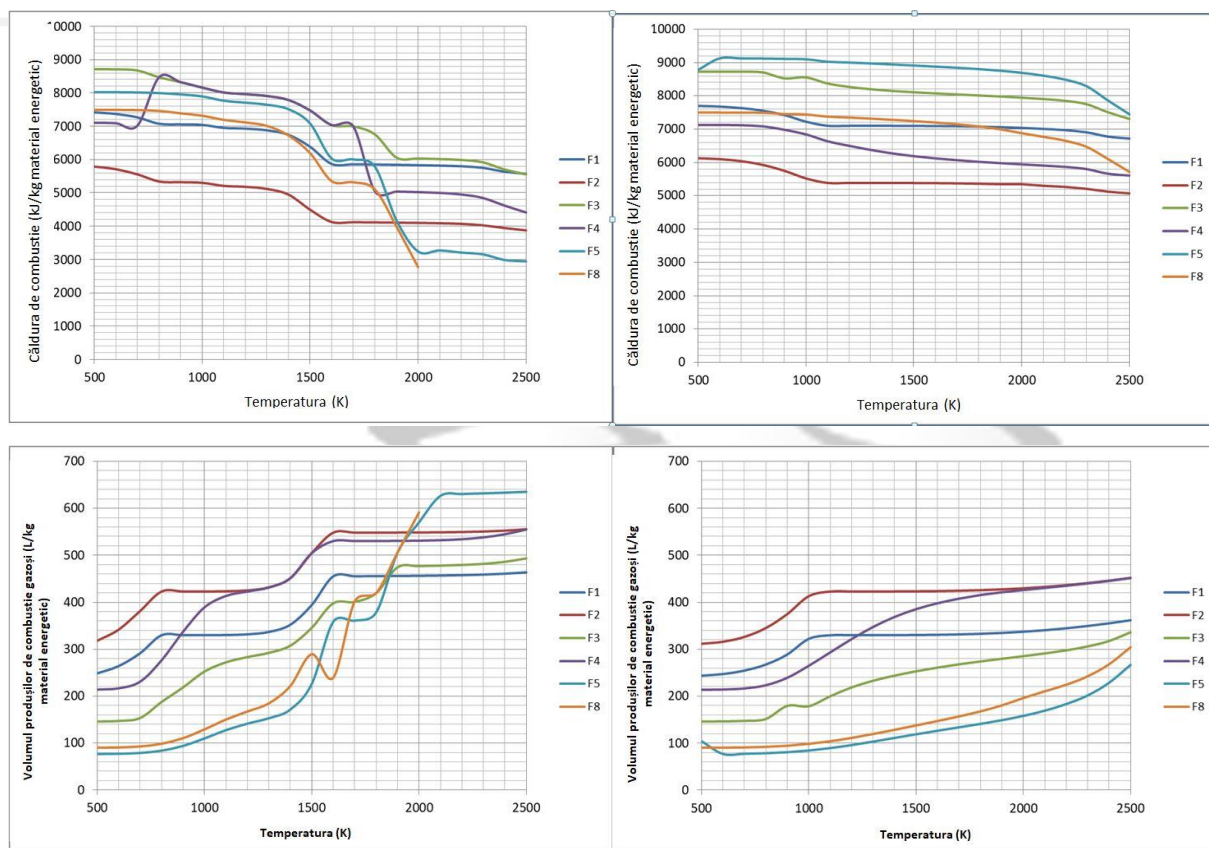


Fig. Error! No text of specified style in document..13–Căldura de combustie și volumul specific în condiții izobare (1bar) – stânga și în condiții izocore ($\rho=0,08 \text{ g/cm}^3$) – dreapta pentru compozițiile F1-F8

