

MATERIAŁY WYBUCHOWE	NORMA BRANŻOWA	BN-80
	Górnice materiały wybuchowe	6091-42
	Obliczanie parametrów użytkowych	Grupa katalogowa 1079

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy jest metoda obliczania ważniejszych parametrów użytkowych charakteryzujących górnice materiały wybuchowe.

W dalszej treści normy nazwa materiały wybuchowe została zastąpiona skrótem MW.

1.2. Obliczane parametry

- skład chemiczny produktów wybuchu,
- bilans tlenowy MW,
- objętość właściwa produktów wybuchu,
- ciepło wybuchu,
- koncentracja energii MW,
- temperatura wybuchu,
- ciśnienie produktów wybuchu,
- idealna praca wybuchu,
- energia właściwa MW.

1.3. Zakres stosowania normy. Metoda obliczeniowa opisana w normie nadaje się do obliczania charakterystyk MW o dodatnim, zerowym oraz nieznacznie (do $-10^0/0$) ujemnym bilansie tlenowym. Tym samym objęty jest praktycznie pełny asortyment górnicznych MW.

2. METODA OBLICZANIA

2.1. Obliczanie składu chemicznego produktów wybuchu

2.1.1. Ustalenie chemicznego składu MW. Chemiczny skład MW należy ustalić przez obliczenie

oddzielnie dla każdego pierwiastka występującego w MW liczby gramatomów pierwiastka (Y_i) w 1 kg MW.

Liczbę gramatomów i -tego pierwiastka (A_{ij}), odpowiadającą procentowej zawartości substancji (S_j) w MW, należy obliczyć wg wzoru

$$A_{ij} = \frac{a_i(S_j) x_j}{100} \quad (1)$$

w którym:

$a_i(S_j)$ — liczba gramatomów i -tego pierwiastka w 1 kg składnika S_j , odczytana z tablicy wg załącznika 1 lub w razie braku danych w tej tablicy — z innego źródła, które należy podać,

x_j — zawartość składnika S_j w MW, %.

Liczbę gramatomów i -tego pierwiastka w 1 kg MW (Y_i) obliczyć wg wzoru

$$Y_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} \quad (2)$$

w którym A_{ij} — liczba gramatomów i -tego pierwiastka, obliczona wg wzoru (1).

Sporządzić tabelaryczne zestawienie wg tablicy, wstawiając w odpowiednich kolumnach i rubrykach wartości A_{ij} obliczone dla poszczególnych składników i pierwiastków MW wg wzoru (1).

Mając obliczone w podany sposób liczby gramatomów poszczególnych pierwiastków wystę-

Substancje — składniki MW		Liczba gramatomów poszczególnych pierwiastków, przypadająca na 1 kg MW									
nazwa (symbol)	zawartość w MW, %	C	H	O	N	Al	Ca	..	..	..	P_i
S_1	x_1	A_{11}	A_{21}	.	.	.	.	.	.	.	A_{i1}
S_2	x_2	A_{12}	A_{22}	.	.	.	.	.	.	.	A_{i2}
.
S_j	x_j	A_{1j}	A_{2j}	.	.	.	.	.	.	.	A_{ij}
Razem w MW	100	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	.	Y_i

Zgłoszona przez Zjednoczenie Przemysłu Tworzyw i Farb PLASTOFARB

Ustanowiona przez Naczelnego Dyrektora Zjednoczenia Przemysłu Tworzyw i Farb PLASTOFARB dnia 5 września 1980 r. jako norma obowiązująca od dnia 1 lipca 1981 r. (Dz. Norm. i Miar nr 28/1980 poz. 113)

pujących w 1 kg MW, ustalić wzór MW w odniesieniu do 1 kg:

$$C_{Y_1}H_{Y_2}O_{Y_3}N_{Y_4}\dots P_{iY_i} \quad (3)$$

2.1.2. Bilans tlenowy MW obliczyć w procentach wg wzoru:

$$B = 1,6 \cdot (Y_3 - 2Y_1 - 0,5Y_2 - 1,5Y_5 - Y_6 - 0,5Y_7 - 0,5Y_8 + 0,5Y_9 - 2Y_{10} - Y_{11}) \quad (4)$$

2.1.3. Równanie rozkładu MW. Zakładając, że w skład MW wchodzi następujące pierwiastki chemiczne: węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), glin (Al), wapń (Ca), potas (K), sód (Na), chlor (Cl), siarka (S) i bar (Ba) oraz przyjmując bilans tlenowy zgodnie z 2.1.2 i wynikający stąd najbardziej prawdopodobny z punktu widzenia termodynamiki skład produktów wybuchu, należy napisać równanie rozkładu 1 kg MW w postaci:

$$C_{Y_1}H_{Y_2}O_{Y_3}N_{Y_4}Al_{Y_5}Ca_{Y_6}K_{Y_7}Na_{Y_8}Cl_{Y_9}S_{Y_{10}}Ba_{Y_{11}} = \\ = n_1CO_2 + n_2CO + n_3H_2O + n_4N_2 + n_5O_2 + n_6Al_2O_3 + \\ + n_7CaO + n_8KCl + n_9K_2CO_3 + n_{10}NaCl + n_{11}Na_2CO_3 + \\ + n_{12}HCl + n_{13}SO_2 + n_{14}BaO \quad (5)$$

W zależności od tego, czy bilans tlenowy MW jest dodatni, czy ujemny, współczynniki równania (5) obliczyć wg pierwszego lub drugiego wariantu układu równań.

