

Proprietățile explozive ale GPL de uz casnic (aragaz)

Baron Octavia, Buliga Vasilica Irina, Szöllösi-Moța Andrei
INCD-INSEMEX Petroșani

Rezumat

În prezentul articol se prezintă rezultatele experimentărilor efectuate în scopul stabilirii domeniilor de explozivitate și respectiv detonabilitate ale amestecurilor de gaz petrolier lichefiat (GPL) și aer. De asemenea, pentru amestecurile testate, s-au determinat presiunile și vitezele de explozie.

Rezultatele experimentărilor efectuate se constituie într-o bază de date menită a fundamenta științific cauzele producerii unor accidente determinate de explozii de GPL, precum și măsurile de prevenire a unor astfel de evenimente.

1. Produsul supus experimentărilor

Au fost supuse testelor gaz petrolier lichefiat îmbuteliat, sub presiune, într-o butelie pentru aragaz. Densitatea produsului lichid:

Prin analiza cromatografică, s-a determinat compoziția chimică a GPL, redată în tabelul nr. 1.1. Grupând componentii GPL - ului, redați în tabelul nr. 1.1, după numărul de atomi de carbon din moleculă, s-a obținut compoziția chimică redată în tabelul nr. 1.2.

Tabel nr. 1.1. Compoziția chimică a GPL

Componenți ai GPL	Concentrație (% m/m)
Metan	0,03
Etan	0,04
Propan	6,90
Propilenă (propenă)	1,12
iso-Butan	47,75
Butan	10,62
trans-2-Butenă	13,87
1-Butenă	13,09
iso-Butenă	1,53
cis-2-Butenă	4,80
iso-Pentan	0,02
1,3-Butadienă	0,23

Tabel nr. 1.2. Compoziția chimică a GPL

Componenți prezenți în GPL	Concentrație (% m/m)
Metan	0,03
Etan	0,04
Hidrocarburi C ₃ (saturate și nesaturate)	8,02
Hidrocarburi C ₄ (saturate și nesaturate)	91,89
Hidrocarburi C ₅ (saturate și nesaturate)	0,02

2. Parametrii de explozivitate ai componentilor GPL

În tabelul nr. 2.1., se prezintă parametrii de explozivitate pentru componentii identificați în GPL. Pe baza compoziției chimice, prezentată în tabelul nr. 1.1, precum și a datelor prezentate în tabelul nr. 2.1, s-au determinat, prin calcul, următorii parametrii pentru GPL:

- masa moleculară medie = 55,85 g/mol;

- limita inferioară de explozivitate = 1,67 % v/v;
- limita superioară de explozivitate = 9,07 % v/v;
- concentrația gazului de aragaz la compoziția stoechiometrică, corespunzătoare arderii complete = 3,29 % v/v

Tabel nr. 2.1. Parametrii de explozivitate ai GPL

Compoziții ai GPL	Masa molară (g/mol)	Limita inferioară de explozivitate [%v/v]	Limita superioară de explozivitate [%v/v]	Temperatura de aprindere (°C)	Energia minimă de aprindere (mJ)
Metan	16,04	5	15	537	0,28
Etan	30,07	3	12,5	510	0,22
Propan	44,10	2,1	10,0	470	0,24
Propenă	42,08	2,0	11,1	455	0,282
iso-Butan	58,12	1,8	8,5	460	0,16
Butan	58,12	1,5	8,5	372	0,16
trans-2-Butenă	56,11	1,3	9,8	324	
1-Butenă	56,11	1,6	10	440	
iso-Butenă	56,11	1,8	8,8	465	
cis-2-Butenă	56,11	1,8	9,7	324	
2-Metil-butan (iso-pentan)	72,15	1,3	8,0	420	
1,3-Butadienă	54,09	1,1	12,5	415	

2. Cercetări experimentale

Pentru studiul experimental al proprietăților explozive ale gazului pentru aragaz (GPL) s-a considerat oportună utilizarea tehnicii tubului de șoc. Măsurarea parametrilor caracteristici proceselor de explozie realizate s-a efectuat cu un sistem multicanal de înregistrare a fenomenelor tranzitorii. Opțiunea utilizării tehnicii tubului de șoc este motivată de anumite facilități atât în realizarea echipamentului de testare cât și în măsurarea și interpretarea rezultatelor, și anume:

- posibilitatea de a realiza amestecuri explozive cu concentrația GPL strict determinată;
- posibilitatea dozării unor cantități mici de gaz pentru aragaz;
- posibilitatea utilizării diverselor surse de inițiere (amorse); cu valoare a energiei cunoscută;
- posibilitatea măsurării diversilor parametri caracteristici proceselor explozive obținute, la distanțe prestabilite de locul inițierii.

3.1. Condiții de experimentare

Experimentările au fost efectuate în Poligonul INSEMEX Petroșani.

Tubul de șoc utilizat pentru efectuarea testelor este prezentat în fig. nr. 3.1. și FOTO 3.1. Inițierea proceselor explozive s-a realizat la capătul închis al tubului de șoc, locul amplasării amorselor fiind evidențiat în schița din fig. 3.1.