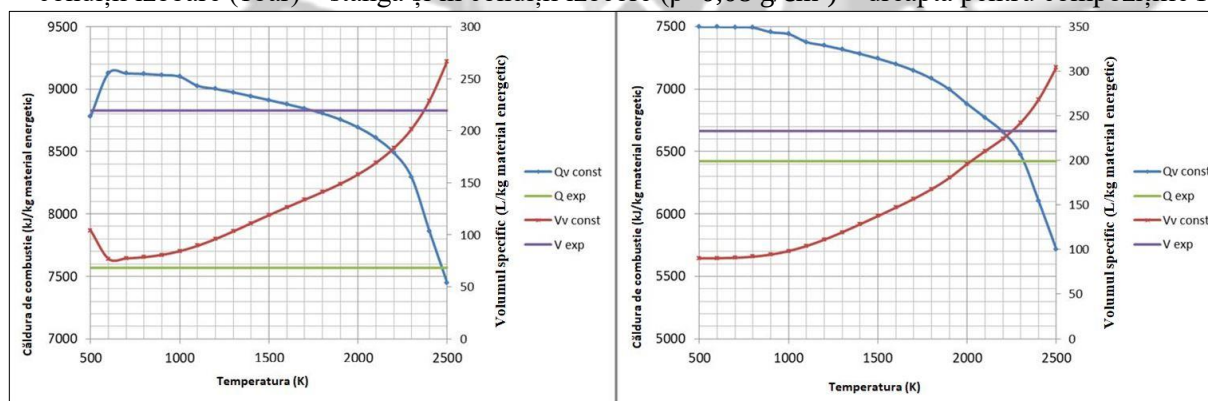


Fig. Error! No text of specified style in document..14 -Calculule termo-chimice pentru căldura de combustie și volumul specific și determinările experimentale pentru F5 (stânga) și F8 (dreapta)

Tabel Error! No text of specified style in document..1–Căldura de combustie și volumul specific determinate experimental și temperatura și presiunea calculate pentru F1-F8

Rețeta	Q (determinată) kJ/kg	V (determinat) L/kg	Temperatura (calculată) K	Presiunea (calculată) MPa
--------	---------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

F1	7070.96	290.53	905-1838	7.195-16.833
F2	6652.96	236.70	-	-
F3	7501.91	285.37	2003-2403	15.83-19.53
F4	6439.18	330.92	1183-1235	11.50-11.81
F5	7568.85	219.40	2366-2470	13.94-18.12
F6	6485.2	298.94	2468-2574	20.25-23.70
F8	6422.44	233.07	2248-2314	14.58-15.66

Se poate observa că pentru compoziții cu balanță mare de oxigen (F1, F2), căldura de combustie și volumul specific calculate nu converg corect la valorile experimentale determinate. Acest lucru poate fi atribuit formării apei ca un produs de combustie, care se condensează în calorimetrul adiabatic, provocând o creștere a căldurii de combustie și o pierdere a volumului gazelor. Chiar și cu aceste corecții, eroarea ar fi încă mare pentru compoziții cu balanță de oxigen ridicată și în special pentru cele care conțin parlon (F2). Eroarea poate fi atribuită echilibrului CO/CO₂ în producții de combustie, fiind greu de determinat în compoziții complexe precum F8.

Măsurarea temperaturilor și a vitezelor de ardere au fost efectuate pentru toate compozițiile, atât pentru cele standard, cât și pentru cele cu parlon (cu 1.5-10% aditiv). În **Figura 3.7** sunt prezentate temperatura medie a flăcării determinată experimental, viteza de ardere, volumul specific al produșilor gazoși și căldura de explozie în funcție de procentul de carburant din compoziție (% magnaliu).

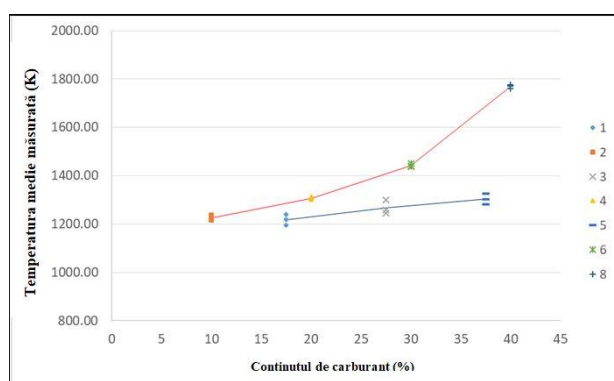
Figura 3.8 prezintă o comparație între căldura de explozie determinată experimental și energia emisă prin radiație, calculată pentru 1 kg de compoziție pirotehnică, fiind proporțională cu puterea radiativă și timpul de ardere, așa cum este formulat în ecuația 3.3. În **Figura 3.9**, temperatura medie determinată și viteza de ardere sunt reprezentate ca funcții de procentul de aditiv (% parlon) pentru F4 (cu 20% magnaliu) și F6 (cu 30% magnaliu).