a) Wariant 1; $B \geq 0$

$$n_2 = 0 \quad (6)$$

$$n_{12} = Y_9 - Y_7 - Y_8 \quad (7)$$

Jeżeli $Y_9 < Y_7 + Y_8$, to $n_{12} = 0$

$$n_3 = 0,5 \cdot (Y_2 - n_{12}) \quad (8)$$

$$n_4 = 0,5 \cdot Y_4 \quad (9)$$

$$n_6 = 0,5 \cdot Y_5 \quad (10)$$

$$n_7 = Y_6 \quad (11)$$

$$n_8 = (Y_9 - n_{12}) \frac{Y_7}{Y_7 + Y_8} \quad (12)$$

$$n_9 = 0,5 \cdot (Y_7 - n_8) \quad (13)$$

$$n_{10} = (Y_9 - n_{12}) \frac{Y_8}{Y_7 + Y_8} \quad (14)$$

$$n_{11} = 0,5 \cdot (Y_8 - n_{10}) \quad (15)$$

$$n_1 = Y_1 - n_9 - n_{11} \quad (16)$$

$$n_{13} = Y_{10} \quad (17)$$

$$n_{14} = Y_{11} \quad (18)$$

$$n_5 = 0,5 \cdot (Y_3 - n_3 - 3n_6 - n_7 - 3n_9 - 3n_{11} - 2n_1 - 2n_{13} - n_{14}) \quad (19)$$

Wariant 2; $B < 0$

$$n_5 = 0 \quad (19a)$$

$$n_2 = -\frac{B}{1,6} \quad (6a)$$

$$n_1 = Y_1 - n_9 - n_{11} - n_2 \quad (16a)$$

Pozostałe współczynniki obliczamy jak dla wariantu 1.

2.2. Obliczanie objętości właściwej produktów wybuchu. Objętość właściwą produktów wybuchu (V_0) obliczyć w dm^3/kg wg wzoru

$$V_0 = 22,41 \cdot n_g \quad (20)$$

w którym:

n_g — suma moli gazowych produktów wybuchu 1 kg MW, mol/kg, obliczona wg wzoru:

$$n_g = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_{12} + n_{13} \quad (20a)$$

2.3. Obliczanie ciepła wybuchu

2.3.1. Ciepło tworzenia MW (Q_o) obliczyć w kJ/kg jako sumę ciepła tworzenia poszczególnych składników MW, wg wzoru

$$Q_o = \sum 0,01 \cdot Q_j x_j \quad (21)$$

w którym:

Q_j — ciepło tworzenia j -tego składnika MW, odczytana z tablicy wg załącznika 1 lub w przypadku braku danych w tej tablicy — wzięte z innego źródła, które należy podać, kJ/kg,

x_j — zawartość j -tego składnika w MW, %.

2.3.2. Sumaryczne ciepło tworzenia produktów wybuchu (Q_p) obliczyć w kJ/kg wg wzoru

$$Q_p = \sum E_k \cdot n_k \quad (22)$$

w którym:

E_k — molowa energia wewnętrzna tworzenia k -tego produktu wybuchu (równa molowemu ciepłu tworzenia przy stałej objętości) odczytana z tablicy wg załącznika 2,

n_k — liczba moli k -tego produktu wybuchu 1 kg MW wg równania rozkładu MW (5), mol/kg.

2.3.3. Ciepło wybuchu MW (Q_w) obliczyć w kJ/kg wg wzoru

$$Q_w = Q_p - Q_o \quad (23)$$

w którym:

Q_p — sumaryczne ciepło tworzenia produktów wybuchu, obliczone wg wzoru (22), kJ/kg,

Q_o — ciepło tworzenia MW, obliczone wg wzoru (21), kJ/kg.

2.4. Koncentracja energii MW. Koncentrację energii MW (E_v) obliczyć w kJ/dm^3 wg wzoru

$$E_v = Q_w \cdot d \quad (24)$$

w którym:

Q_w — ciepło wybuchu MW, obliczone wg wzoru (23), kJ/kg,

d — gęstość obliczana MW, kg/dm^3 .

2.5. Obliczanie temperatury wybuchu. Temperaturę wybuchu MW należy obliczać metodą kolejnych przybliżeń, zakładając wstępnie spodziewaną temperaturę wybuchu t_1 , °C. Dla tej temperatury obliczyć sumę energii wewnętrznych

produktów wybuchu (U_1) w kJ/kg wg wzoru

$$\Delta U_1 = \sum \Delta U_k \cdot n_k \quad (25)$$

w którym:

ΔU_k — energia wewnętrzna k -tego produktu wybuchu, odczytana z tablicy wg załącznika 3 lub 4,

n_k — liczba moli k -tego produktu wybuchu 1 kg MW, mol/kg.

Jeżeli obliczona wg wzoru (25) suma energii wewnętrznych (ΔU_1) różni się od obliczonego wg 2.3 ciepła wybuchu (Q_w), to w zależności od tego, czy jest ona większa czy mniejsza od Q_w , należy założyć nową temperaturę wybuchu (t_2 , °C) odpowiednio niższą lub wyższą od poprzednio założonej temperatury t_1 i dla tej temperatury (t_2) obliczyć ΔU_2 .

Jeżeli suma energii wewnętrznych (ΔU_2) dla nowo założonej temperatury wybuchu (t_2) jest w dalszym ciągu większa lub mniejsza (podobnie jak dla temperatury t_1) od Q_w , należy założyć nową temperaturę t_3 i dla niej obliczyć sumę energii wewnętrznych produktów wybuchu wg wzoru (25).