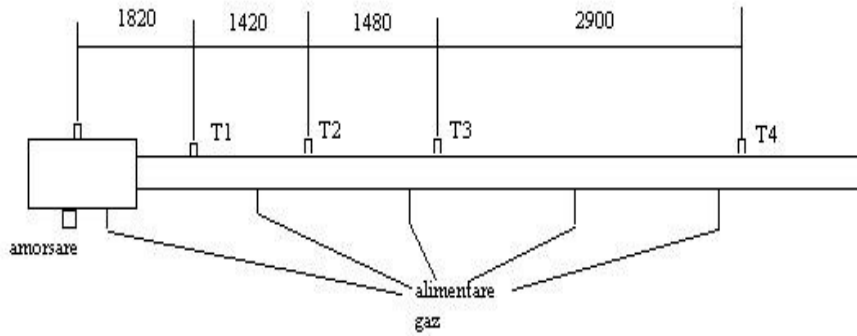


Fig. nr. 3.1. Tub de șoc



FOTO 3.1. Tub de șoc

a. Caracteristici tub de șoc:

- Lungime: 11 m; Volum: 107,5 L

b. Traductori piezoelectrice utilizați pentru măsurarea parametrilor proceselor explozive (presiuni, viteze), montați pe tub la distanțele prezentate în schița din fig. nr. 3.1:

T1	22856 PCB	6,81 bar/volt
T2	19625 PCB	13.899 bar/volt
T3	19624 PCB	13,899 bar/volt
T4	22381 PCB	2,59 bar/volt

c. Amorse utilizate pentru aprinderea amestecurilor de "gaz de aragaz – aer":

A1 : capsă detonantă electrică milisecundă, tip DeM-Zb, nr. 8.

A2 : A1+ 5 g amestec exploziv *

A3 : A1 + 7 g amestec exploziv *

A4 : A1 + 10 g exploziv plastic HITEX

Amestec exploziv constituit din: 90% PETN + 10% TNT

d. Energii specifice corespunzătoare amorselor:

- Amorsa A1: 10 kJ
- Amorsa A2: 16,44 kJ
- Amorsa A3: 19,02 kJ
- Amorsa A4: 21,7 kJ

3.2. Experimentări și rezultate

Pentru efectuarea testelor, gazul pentru aragaz a fost introdus în tubul de șoc prin patru ștuțuri. Acest mod de alimentare multiplă a tubului de șoc, precum și practicarea unui timp de așteptare până la inițierea aprinderii, cuprins între 5 și 7 minute (determinat experimental), au asigurat omogenizarea amestecurilor "gaz de aragaz – aer". Gazul pentru aragaz a fost testat în domeniul de concentrații: 0,56% ÷ 13,02%. În interiorul acestui domeniu de concentrații se înscrie domeniul de explozivitate al gazului pentru aragaz (1,67 % - 9,07 %) determinat prin calcul, pe baza compoziției sale chimice și a domeniilor de explozivitate ale componentelor.

Au fost efectuate 34 teste. Măsurătorile de presiune și viteze de ardere s-au efectuat cu un sistem de achiziție de date analog digital și traductori de presiune piezoelectrice, montați pe tub, conform schemei din fig. nr. 3.1. Vitezele de ardere au fost calculate între traductorii de presiune. Valorile de presiune înregistrate și vitezele de ardere calculate între traductori și media pe tub sunt prezentate în tabelele centralizatoare nr. 3.2.1 și 3.2.2. Fenomenele observate la testele efectuate, aplicând tehnica tubului de șoc, se redau în tabelul nr. 3.2.3. unde testele au fost ordonate după concentrația crescândă a gazului pentru aragaz în amestecurile cu aerul realizate în tubul de șoc.

Tabel nr.3.2.1. Centralizator cu rezultatele testelor efectuate pe tubul de șoc

Nr. test	(% vol.)Concen-trație	Amorsa	Numărul de traductori T _{1...4}								V ₁ m/s	V ₂ m/s	V ₃ m/s	(m/s)V _{medie}
			T1		T2		T3		T4					
			P ₁ bar	t ₁ ms	P ₂ bar	t ₂ ms	P ₃ bar	t ₃ ms	P ₄ bar	t ₄ ms				
	6,70	A ₂	34,00	0,009	37	0,18	22,80	2,900	12,6	6,300	1663	1288	870	1082
	8,465	A ₂	6,08	0,016	7,40	1,548	-	-	4,7	8,784	676	610		625
	2,88	A ₂	8,20	0,024	5,80	2,244	-	-	4,6	9,476	643	609		617
	1,86	A ₂	7,50	0,024	5,50	2,264	7,30	4,716	4,2	9,572	637	604	602	611
	1,77	A ₂	10,20	0,020	5,70	2,224	6,85	4,556	4,3	9,488	648	633	593	616
	1,58	A ₂	9,80	0,016	7,80	2,252	7,40	4,480	4,5	9,424	647	653	592	620
	1,40	A ₂	9,10	0,016	8,10	2,044	7,25	4,300	5,1	9,212	708	654	596	635
	0,93	A ₂	9,70	0,016	5,90	2,224	7,05	4,536	4,6	9,360	648	636	619	624
	0,56	A ₂	9,30	0,028	5,80	2,232	7,30	4,572	4,5	9,384	644	634	608	623
10.	0,56	A ₂	9,40	0,016	8,40	2,212	7,20	4,480	4,5	9,420	652	650	591	620
11.	0,00	A ₂	9,50	0,012	8,34	2,096	7,12	7,320	5,1	9,240	689	663	596	633
12.	1,86	A ₁	4,10	0,052	2,78	3,000	3,60	6,156	1,8	12,37	482	469	468	472
13.	0,00	A ₁	4,00	0,052	2,80	2,960	3,60	5,980	1,8	12,13	488	491	472	481
14.	1,67	A ₁	4,00	0,044	2,78	2,98	3,60	6,08	1,85	12,29	486	478	468	475
15.	10,14	A ₁	9,10	0,024	9,80	1,912	8,40	4,108	8,2	8,730	755	672	635	671
16.	11,16	A ₁	10,30	0,02	10,1	1,944	9,30	4,008	7,1	8,372	745	717	671	700
17.	13,02	A ₁	10,10	0,052	8,10	2,136	6,70	4,652	4,73	9,770	676	590	571	599
18.	6,7	A ₁	5,80	0,032	6,00	2,488	5,10	5,17	3,8	10,64	581	550	528	546
19.	8,93	A ₁	13,90	0,020	9,80	1,796	9,30	3,92	6,6	8,344	804	694	666	703
20.	8,93	A ₂	38,00	0,008	35,00	0,984	11,30	2,72	9,2	6,440	1466	991	745	913
21.	3,90	A ₂	10,7	0,032	9,63	2,104	7,60	4,33	4,9	9,412	681	665	576	622
22.	4,56	A ₂	10,5	0,02	9,76	2,112	7,50	4,34	4,8	9,340	684	664	580	624
23	5,21	A ₂	14,70	0,008	9,31	1,856	8,95	3,86	15,56	7,664	775	740	764	760

Continuare tabel nr. 3.2.1.