$$E_{\text{radiation}} = \frac{T_{\text{avg}}^4 * \sigma * A * \tau}{\omega} \quad (3.3)$$

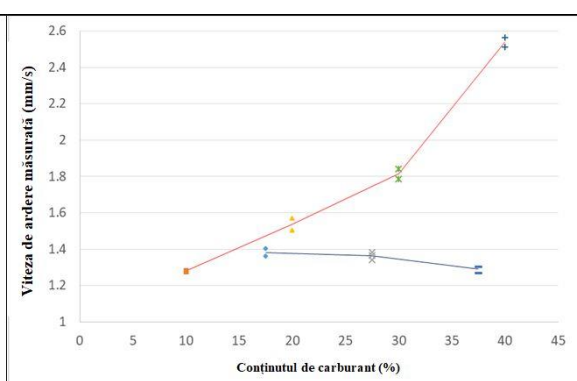
unde:

$E_{\text{radiation}}$ – energia emisă prin radiație de 1 kg de material energetic (kJ/kg);
 T_{avg} – temperatura media a flăcării măsurate (K);
 σ – constanta Stefan-Boltzmann ($5.6704 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$);
 A – suprafața frontului de ardere (m²);
 τ – durata de ardere (s);
 ω – masa compoziției pirotehnice testate (kg).

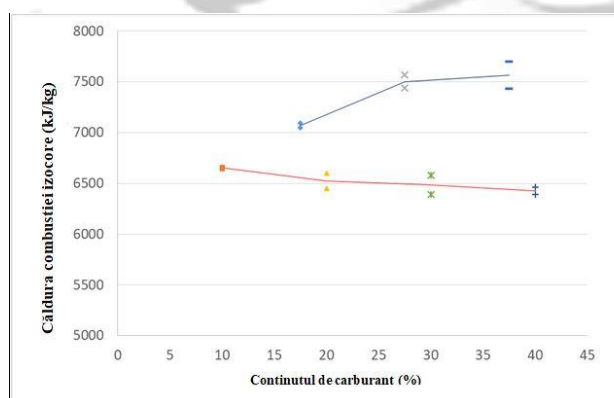
(a) Temperatura medie a flăcării



(b) Viteza de ardere



(c) Căldura de combustie



(d) Volumul specific al produșilor gazoși

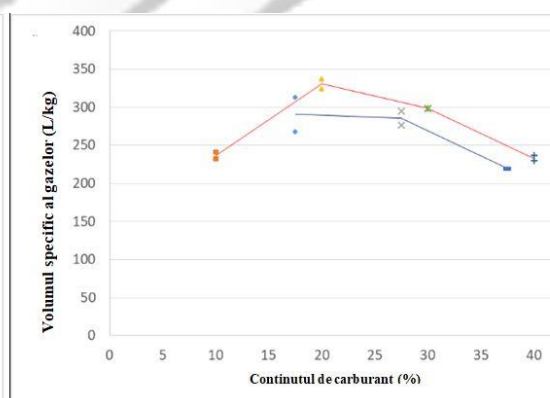


Fig. Error! No text of specified style in document..15-Influența procentului de carburant asupra parametrilor de combustie în compoziții pirotehnice

Temperaturile flăcării măsurate pentru compozițiile pirotehnice testate sunt direct proporționale cu procentul de carburant. Pentru compozițiile de bază (*fig. 3.7 linia albastră*), temperatura flăcării evoluează liniar cu procentul de carburant în intervalul 17.5% - 37.5%, în timp ce viteza de ardere scade odată cu creșterea procentului de carburant.

Pentru compoziția care conține parlon (*fig.3.7 linia roșie*), atât temperatura, cât și viteza de ardere se manifestă ca o funcție polinomială în raport cu conținutul de carburant. Energia radiată totală rezultată este mai mare pentru un procent mai ridicat de carburant, unde temperatura flăcării este mai mare, chiar dacă durata de ardere este mai mică.

Acest rezultat indică faptul că în compoziții este de dorit un procent mai mare de carburant pentru a utiliza cât mai multă căldură disponibilă pentru emisia energiei radiate. Volumul specific al produșilor gazoși are valoarea maximă în intervalul 20 – 30% carburant atât pentru compozițiile de bază, cât și pentru cele aditivat.