Należy tak postępować aż do momentu znalezienia dwóch temperatur (t_n i t_{n+1}), dla których Q_w znajdzie się w przedziale między ΔU_n i ΔU_{n+1} , tzn. $\Delta U_n > Q_w > \Delta U_{n+1}$ lub $\Delta U_n < Q_w < \Delta U_{n+1}$. Mając ustalone w ten sposób temperatury t_n i t_{n+1} , obliczyć temperaturę wybuchu w K, wg wzoru

$$T_w = \frac{(Q_w - \Delta U_n) \cdot (t_{n+1} - t_n)}{\Delta U_{n+1} - \Delta U_n} + t_n + 273 \quad (26)$$

w którym:

t_n, t_{n+1} — kolejne zakładane temperatury wybuchu, °C,

$\Delta U_n, \Delta U_{n+1}$ — sumy energii wewnętrznych produktów wybuchu, obliczane wg wzoru (25), odpowiednio dla temperatur t_n i t_{n+1} , kJ/kg.

2.6. Obliczanie idealnej pracy wybuchu

2.6.1. Zasada obliczania idealnej pracy wybuchu polega na obliczeniu pracy wykonanej podczas adiabatycznego rozprężania produktów wybuchu od ciśnienia wybuchu do ciśnienia $P_1 = 0,1$ MPa. Wymaga kolejnego obliczenia średniego ciepła właściwego i wykładnika adiabaty gazowych produktów wybuchu, a także ciśnienia wybuchu.

2.6.2. Średnie ciepło właściwe gazowych produktów wybuchu (c_v) obliczyć w J/mol·K wg wzoru

$$c_v = \frac{1000 \left[\Delta U_n^g + (\Delta U_{n+1}^g - \Delta U_n^g) \cdot \frac{T_w - t_n - 273}{t_{n+1} - t_n} \right]}{(T_w - 273) \cdot n_g} \quad (27)$$

w którym:

ΔU_n^g — suma energii wewnętrznych gazowych produktów wybuchu, obliczona wg wzoru (25) dla temperatury t_n wg danych z tablicy załącznika 3, kJ/kg,

ΔU_{n+1}^g — suma energii wewnętrznych gazowych produktów wybuchu, obliczona jw. dla temperatury t_{n+1} wg wzoru (25), kJ/kg,

T_w — temperatura wybuchu, obliczona wg wzoru (26), K,

t_n, t_{n+1} — kolejne założone temperatury wybuchu zgodne z 2.5, °C,

n_g — suma moli gazowych produktów wybuchu 1 kg MW, mol/kg.

2.6.3. Wykładnik adiabaty gazowych produktów wybuchu (k) obliczyć wg wzoru

$$k = 1 + \frac{R}{c_v} \quad (28)$$

w którym:

R — uniwersalna stała gazowa, równa 8,314 J/mol·K,

c_v — średnie ciepło właściwe gazowych produktów wybuchu, obliczone wg wzoru (27), J/mol·K.

2.6.4. Ciśnienie wybuchu (P_w) obliczyć w MPa wg wzoru

$$P_w = n_g \cdot R \cdot T_w \cdot d \cdot 10^{-3} = 0,008314 \cdot n_g \cdot T_w \cdot d \quad (29)$$

w którym:

n_g — suma moli gazowych produktów wybuchu, mol/kg,

R — uniwersalna stała gazowa, równa 8,314 J/mol·K,

T_w — temperatura wybuchu, obliczona wg wzoru (26),

d — gęstość MW, kg/dm³.

2.6.5. Idealna praca wybuchu (A) powinna być obliczona w kJ/kg wg wzoru

$$A = Q_w \cdot \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_w} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (30)$$

w którym:

Q_w — ciepło wybuchu, obliczone wg wzoru (23), kJ/kg,

P_1 — końcowe ciśnienie produktów wybuchu, równe 0,1 MPa,

P_w — ciśnienie wybuchu, obliczone wg wzoru (29), MPa,

k — wykładnik adiabaty, obliczony wg wzoru (28).

2.7. Obliczanie energii właściwej MW. Energię właściwą (f) obliczyć w kJ/kg wg wzoru

$$f = n_g \cdot R \cdot T_w = 0,008314 \cdot n_g \cdot T_w \quad (31)$$

w którym:

n_g — suma moli gazowych produktów wybuchu, mol/kg,

R — uniwersalna stała gazowa, równa $8,314 \cdot 10^{-3}$ kJ/mol · K,

T_w — temperatura wybuchu obliczona wg wzoru (26), K.