23.	6,05	A ₂	43,10	0,02	37,00	0,82	35,2	1,68	10,77	4,66	1775	1720	978	1254
24.	6,79	A ₂	42,00	0,012	40,50	0,82	34,00	1,69	11,2	4,64	1740	1720	994	1263
25.	7,44	A ₂	52,00	0,016	33,00	0,884	31,10	1,77	11,3	4,284	1666	1629	1175	1371

26.	8,37	A ₂	37,40	0,012	28,1	0,916	14,20	2,268	8,3	5,932	1584	1107	791	983
27.	6,98	A ₃	54,90	0,02	39,6	0,832	19,40	2,072	10,78	5,416	1740	1182	875	1078
28.	7,16	A ₃	37,00	0,02	42,05	0,832	38,00	1,75	12,5	4,516	1731	1608	1070	1304
29.	9,02	A ₁	11,50	0,008	10,5	1,784	9,90	3,708	6,5	8,050	814	767	676	728
30.	9,49	A ₁	12,20	0,032	10,37	1,78	7,80	3,816	6,2	8,370	816	728	635	696
31.	10,14	A ₁	9,60	0,02	10,3	1,78	8,20	3,89	6,2	8,510	804	708	625	683
32.	10,80	A ₁	10,07	0,02	8,0	2,06	6,60	4,45	4,7	9,270	702	614	603	627
33.	6,98	A ₄	38,04	0,008	36,4	0,848	34,30	1,772	12,5	4,560	1714	1587	1063	1292

Tabel nr. 3.2.2. Centralizator rezultate teste

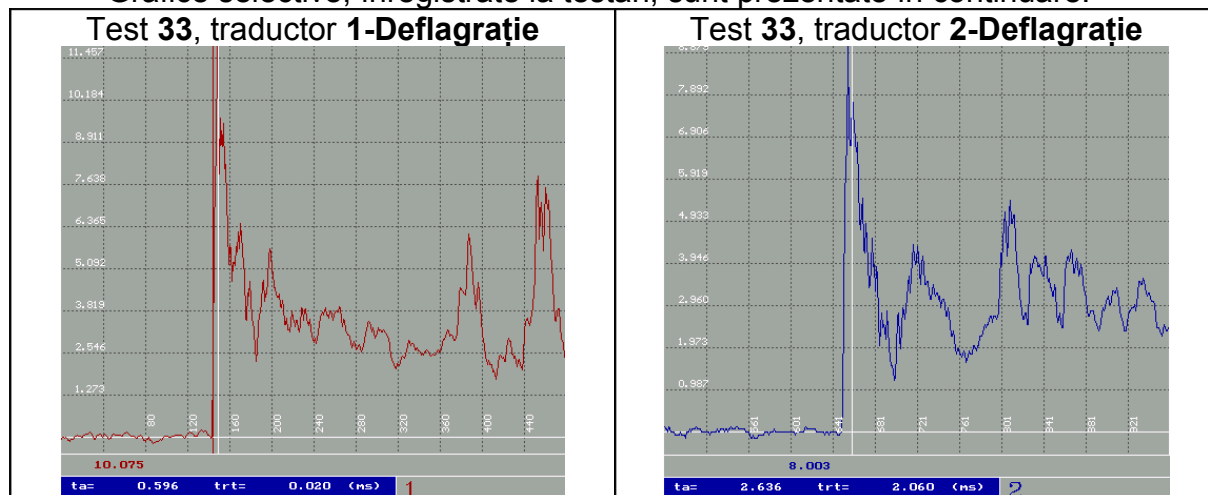
Nr. Test	Amorsa	Concentrația GPL în aer %vol.	Viteze de ardere, m/s			
			V ₁	V ₂	V ₃	V _{medie}
			(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
13	A ₁	0.00	488	491	472	481
14	A ₁	1.67	486	478	468	475
12	A ₁	1.86	482	469	468	472
18	A ₁	6.70	581	550	528	546
19	A ₁	8.93	804	694	666	703
30	A ₁	9.02	814	767	676	728
31	A ₁	9.49	816	728	635	696
32	A ₁	10.14	804	708	625	683
16	A ₁	11.16	745	717	671	700
17	A ₁	13.02	676	590	571	599
11	A ₂	0.00	689	663	596	633
9	A ₂	0.56	644	634	608	623
10	A ₂	0.56	652	650	591	620
8	A ₂	0.93	648	636	619	624
7	A ₂	1.40	708	654	596	635
6	A ₂	1.58	647	653	592	620
5	A ₂	1.77	648	633	593	616
4	A ₂	1.86	637	604	602	611
3	A ₂	2.88	643	609		617
21	A ₂	3.90	681	665	576	622
22	A ₂	4.56	684	664	580	624
23	A ₂	5.21	775	740	764	760
24	A ₂	6.05	1775	1720	978	1254
25	A ₂	6.79	1740	1720	994	1263
26	A ₂	7.44	1666	1629	1175	1371
27	A ₂	8.37	1584	1107	791	983
2	A ₂	8.465	676	610		625
28	A ₃	6.98	1740	1182	875	1078
29	A ₃	7.16	1731	1608	1070	1304
34	A ₄	6.98	1714	1587	1063	1292