Compozițiile care conțin parlon au un volum specific mai mare ca urmare a unui conținut mai mare de polimer, ceea ce produce o cantitate mai mare de produși gazoși ca rezultat al arderii și al pirolizei.

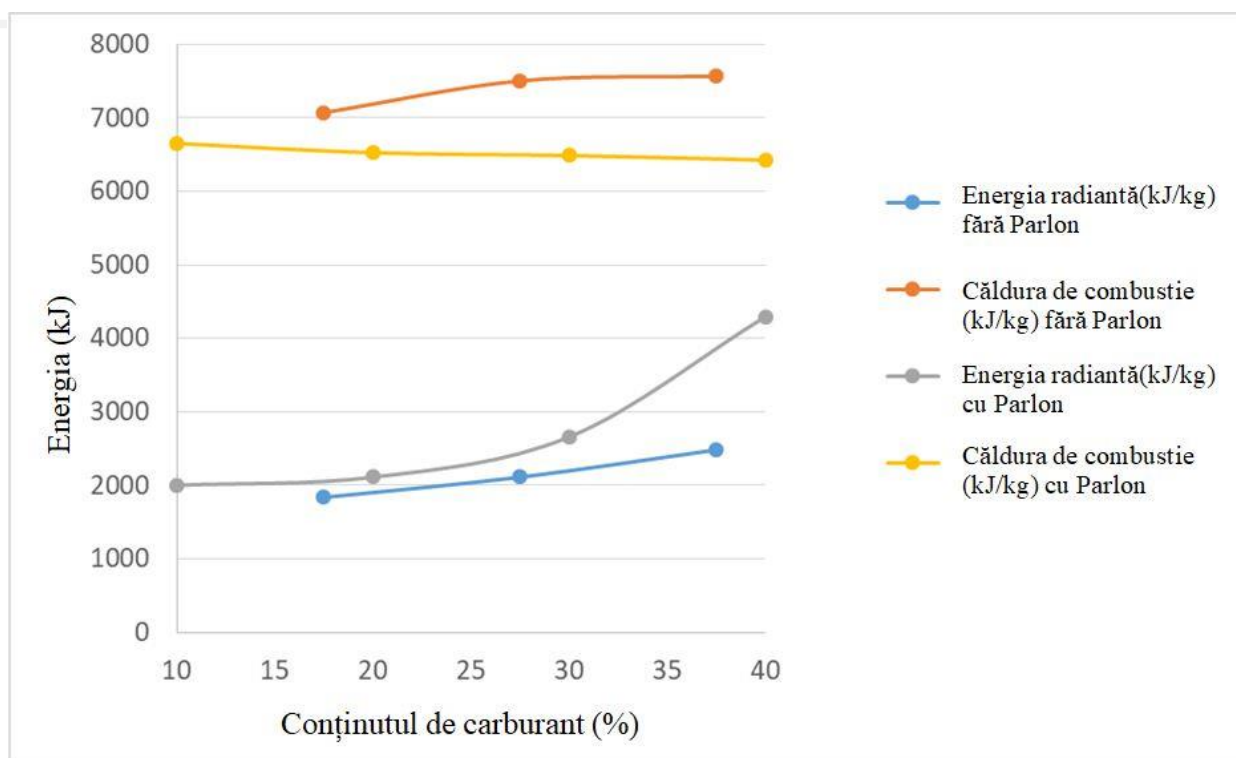


Fig. Error! No text of specified style in document..16 - Energia emisă prin radiație comparată cu căldura de combustie