2.8. Przykłady obliczeń charakterystyk Amonitu skalnego 15 GH oraz Barbarytu powietrznego L — wg załącznika 5.

KONIEC

Informacje dodatkowe

ZAŁĄCZNIK 1

CHARAKTERYSTYKI SUBSTANCJI WYSTĘPUJĄCYCH W MW

Lp.	Nazwa substancji	Wzór chemiczny	Masa cząsteczkowa	Ciepło tworzenia kJ/kg	Liczba gramatomów w 1 kg substancji						
					C	H	O	N	Al	Na	Inne
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Azotan amonu	NH ₄ NO ₃	80	4571	—	50,00	37,50	25,00	—	—	—
2	Azotan baru	Ba(NO ₃) ₂	261	3800	—	—	22,99	7,66	—	—	3,83 Ba
3	Azotan dwuetano- loaminy	C ₄ H ₁₂ O ₅ N ₂	168	2450	23,81	71,43	29,76	11,90	—	—	—
4	Azotan mocznika	CH ₅ O ₄ N ₃	123	4589	8,12	40,62	32,49	24,37	—	—	—
5	Azotan monoeta- noloaminy	C ₂ H ₈ O ₄ N ₂	124	4646	16,13	64,52	32,26	16,13	—	—	—
6	Azotan potasu	KNO ₃	101	4878	—	—	29,70	9,90	—	—	9,90 K
7	Azotan sodu	NaNO ₃	85	4998	—	—	35,29	11,76	—	11,76	—
8	Azotan wapnia	Ca(NO ₃) ₂	164	5715	—	—	36,59	12,20	—	—	6,10 Ca
9	Centralit II	C ₁₅ H ₁₆ N ₂ O	240	150,7	62,50	66,67	4,17	8,33	—	—	—
10	Chlorek potasu	KCL	74,5	5851	—	—	—	—	—	—	13,42 Cl 13,42 K
11	Chlorek sodu	NaCl	58,5	7026	—	—	—	—	—	17,09	17,09 Cl
12	Dwunitrotoluen	C ₇ H ₆ O ₄ N ₂	182	158,7	38,46	32,97	21,98	10,99	—	—	—
13	Gliceryna	C ₃ H ₈ O ₃	92	7240	32,61	86,96	32,61	—	—	—	—
14	Glikol etylenowy	C ₂ H ₆ O ₂	62	7336	32,22	96,66	32,22	—	—	—	—
15	Glin	Al	27	0	—	—	—	—	37,04	—	—
16	Glin płatkowany	—	—	1714	0,40	0,90	3,00	—	35,00	—	—
17	Guar	—	—	3187	8,19	49,14	24,57	32,76	—	—	—
18	Heksogen	C ₃ H ₆ O ₆ N ₆	222	—318,3	13,50	27,01	27,01	27,01	—	—	—
19	Karboksymetylo- celuloza (sól Na)	—	242	15571	33,06	45,45	28,93	—	—	4,13	—
20	Kwas azotowy (100%)	HNO ₃	63	2750	—	15,87	47,62	15,87	—	—	—
21	Mocznik	CH ₄ ON ₂	60	5553	16,67	66,67	16,67	33,33	—	—	—
22	Mączka drzewna	—	—	4672	41,70	60,40	17,00	—	—	—	—
23	Nitroceluloza	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	11% N	—	—	3094	23,94	32,17	35,65	7,84	—	—	—
	11,5% N	—	—	2936	23,33	30,68	35,86	8,21	—	—	—
	12,0% N	—	—	2811	22,74	29,33	36,08	8,57	—	—	—
	12,5% N	—	—	2683	22,15	27,98	36,30	8,92	—	—	—
	13,0% N	—	—	2563	21,55	26,64	36,52	9,28	—	—	—
	13,3% N	—	—	2483	21,10	25,83	36,66	9,50	—	—	—
	14,1% N	—	—	2093	20,20	23,60	37,00	10,10	—	—	—
24	Nitrogliceryna	C ₃ H ₅ O ₉ N ₃	227	1633	13,21	22,02	39,62	13,21	—	—	—
25	Nitroglikol	C ₂ H ₄ O ₆ N ₂	152	1603	13,15	26,30	39,45	13,15	—	—	—
26	Parafina	—	—	2261	71,00	148,0	—	—	—	—	—
27	Papier nabojoy	—	—	4396	45,20	95,10	26,00	—	—	—	—
28	Pentryt	C ₅ H ₈ O ₁₂ N ₃	316	1683	15,81	25,30	37,95	12,65	—	—	—
29	Salmiak	NH ₄ Cl	53,5	5895	—	74,77	—	18,69	—	—	18,69 Cl
30	Skrobia (krochmal)	—	—	5966	37,00	61,70	30,80	—	—	—	—

cd. tabl. Z1

Lp.	Nazwa substancji	Wzór chemiczny	Masa cząsteczkowa	Ciepło tworzenia kJ/kg	Liczba gramoatomów w 1 kg substancji						
					C	H	O	N	Al	Na	Inne
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
31	Stearynian wapnia	$C_{36}H_{70}O_4Ca$	606	3442	59,30	115,31	6,59	—	—	—	1,65 Ca
32	Stearynian sodu	$C_{18}H_{35}O_2Na$	306	3681	58,82	114,38	6,54	—	—	3,27	—
33	Siarczan baru	$BaSO_4$	233	6288	—	—	17,17	—	—	—	4,29 S
34	Tetryl	$C_7H_5O_8N_5$	287	-135,7	24,39	17,42	17,42	27,87	—	—	4,29 Ba
35	Trotyl	$C_7H_5O_6N_3$	227	262	30,82	22,01	26,40	13,20	—	—	—
36	Urotropina	$C_6H_{12}N_4$	140	-1057	42,86	85,71	—	28,57	—	—	—
37	Węglan baru	$BaCO_3$	197	6238	5,08	—	15,23	—	—	—	—
38	Węglan potasu	K_2CO_3	138	8305	7,25	—	21,74	—	—	—	5,08 Ba
39	Węglan sodu	Na_2CO_3	106	10669	9,43	—	28,30	—	—	18,87	14,49 K
40	Węglan wapnia	$CaCO_3$	100	12069	10,00	—	30,00	—	—	—	10,00 Ca
41	Woda (ciecz)	H_2O	18	15670	—	111,01	55,51	—	—	—	—

ZALĄCZNIK 2

**CIEPŁO TWORZENIA PRODUKTÓW WYBUCHU
(PRZY STAŁEJ OBJĘTOŚCI)**

Lp.	Nazwa związku	Wzór chemiczny	Masa cząsteczkowa	Ciepło tworzenia Q_v , kJ/mol
1	Tlenek węgla	CO	28	111,9
2	Dwutlenek węgla	CO ₂	44	393,8
3	Woda (gaz)	H ₂ O	18	240,8
4	Azot	N ₂	28	—
5	Tlen	O ₂	32	—
6	Chlorowodór	HCl	36,5	92,4
7	Dwutlenek siarki	SO ₂	64	296,9
8	Chlorek potasu	KCl	74,6	436,2
9	Węglan potasu	K ₂ CO ₃	138	1146,9
10	Chlorek sodu	NaCl	58,5	414,4
11	Węglan sodu	Na ₂ CO ₃	106	1131,7
12	Tlenek wapnia	CaO	56	635,5
13	Tlenek baru	BaO	153	558,1
14	Trójtlenek glinu	Al ₂ O ₃	102	1658,0