Tabel nr. 3.2.3. Fenomenele observate la testele efectuate

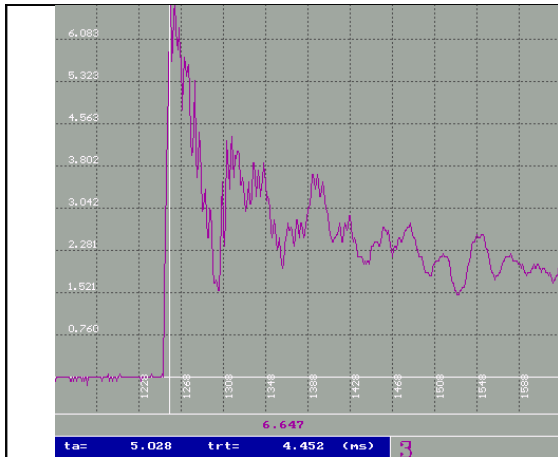
Nr. test	Concentrația GPL în aer, (% v/v)	Amorsa	Fenomene observate
11	0,00	A2	Efect amorsă
9	0,56	A2	Amestec ne-inițiat. Efect amorsă
10	0,56	A2	Amestec ne-inițiat. Efect amorsă

8	0,93	A2	Amestec ne-inițiat. Efect amorsă
7	1,40	A2	Amestec ne-inițiat. Efect amorsă
6	1,58	A2	Amestec ne-inițiat. Efect amorsă
14	1,67	A1	Amestec ne-inițiat. Efect amorsă
5	1,76	A2	Deflagrație slabă
4	1,86	A2	Deflagrație slabă
12	1,86	A2	Amestec ne-inițiat. Efect amorsă
13	1,86	A1	Amestec ne-inițiat. Efect amorsă
3	2,88	A2	Deflagrație slabă
21	3,90	A2	Deflagrație mai puternică decât la c=2,88% v/v
22	4,56	A2	Deflagrație mai puternică decât la c=3,90% v/v
23	5,21	A2	Deflagrație mai puternică decât la c=4,56% v/v
1	5,58	A2	Deflagrație mai puternică decât la c=5,21% v/v
24	6,05	A2	Detonație puternică, pe ultimul tronson al tubului, ca deflagrație.
18	6,70	A1	Deflagrație slabă
25	6,70	A2	Detonație puțin mai slabă decât la c = 6,05%.
28	6,98	A3	Detonație care spre capătul tubului se propagă ca deflagrație
34	6,98	A4	Detonație
29	7,16	A3	Detonație
26	7,44	A2	Detonație
27	8,37	A2	Detonație, pe ultimul tronson al tubului de șoc deflagrație.
19	8,43	A1	Deflagrație slabă
2	8,465	A2	Deflagrație slabă
20	8,93	A2	Detonație slabă, care se propagă ca deflagrație
30	9,02	A1	Deflagrație pulsatorie
31	9,49	A1	Deflagrație
32	10,14	A1	Deflagrație slabă
15	10,14	A1	Deflagrație slabă
33	10,80	A1	Deflagrație slabă
16	11,16	A1	Deflagrație slabă
17	13,02	A1	Df. f. slabă. Vitezele sunt apropiate de vit. de detonație ale A1.

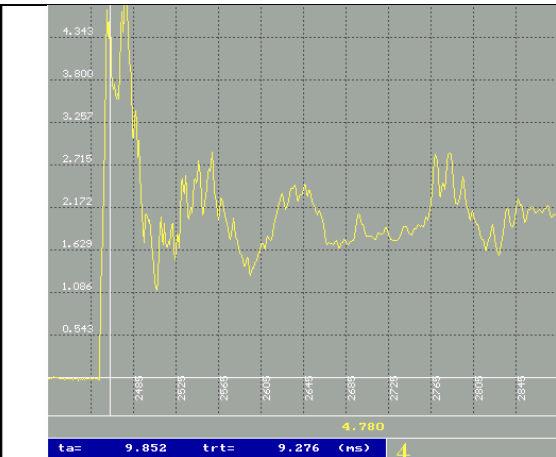
Grafice selective, înregistrate la testări, sunt prezentate în continuare:



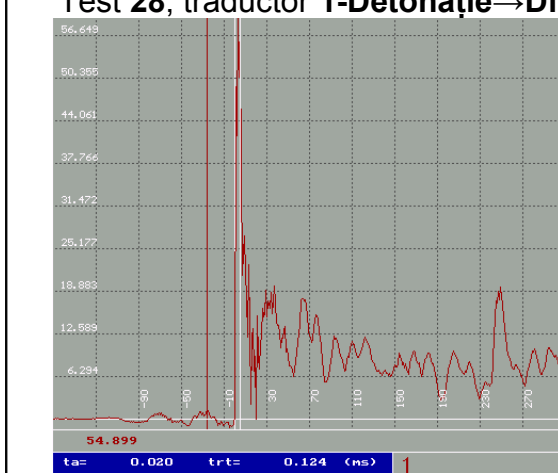
Test 33, traductor 3-Deflagrație	Test 33, traductor 4-Deflagrație
-----------------------------------------	-----------------------------------------