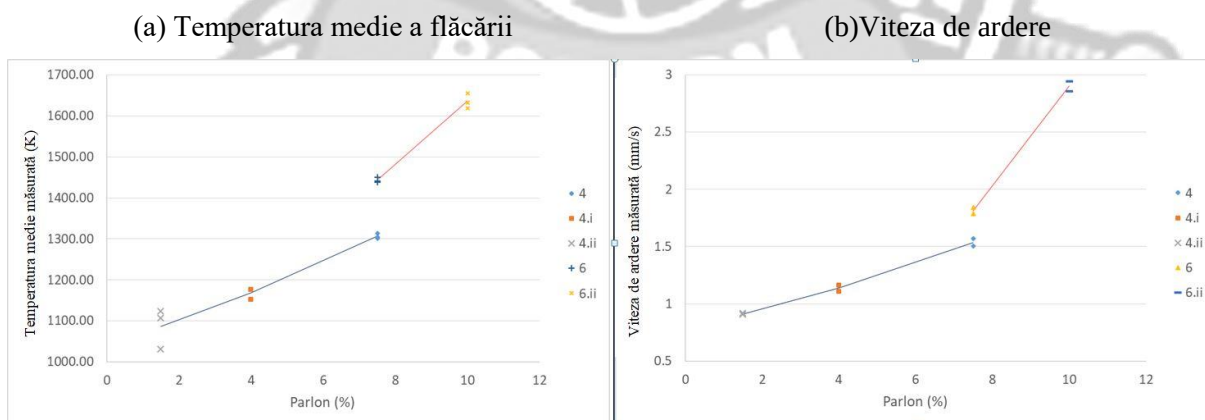


Fig. Error! No text of specified style in document..17-Influența procentului aditiv (parlon) asupra parametrilor de combustie în compoziții pirotehnice

Aceste măsurători coroborează cu proporționalitatea căldurii de combustie cu procentul de carburant, deoarece cantitatea netă de căldură eliberată de compoziția de bază este direct proporțională cu temperatura flăcării și invers proporțională cu viteza de ardere, așa cum este prezentat în **Figura 3.8**.

În ceea ce privește procentul de aditiv din compoziții, atât pentru compozițiile cu conținut scăzut de carburant (**fig.3.8 linia albastră**), cât și pentru cele cu conținut ridicat (**fig. 3.7 linia roșie**), un procent mai mare de parlon se dovedește benefic atât pentru temperatura flăcării, cât și pentru viteza de ardere. Acești doi parametri se doresc a fi maximizați pentru optimizarea compoziției pirotehnice în aplicații flare.

Pe baza măsurătorilor de temperatură, au fost calculate căldura de combustie și volumul specific al produșilor gazoși prin regresie liniară, utilizând grafice dependente de temperatura flăcării, calculate pentru combustia izobară la 1 bar. Rezultatele nu iau în considerare postcombustia produșilor în aer.

În **Tabelul 3.2** sunt prezentate valorile calculate pentru căldura de combustie și volumul specific al produșilor de combustie:

Tabel Error! No text of specified style in document..2-Valoarea determinată experimental pentru temperatură și valorile calculate pentru căldura de combustie și volumul specific al produșilor gazoși în condiții izobare (1bar)

Rețeta	Temperatura flăcării (măsurată) K	V (calculat) L/kg	Q (calculată) kJ/kg
F1	1217	329.77	7102.10
F2	1226	422.88	5387.35
F3	1268	228.33	8222.40
F4	1306	348.72	6370.85

F5	1302	103.38	8973.05
F6	1442	184.18	7936.71
F8	1769	164.26	7104.38

Modelul termochimic utilizat pentru combustie a fost validat prin determinări experimentale ale căldurii de combustie, temperaturii flăcării și volumului specific.

Din punct de vedere al preciziei, modelul de combustie calculează mai precis parametri de ardere și compoziția chimică a produșilor în compoziții slab oxigenate. În condiții izocore, căldura de combustie și volumul specific sunt mai apropiate de valorile calculate pentru combustia adiatică.

Acest lucru se datorează faptului că pierderea de căldură este minimizată și limitată la pereții incintei de combustie. În condiții izobare, echilibrul chimic al produșilor de combustie are o variație mai mare față de intervalul de temperatură de 500 – 2500K. La temperaturi ridicate, formarea speciilor gazoase este proeminentă, în special monoxidul de carbon.

Măsurarea temperaturii flăcării cu cameră termală este o metodă bună de determinare a temperaturii medii generate în frontul flăcării, fiind mai reprezentativă decât măsurările instantanee efectuate la diferite momente. Inițierea, arderea constantă și stingerea flăcării pot fi înregistrate cu această tehnică, în timp ce viteza de ardere poate fi măsurată cu exactitate și repetabilitate.

Procentul de carburant din compoziții este factorul determinant în maximizarea celor doi parametri importanți în proiectarea compozițiilor Flare, și anume temperatura flăcării și viteza de ardere.

În experimente, pentru intervalul 10-40% carburant, ambii parametri evoluează proporțional cu procentul de carburant, mai ales în compoziția aditivă cu parlon, chiar dacă căldura de ardere a scăzut.