ZALĄCZNIK 3

**ENERGIA WEWNĘTRZNA GAZOWYCH PRODUKTÓW WYBUCHU (ΔU_g)
W ZALEŻNOŚCI OD TEMPERATURY, kJ/mol**

Temperatura °C	$\Delta U(0 \div t^\circ C)$						
	CO	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	HCl	SO ₂
1	2	3	4	5	6	7	8
100	2,09	3,06	2,55	2,14	2,09	2,10	3,37
200	4,23	6,45	5,19	4,31	4,19	4,28	7,22
300	6,36	10,13	7,91	6,62	6,32	6,52	11,24
400	8,62	14,07	10,76	9,04	8,54	8,83	15,31
500	10,93	18,25	13,73	11,51	10,76	11,22	19,43
600	13,27	22,61	16,83	14,07	13,10	13,67	23,57
700	15,74	27,09	20,05	16,71	15,49	16,19	27,74
800	18,21	31,74	23,36	19,34	17,96	18,79	31,92
900	20,77	36,47	26,80	22,06	20,47	21,45	36,13
1000	23,36	41,32	30,31	24,83	23,03	24,19	40,35
1100	26,00	46,22	33,95	27,59	25,62	26,99	44,60
1200	28,68	51,20	37,93	30,40	28,26	29,87	48,86
1300	31,36	56,23	41,49	33,24	30,90	32,81	53,15
1400	34,12	61,29	45,43	36,09	33,62	35,83	57,46

cd. tabl. Z3

Temperatura °C	$\Delta U(0 \div t^{\circ}\text{C})$						
	CO	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	HCl	SO ₂
1	2	3	4	5	6	7	8
1500	36,81	66,49	49,40	38,98	36,34	38,91	61,79
1600	39,61	71,64	53,51	41,87	39,06	42,07	66,14
1700	42,41	76,87	57,61	44,80	41,83	45,30	70,52
1800	45,22	82,15	61,84	47,77	44,59	48,59	74,91
1900	48,02	87,42	66,07	50,74	47,39	51,96	79,33
2000	50,83	90,70	70,38	53,76	50,20	55,40	83,77
2100	53,67	98,01	74,73	56,77	53,00	58,90	88,23
2200	56,52	103,41	79,09	59,79	55,81	62,48	92,72
2300	59,41	108,77	83,57	62,89	58,66	66,13	97,23
2400	62,26	114,17	88,05	65,98	61,50	69,84	101,76
2500	65,15	119,58	92,49	69,08	64,35	73,63	106,31
2600	68,04	125,02	97,09	72,22	67,24	77,49	110,89
2700	70,92	130,46	101,66	75,40	70,09	81,42	115,49
2800	73,81	135,95	106,26	78,59	72,98	85,42	120,11
2900	76,70	141,43	110,82	81,77	75,86	89,48	124,76
3000	79,59	146,91	115,43	84,91	78,75	93,62	129,43
3100	82,52	152,44	120,08	88,17	81,68	97,83	134,12
3200	85,45	158,01	124,72	91,44	84,57	102,11	138,83
3300	88,34	163,54	129,50	94,71	87,46	106,46	143,57
3400	91,27	169,10	134,23	97,93	90,31	110,88	148,33
3500	94,20	174,67	138,96	101,19	93,32	115,37	153,12
3600	97,13	180,24	143,73	104,54	96,25	119,93	157,92
3700	100,11	185,81	148,51	107,85	99,14	124,56	162,76
3800	103,04	191,42	153,28	111,20	102,07	129,26	167,61
3900	105,97	197,03	158,05	114,51	105,05	134,03	172,49
4000	108,90	202,64	162,87	117,86	107,96	138,87	177,39

ZALĄCZNIK 4

**ENERGIA WEWNĘTRZNA STAŁYCH PRODUKTÓW WYBUCHU (ΔV)
W ZALEŻNOŚCI OD TEMPERATURY, kJ/mol**

Temperatura °C	$\Delta U(0 \div t^{\circ}\text{C})$						
	Al ₂ O ₃	CaO	NaCl	Na ₂ CO ₃	KCl	K ₂ CO ₃	BaO
1	2	3	4	5	6	7	8
100	8,37	4,19	5,02	12,14	5,02	12,56	3,35
200	17,58	8,79	10,47	24,70	10,47	25,54	8,37
300	28,05	13,82	15,91	37,26	15,91	36,52	13,40
400	39,36	19,26	21,35	49,82	21,35	51,50	18,84
500	50,66	24,70	27,21	62,80	27,21	64,90	24,28
600	62,80	30,56	33,08	75,78	33,08	78,29	30,14
700	75,36	36,43	39,36	88,76	39,36	91,69	36,01
800	87,92	42,71	45,64	102,16	45,64	105,51	41,87
900	101,32	48,98	52,48	115,28	52,48	118,98	48,57
1000	115,14	55,68	59,18	128,10	59,18	132,22	55,85
1100	128,95	62,80	65,88	140,91	65,88	145,45	62,13
1200	143,61	69,92	72,58	153,73	72,58	158,69	68,83
1300	158,68	77,04	79,28	166,54	79,28	171,93	75,53
1400	173,75	84,15	85,97	179,35	85,97	185,17	82,23
1500	189,24	91,69	92,67	192,16	92,67	198,41	88,93
1600	205,57	99,65	99,37	204,97	99,37	211,65	95,63
1700	221,90	107,60	106,07	217,78	106,07	224,89	102,33
1800	238,65	115,56	112,77	230,59	112,77	238,13	109,03
1900	255,81	123,93	119,47	243,40	119,47	251,37	115,73
2000	273,40	132,30	126,17	256,21	126,17	264,61	122,43
2100	399,84	141,10	132,87	269,02	132,87	277,85	129,13
2200	417,84	149,89	139,57	281,83	139,57	291,09	135,83
2300	435,85	158,68	146,27	294,64	146,27	304,33	142,53
2400	455,85	167,89	152,97	307,45	152,97	317,57	149,23
2500	471,85	176,68	159,67	320,26	159,67	330,81	155,93
2600	489,86	186,31	166,37	333,07	166,37	344,05	162,63