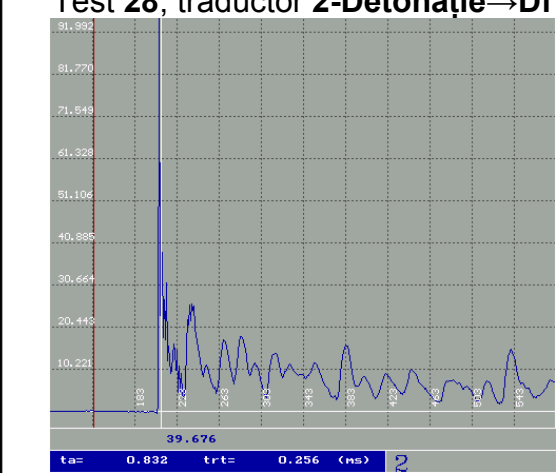
Test 28, traductor 1-Detonație→Df



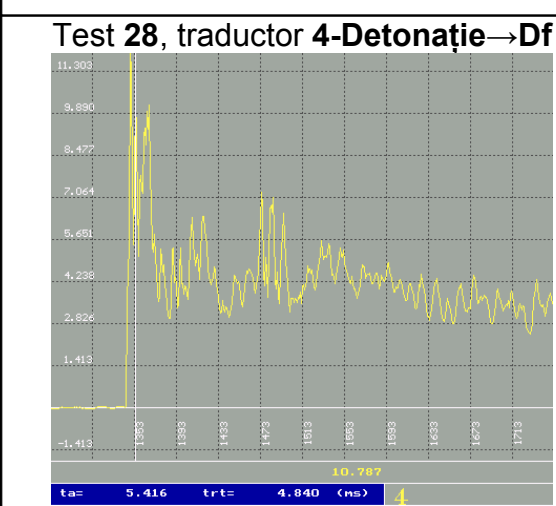
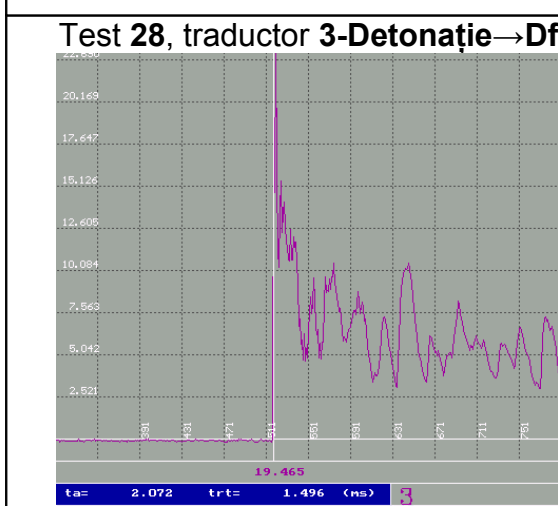
Test 28, traductor 2-Detonație→Df



Test 28, traductor 3-Detonație→Df

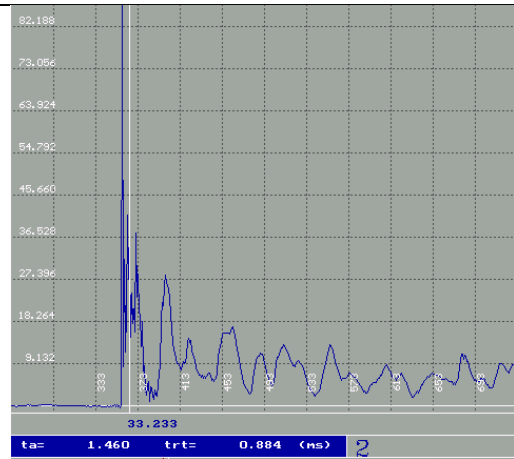
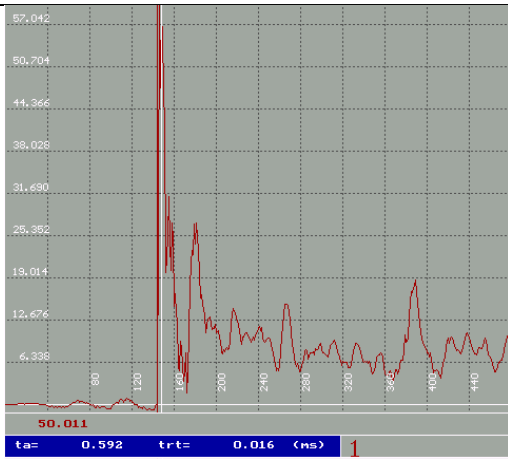