Adăugarea parlonului (cauciuc clorurat) în compoziții asigură temperaturi și viteze de ardere mai mari decât în compozițiile de bază.

Tendința este mai evidentă la procente mari de carburant (40% magnaliu), unde temperatura prezintă o creștere accentuată. Explicația nu este legată de procesele de combustie termochimice, deoarece aditivul suferă piroliză fără oxidare și clorul generat de proces reacționează cu magneziul, acest lucru având un mic impact în căldura de combustie.

Temperaturile ridicate generate de parlon au un impact pozitiv direct asupra cantității totale de energie emisă prin radiații, un efect dorit pentru compozițiile Flare. Motivul probabil pentru care parlonul ameliorează performanța compoziției pe bază de magnaliu-perclorat de potasiu-poliuretan este legat de contactul intim dintre particulele de carburant și aditivul care conține clor reactiv.

Această particularitate determină o creștere însemnată a vitezei de ardere, maximizând raportul dintre fluxul de căldură generat de reacția de combustie și căldura pierdută în mediu și partea nearsă de material, producând astfel o temperatură mai mare a flăcării.

4. Demonstrarea funcționalității produsului și validarea tehnologiei de fabricație

Pentru demonstrarea funcționalității produsului și validarea tehnologiei integrate de fabricație a fost constituit un lot model experimental obținut la nivel industrial, ce a fost testat prin trageri. Pe parcursul activităților s-au urmărit următorii parametrii:

- Capsa de aprindere se inițiază la un curent de 1,2A, 12V - CC, aplicat timp de 0,01s la bornele acesteia.
- Calupul este expulzat și se aprinde doar în afara tubului cartuş;
- Viteza de ejectare a calupului este de minim 20m/s;
- Durata de amorsare este mai mică de 0,3s;
- Durata de ardere este situată între 5-7 s;
- Temperatura de ardere, în regim dinamic, măsurată cu camera termală ultrarapidă, depășește 1200°C.

Rezultatele testelor preliminare au fost **corespunzătoare** pentru toți parametrii testați.

În **Figura 4.1** este prezentat lotul experimental realizat în mediu industrial supus testelor, în **Figura 4.2** este prezentat un calup pirotehnic aflat în combustie pe traiect în timp ce în **Figura 4.3** este prezentat un cadru din filmarea termală ultrarapidă realizată pentru determinarea temperaturii de combustie, măsurată în regim dinamic.



Fig. 4.1 -Lotul model experimental supus testării



Fig. 4.2-Testarea prin trageri a muniției realizată prin aplicarea tehnologiei integrată de fabricație