cd. tabl. Z4

Temperatura °C	$\Delta U(0 \div t \text{ } ^\circ\text{C})$						
	Al ₂ O ₂	CaO	NaCl	Na ₂ CO ₃	KCl	K ₂ CO ₃	BaO
1	2	3	4	5	6	7	8
2700	507,86	195,52	340,39	416,59	305,64	426,22	272,98
2800	525,86	256,23	343,32	432,92	320,71	442,54	286,38
2900	543,87	265,86	346,67	449,24	335,78	459,29	300,19
3000	561,87	275,91	349,60	465,99	338,71	476,04	313,17
3100	579,87	285,54	352,95	482,74	342,06	492,79	327,41
3200	597,88	295,59	356,30	499,90	345,49	509,53	341,64
3300	615,88	305,64	359,65	517,07	348,76	526,28	355,04
3400	633,88	316,10	363,00	534,24	352,11	542,03	368,86
3500	651,88	326,57	366,35	551,82	355,46	559,76	382,67
3600	669,89	336,62	369,59	569,40	358,81	576,94	396,07
3700	687,89	347,09	373,04	586,99	362,16	594,11	410,31
3800	705,89	357,97	376,39	604,99	365,51	611,27	423,70
3900	723,90	368,44	379,74	623,00	368,86	628,44	437,94
4000	741,90	379,32	383,09	641,00	372,21	645,60	450,92

ZAŁĄCZNIK 5

PRZYKŁADY OBLICZEŃ

1. OBLICZENIA CHARAKTERYSTYK
AMONITU SKALNEGO 15 GH

1.1. Skład materiału

Azotan amonu	— 82,00 ⁰ /o.
Nitrogliceryna	— 2,88 ⁰ /o.
Nitroglikol	— 2,87 ⁰ /o.
Gacz parafinowy	— 1,25 ⁰ /o.
Mączka drzewna	— 4,00 ⁰ /o.
Proszek Al	— 7,00 ⁰ /o.

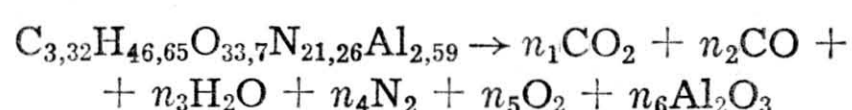
1.2. Ustalenie chemicznego składu MW. Zgodnie z 2.1.1, sporządza się tabl. Z5-1, wstawiając odpowiednie wartości A_{ij} , obliczone wg wzoru (1).

Tablica Z 5—1

Substancje wchodzące w skład MW		Liczba gramatomów poszczególnych pierwiastków				
nazwa	zawartość w MW, %	C	H	O	N	Al
Azotan amonu	82,00	—	41,0	30,75	20,50	—
Nitrogliceryna	2,88	0,38	0,63	1,14	0,38	—
Nitroglikol	2,87	0,38	0,75	1,13	0,38	—
Gacz parafinowy ¹⁾	1,25	0,89	1,85	—	—	—
Mączka drzewna	4,00	1,67	2,42	0,68	—	—
Proszek Al	7,00	—	—	—	—	2,59
	100,00	3,32	46,65	33,7	21,26	2,59

¹⁾ Charakterystyki przyjęto jak dla parafiny

1.3. Równanie rozkładu MW. Zgodnie z 2.1.2., równanie rozkładu MW jest następujące:



1.4. Bilans tlenowy MW (B) obliczyć wg wzoru (4):

$$B = (33,7 - 2 \cdot 3,32 - 0,5 \cdot 46,65 - 1,5 \cdot 2,59) \cdot 1,6 = -0,24$$

1.5. Współczynniki równania (5). Zgodnie z 2.1.3., obliczenie przeprowadza się wg wariantu 2:

$$n_5 = 0 \quad (19a)$$

$$n_2 = 0,15 \quad (6a)$$

$$n_1 = 3,32 - 0,15 = 3,17 \quad (16a)$$

$$n_3 = 0,5 \cdot 46,65 = 23,33 \quad (8)$$

$$n_4 = 0,5 \cdot 21,26 = 10,63 \quad (9)$$

$$n_6 = 0,5 \cdot 2,59 = 1,30 \quad (10)$$

1.6. Objętość właściwa produktów wybuchu. Objętość właściwą produktów wybuchu (V_0) oblicza się wg wzoru (20):

$$V_0 = (3,17 + 0,15 + 23,33 + 10,63) \cdot 22,41 = 37,28 \cdot 22,41 = 835,4$$

1.7. Ciepło wybuchu

1.7.1. Ciepło tworzenia MW. Zgodnie z 2.3.1., ciepło tworzenia MW (Q_0) oblicza się wg wzoru (21):

$$Q_0 = 4571 \cdot 0,82 + 1633 \cdot 0,0288 + 1603 \cdot 0,0287 + 4672 \cdot 0,04 + 2261 \cdot 0,0125 = 4056,4$$