Test 28, traductor 4-Detonație→Df

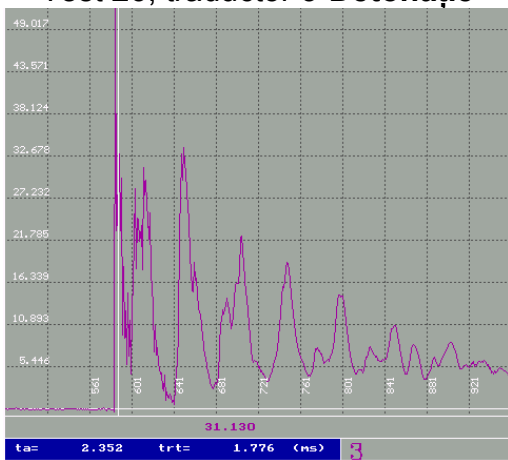


Test 26, traductor 1-Detonație

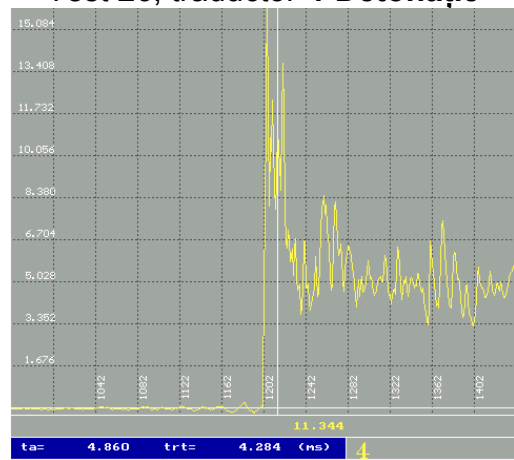
Test 26, traductor 2-Detonație



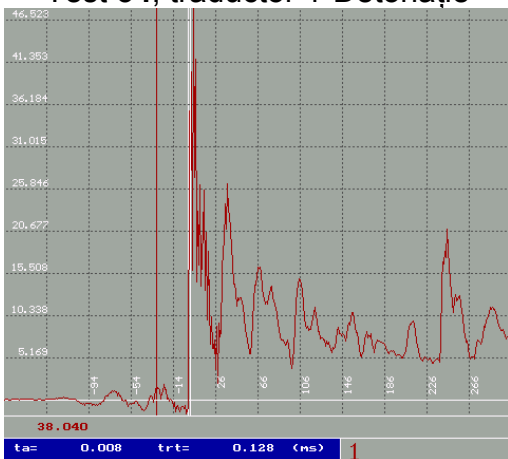
Test 26, transducer 3-Detonație



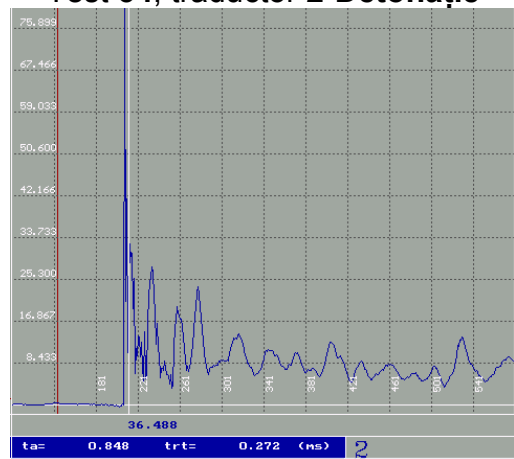
Test 26, transducer 4-Detonație



Test 34, transducer 1-Detonație

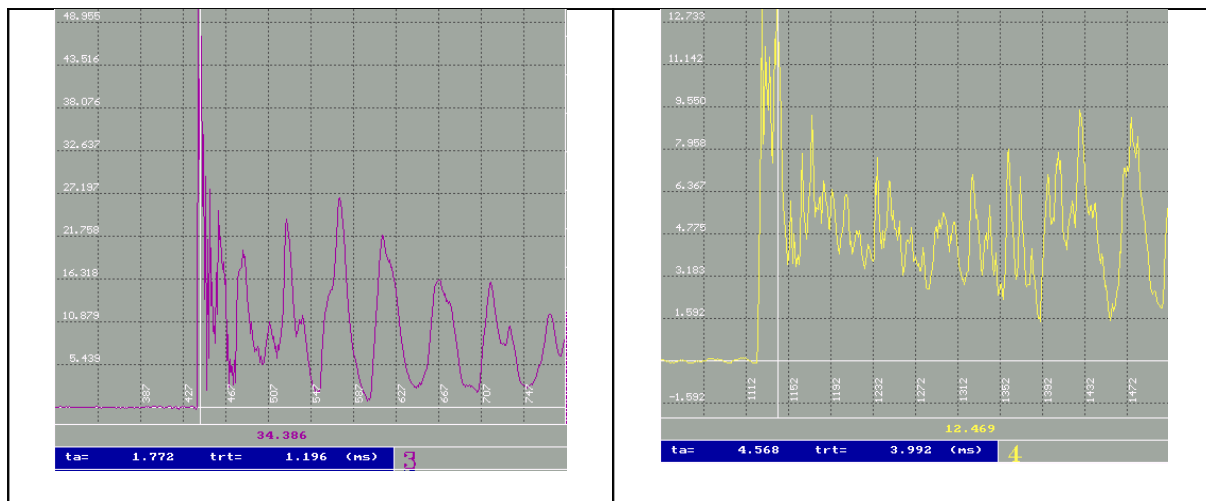


Test 34, transducer 2-Detonație



Test 34, transducer 3-Detonație

Test 34, transducer 4-Detonație



Pe baza datelor din tabelele 3.2.1÷3.2.3, se prezintă, în fig 3.2.1 și 3.2.4, vitezele de ardere determinate pentru concentrații diferite de GPL, exploziile fiind inițiate cu amorsele A1 și A2. Eliminând testele cu rezultate afectate de erori semnificative, s-au trasat diagramele variației vitezelor de ardere funcție de concentrația GPL, pentru inițierea exploziilor cu A1, A2, A3 și A4 (fig. 3.2.2.; 3.2.5; 3.2.7). Corelația vitezei de ardere cu concentrația de GPL, pentru inițierea exploziilor cu amorsele A1 și A2 se prezintă în fig. 3.2.3. și 3.2.6.

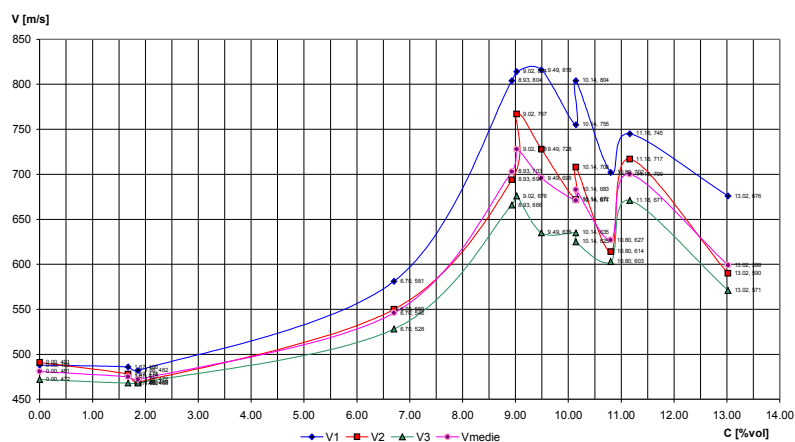


Fig. 3.2.1. Vitezele de ardere determinate pentru diverse concentrații ale GPL, inițiere cu amorsa A1