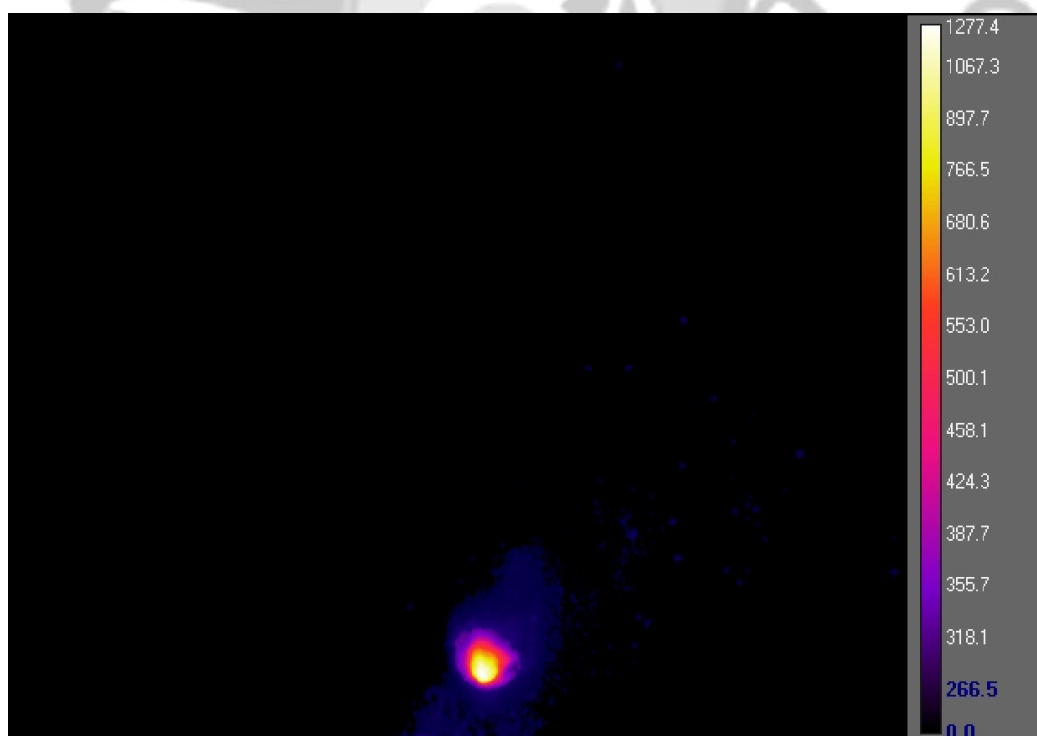


Fig. 4.3-Măsurarea în regim dinamic (prin tragere) a căldurii de combustie dezvoltată de calupul pirotehnic)

REZULTATE OBȚINUTE:

În urma parcurgerii activităților prevăzute în etapa I, au fost elaborate, pe baza activităților de cercetare-dezvoltare, proiectare și experimentare următoarele documentații și rapoate:

- **Raport tehnico-științific de cercetare** – cu privire la compoziția optimă pentru realizarea calupului pirotehnic.
- **Raport de securitate pirotehnică, Elaborare studiu de securitate pirotehnică** – cu privire la normele de securitate, consemnele pirotehnice și măsuri de protecție la proiectarea fluxului integrat de fabricație a muniției Flare
- **Model teoretic al configurației structurale a muniției rectangulare de tip Flare, Model conceptual privind structura tipică a muniției rectangulare de tip contramăsura termică Flare** – model 3D al muniției, cu verificarea abaterilor dimensionale acceptabile și simularea funcționării muniției din punct de vedere cinetic și gazo dinamic.
- **Metode de evaluare, caracterizare, testare și certificare a reperelor mecanice și pirotehnice utilizate la fabricația muniției de tip Flare** – Metodologie de verificare și testare a caracteristicilor mecanice, pirotehnice și de siguranță a muniției realizate și a elementelor de muniție.
- **Documentație tehnică de fabricație a prototipului industrial** – Pentru produsul *FLARE 1x1x8 inch* și *FLARE 2x1x8 inch*.
- **Documentație tehnologică de fabricație a modelului experimental, cu caracteristici optimizate, obținut prin aplicarea tehnologiilor integrate inovative** - Pentru produsul *FLARE 1x1x8 inch* și *FLARE 2x1x8 inch*.
- **Specificație tehnică de evaluare, avizare, verificare și demonstrarea funcționalității modelului prototip experimental** - Validarea tehnologiei de fabricație și a produselor realizate prin evaluarea preliminară a funcționalității acestora.

DISEMINAREA PE SCARA LARGA, PRIN COMUNICAREA SI PUBLICAREA NATIONALA/INTERNATIONALA A REZULTATELOR

Activitățile de diseminare a rezultatelor cercetării au cuprins și publicări ale rezultatelor științifice în cadrul unor reviste științifice de știința și ingineria materialelor dintre care amintim:

■ **Elaborarea și publicarea rezultatelor științifice acumulate pe parcursul derularii proiectului** în reviste cotate B+ (min.1);

Cristiana Epure, Tudor-Viorel Țigănescu, Ovidiu Iorga*, Alexandru Marin, Mihail Munteanu, Teodora Zecheru, Andrei Șchiopu, Bogdan Pulpea – “*Fuel ratio and additives influence on the combustion parameters of novel polyurethane-based flares*” *Materiale Plastice (Mater. Plast.)*, Year 2020, Volume 57, Issue 4 – articol acceptat la publicare;

■ Crearea paginii WEB a proiectului CHIMERA;

În cadrul **Activității 1.3** pagina de WEB a proiectului a fost realizată la adresa:

romarm.ro/qrfiles/uploads/2014/03/PROIECT-59PTE-CHIMERA.pdf

Contact: Ing. Adrian-Mircea PENE, e-mail: ampene61@gmail.com;; Strada Bulevardul Timișoara nr. 5B, București, Sector 6, Telefon: +4-021-317-197, Fax: +4-021-317-194, Mobil: +4-0723-438-340.