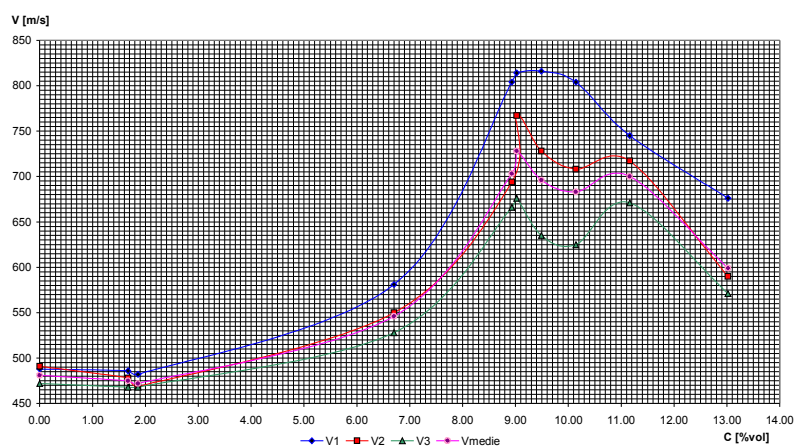


Fig. 3.2.2. Variația vitezelor de ardere funcție de concentrația GPL, inițiere cu amorsa A1

Fig. 4. Corelații privind vitezele de ardere în funcție de concentrația GPL-ului, inițiere cu amorsa A1

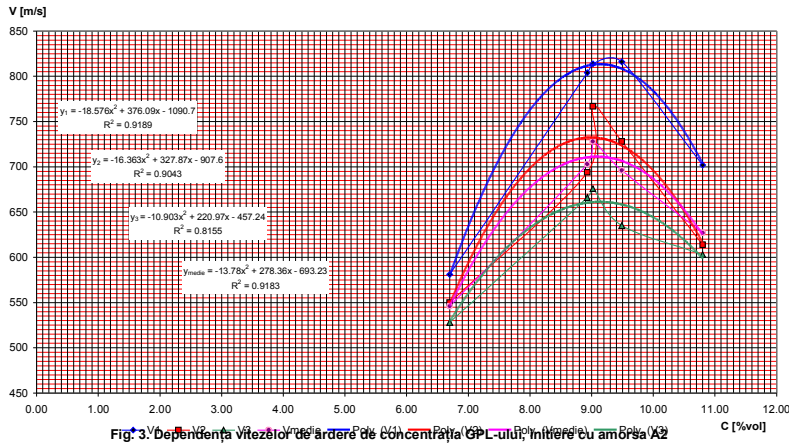


Fig. 3. Dependenta vitezei de ardere de concentrația GPL-ului, inițiere cu amorsa A2

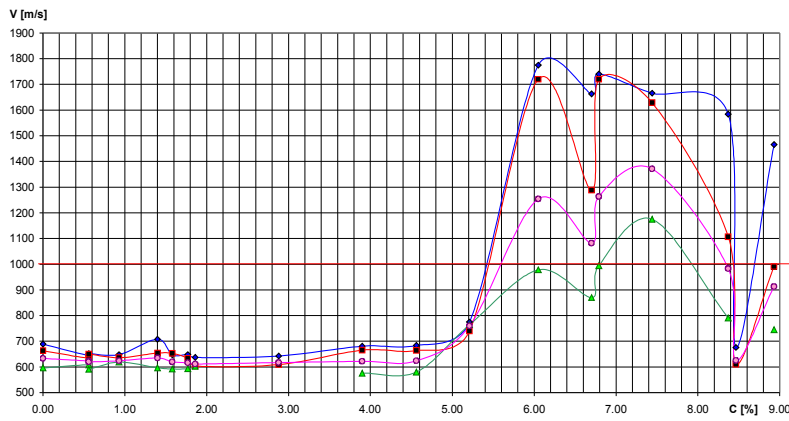
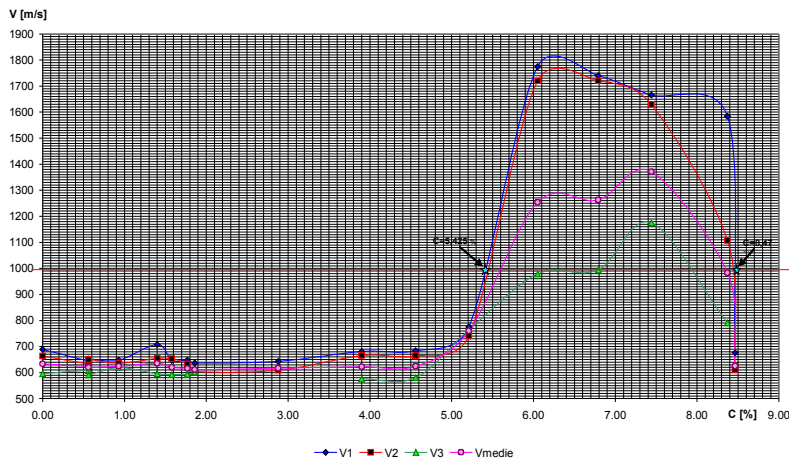
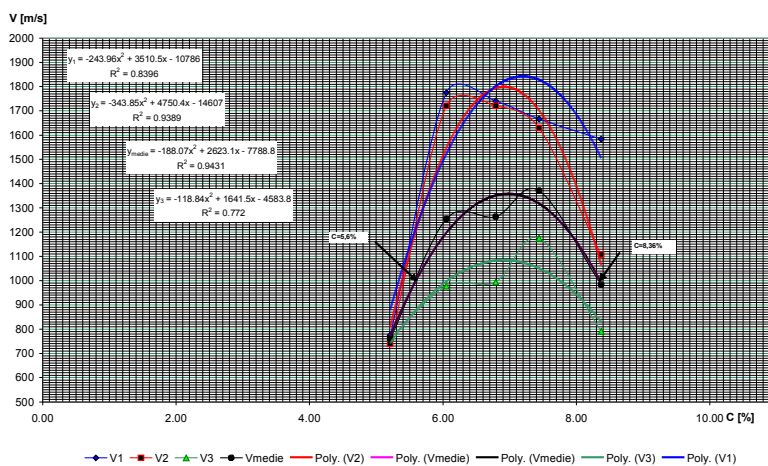


Fig. 3. Viteza de ardere în funcție de concentrația GPL-ului, inițiere cu amorsa A2



◆ V1 ■ V2 ▲ V3 ● Vmedie



◆ V1 ■ V2 ▲ V3 ● Vmedie — Poly. (V2) — Poly. (Vmedie) — Poly. (Vmedie) — Poly. (V3) — Poly. (V1)

Fig. 3.2.3. Corelația viteze de ardere-concentrația GPL, inițiere cu amorsa A1

Fig. 3.2.4. Vitezele de ardere determinate pentru diverse concentrații ale GPL, inițiere cu amorsa A2

Fig. 3.2.5. Variația vitezelor de ardere funcție de concentrația GPL, inițiere cu amorsa A2

Fig. 3.2.6. Corelația viteze de ardere-concentrația GPL, inițiere cu amorsa A2

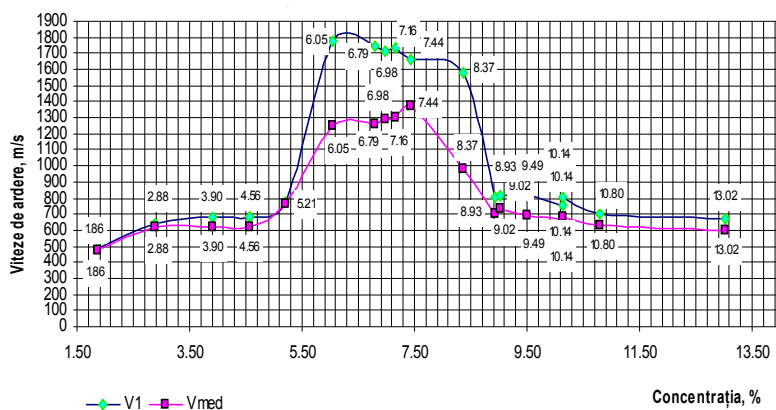


Fig. 3.2.7. Vitezele de ardere în funcție de concentrația GPL, inițiere cu amorsele A1, A2, A3, A4.

4. Concluzii

Din analiza datelor înscrise în tabelele nr. 3.2.1, 3.2.2. și 3.2.3, a diagramelor prezentate în fig. 3.2.1÷3.2.7, precum și a graficelor înregistrate la efectuarea testelor, se desprind următoarele concluzii:

a. Tipuri de procese explozive obținute în cadrul testelor efectuate: deflagrații, detonații propagate, spre capătul tubului de șoc, ca deflagrații, detonații.

b. Tipurile de procese explozive obținute (clasificate în funcție de vitezele de ardere), au fost dependente de:

- concentrația gazului pentru aragaz în amestecurile cu aer, realizate în tubul de șoc;
- energia sursei de inițiere a arderii amestecurilor combustibil – aer.

c. Limitele de explozivitate ale amestecului „GPL – aer” sunt următoarele:

Determinate prin calcul:

- limita inferioară de explozivitate: 1,67 % vol;
- limita superioară de explozivitate: 9,07 % vol.

Determinate experimental:

- limita inferioară de explozivitate: 1,9 % vol;
- limita superioară de explozivitate: 10,8 % vol.

Limitele de detonație ale amestecului „GPL – aer” se înscriu în interiorul limitelor de explozivitate și sunt următoarele:

- limita inferioară de detonație: 5,60 % vol;
- limita superioară de detonație: 8,36 % vol;

d. Pentru amestecurile „GPL – aer”, inițiate cu amorsa A1 (16,44 kJ), s-au obținut deflagrații, în domeniul de concentrații 1,9 % - 10,8 %.

Creșterea energiei sursei de inițiere (amorsa A2 = 16,44 kJ) a facilitat inițierea directă la detonație a amestecurilor „GPL – aer”. Domeniul de concentrații în care s-a obținut inițierea directă la detonații a fost: 6,05% ÷ 8,93%. În interiorul acestui domeniu, detonațiile inițiate s-au propagat fie ca detonații, fie ca detonații transformate, spre sfârșitul tubului de șoc, ca deflagrații. În exteriorul domeniului de concentrații 6,05 % ÷ 8,93 % s-au obținut deflagrații a căror intensitate a fost dependentă de valoarea concentrației gazului pentru aragaz.

Creșterea energiei sursei de aprindere a amestecurilor combustibile „GPL – aer”, la valori de 19,02 kJ (amorsa A3) și 21,7 kJ (amorsa A4) a facilitat inițierea directă a detonației în vecinătatea sursei de inițiere și propagarea ei pe toată

lungimea tubului de șoc. Amestecurile „GPL – aer” au detonat la inițierea cu amorsele A2 (16,44 kJ), A3 (19,02 kJ) și A4 (21,7 kJ), în domeniul de concentrații 5,6%-8,36 %.

e. Parametri caracteristici detonațiilor amestecurilor de „GPL – aer”:

- *Pentru concentrația combustibilului egală cu 6,98 % și amorsa A4:*
 - Viteze de detonație: 1714 m/s pe canalul 1; 1292 m/s, medie;
 - Presiuni de detonație: 38,04 bar pe canalul 1; 12,5 bar pe canalul 4;
- *Pentru concentrația combustibilului egală cu 7,16 % și amorsa A3:*
 - Viteze de detonație: 1731 m/s pe canalul 1; 1304 m/s, medie.
 - Presiuni de detonație: 37 bar pe canalul 1; 12,5 bar pe canalul 4.
- *Pentru concentrația combustibilului egală cu 7,44 % și amorsa A2:*
 - Viteze de detonație: 1666 m/s pe canalul 1; 1371 m/s, medie.
 - Presiuni de detonație: 52 bar pe canalul 1; 11,3 bar pe canalul 4.

5. Bibliografie

<http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/>

http://www.cfbp.fr/?p_idref=704

<http://www.CHEMINFO>

IPCSINTOX Databank

INRS, Gaz et vapeurs