1.7.2. Sumaryczne ciepło tworzenia produktów wybuchu. Zgodnie z 2.3.2., sumaryczne ciepło tworzenia produktów wybuchu (Q_p) oblicza się wg wzoru (22):

$$Q_p = 3,17 \cdot 393,8 + 0,15 \cdot 111,9 + 23,33 \cdot 240,8 + 1,30 \cdot 1658,0 = 9038,4$$

1.7.3. Ciepło wybuchu MW (Q_w) oblicza wg wzoru (23):

$$Q_w = 9038,4 - 4046,4 = 4982,0$$

1.8. Koncentracja energii MW. Przy gęstości MW równej $1 \text{ g/cm}^3 (= 1 \text{ kg/dm}^3)$, koncentracja energii jest równa liczbowo ciepłu wybuchu i wynosi $4982,0 \text{ kJ/dm}^3$.

1.9. Temperatura wybuchu MW. Zgodnie z 2.5., zakładamy wstępnie temperaturę wybuchu $t_1 = 3200^\circ\text{C}$. Dla tej temperatury obliczamy sumę energii wewnętrznych produktów wybuchu (ΔU_1) wg wzoru (25):

$$\Delta U_1 = 3,17 \cdot 158,01 + 0,15 \cdot 85,45 + 23,33 \cdot 124,72 + 10,63 \cdot 84,57 + 1,30 \cdot 597,88 = 5099,6$$

Ze względu na to, że ΔU_1 jest większa niż Q_w , zakładamy drugą temperaturę $t_2 = 3100^\circ\text{C}$, niższą od t_1 , obliczając dla tej temperatury ΔU_2 :

$$\Delta U_2 = 3,17 \cdot 152,44 + 0,15 \cdot 82,52 + 23,33 \cdot 120,08 + 10,63 \cdot 81,68 + 1,30 \cdot 579,87 = 4919,2$$

Ze względu na to, że ΔU_2 jest mniejsza niż Q_w , spełniony jest warunek: $\Delta U_1 > Q_w > \Delta U_2$ i można obliczyć temperaturę wybuchu (T_w) wg wzoru (26):

$$T_w = \frac{(4982,0 - 4919,2) \cdot (3200 - 3100)}{5099,6 - 4919,2} + 3100 + 273 = 3408$$

1.10. Idealna praca wybuchu

1.10.1. Średnie ciepło właściwe gazowych produktów wybuchu (c_v) zgodnie z 2.6.2, oblicza się wg wzoru (27):

$$\Delta U_1^g = 5099,6 - 1,30 \cdot 597,88 = 4322,4$$

$$\Delta U_2^g = 4919,2 - 1,30 \cdot 579,87 = 4165,4$$

$$c_v = \frac{4165,4 + (4322,4 - 4165,4) \cdot \frac{3408 - 3100 - 273}{3200 - 3100}}{(3408 - 273) \cdot 37,28} \cdot 1000 = 36,11$$

1.10.2. Wykładnik adiabaty gazowych produktów wybuchu (k) oblicza się wg wzoru (28):

$$k = 1 + \frac{8,314}{36,11} = 1,23$$

1.10.3. Ciśnienie wybuchu MW (P_w) oblicza się wg wzoru (29):

$$P_w = 37,28 \cdot 8,314 \cdot 3408 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 1056,3$$

1.10.4. Idealna praca wybuchu. Zgodnie z 2.6.5, idealną pracę wybuchu (A) oblicza się wg wzoru (30):

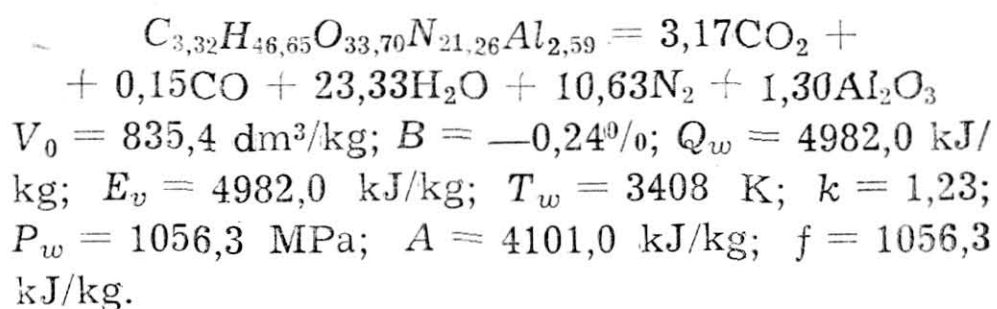
$$A = 4982,0 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,1}{1056,3} \right)^{\frac{1,23-1}{1,23}} \right] = 4101,0$$

1.11. Energia właściwa MW. Energię właściwą (f) oblicza się wg wzoru (31):

$$f = 37,28 \cdot 8,314 \cdot 10^{-3} \cdot 3408 = 1056,3$$

1.12. Zestawienie obliczonych charakterystyk wybuchu AS15GH

Równanie rozkładu MW:



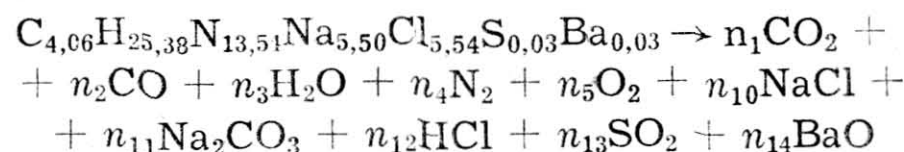
2. OBLICZENIA CHARAKTERYSTYK BARBARYTU POWIETRZNEGO L

2.1. Skład materiału

Azotan amonu	—	36,00 ⁰ /o.
Azotan sodu	—	6,00 ⁰ /o.
Chlorek sodu	—	28,00 ⁰ /o.
Salmiak	—	4,00 ⁰ /o.
Nitrogliceryna	—	10,50 ⁰ /o.
Nitroglikol	—	10,50 ⁰ /o.
Dwunitrotoluen	—	2,50 ⁰ /o.
Nitroceluloza	—	0,40 ⁰ /o.
Siarczan baru	—	0,60 ⁰ /o.
Gliceryna	—	0,75 ⁰ /o.
Woda	—	0,75 ⁰ /o.

2.2. Ustalenie chemicznego składu MW. Zgodnie z 2.1.1, sporządza się tabl. Z5-2, wstawiając odpowiednie wartości A_{ij} , obliczone wg wzoru (1).

2.3. Równanie rozkładu MW. Zgodnie z 2.1.3, równanie rozkładu MW jest następujące:



2.4. Bilans tlenowy MW (B) oblicza się wg wzoru (4):

$$B = 1,6 \cdot (25,38 - 2 \cdot 4,06 - 0,5 \cdot 28,47 - 0,5 \cdot 5,5 + 0,5 \cdot 5,54 - 2 \cdot 0,03 - 0,03) = 4,73$$

2.5. Współczynniki równania (5). Zgodnie z 2.1.3, obliczenia przeprowadza się wg wariantu 1:

Tablica Z 5-2

Substancje wchodzące w skład MW		Liczba gramoatomów pierwiastków przypadających na 1 kg MW							
nazwa	zawartość %	C	H	O	N	Na	Cl	S	Ba
Azotan amonu	36,00	—	18,00	13,50	9,00	—	—	—	—
Azotan sodu	6,00	—	—	2,12	0,71	0,71	—	—	—
Chlorek sodu	28,00	—	—	—	—	4,79	4,79	—	—
Salmiak	4,00	—	2,99	—	0,75	—	0,75	—	—
Nitrogliceryna	10,50	1,39	2,31	4,16	1,39	—	—	—	—
Nitroglikol	10,50	1,38	2,76	4,14	1,38	—	—	—	—
Dwunitrotoluen	2,50	0,96	0,82	0,55	0,27	—	—	—	—
Nitroceluloza (13% N)	0,40	0,09	0,11	0,15	0,04	—	—	—	—
Siarczan baru	0,60	—	—	0,10	—	—	—	0,03	0,03
Gliceryna	0,75	0,24	0,65	0,24	—	—	—	—	—
Woda	0,75	—	0,83	0,42	—	—	—	—	—
	100,00	4,06	28,47	25,38	13,54	5,50	5,54	0,03	0,03

$$n_2 = 0 \quad (6)$$

$$n_{12} = 5,54 - 5,50 = 0,04 \quad (7)$$

$$n_3 = 0,5 \cdot (28,47 - 0,04) = 14,22 \quad (8)$$

$$n_4 = 0,5 \cdot 13,54 = 6,77 \quad (9)$$

$$n_{10} = (5,54 - 0,04) \cdot 1 = 5,50 \quad (14)$$

$$n_{11} = 0 \quad (15)$$

$$n_1 = 4,06 \quad (16)$$

$$n_{13} = 0,03 \quad (17)$$

$$n_{14} = 0,03 \quad (18)$$

$$n_5 = 0,5 \cdot (25,38 - 2 \cdot 4,06 - 14,22 - 2 \cdot 0,03 - 0,03) = 1,48 \quad (19)$$

2.6. Objętość właściwa produktów wybuchu.

Objętość właściwą (V_0) oblicza się wg wzoru (20):

$$V_0 = 22,41 \cdot (4,06 + 14,22 + 6,77 + 1,48 + 0,04 + 0,03) = 22,41 \cdot 26,6 = 596,1$$

2.7. Ciepło wybuchu MW

2.7.1. Ciepło tworzenia MW. Zgodnie z 2.3.1, ciepło tworzenia MW (Q_0) oblicza się wg wzoru (21):

$$Q_0 = 4571 \cdot 0,35 + 4998 \cdot 0,06 + 7026 \cdot 0,28 + 5895 \cdot 0,04 + 16,33 \cdot 0,105 + 1603 \cdot 0,105 + 158,7 \cdot 0,025 + 2563 \cdot 0,004 + 6288 \cdot 0,006 + 7240 \cdot 0,0075 + 15670 \cdot 0,0075 = 4712,1$$

2.7.2. Sumaryczne ciepło tworzenia produktów wybuchu. Zgodnie z 2.3.2., sumaryczne ciepło tworzenia produktów wybuchu (Q_p) oblicza się wg wzoru (22):

$$Q_p = 4,06 \cdot 393,8 + 14,22 \cdot 240,8 + 5,50 \cdot 414,4 + 0,04 \cdot 92,4 + 0,03 \cdot 296,9 + 0,03 \cdot 558,1 = 7331,6$$

2.7.3. Ciepło wybuchu MW (Q_w) oblicza się wg wzoru (23):

$$Q_w = 7331,6 - 4712,1 = 2619,5$$

2.8. Koncentracja energii MW. Przy gęstości MW, równej 1,5 kg/dm³, koncentracja energii (E_v) wynosi:

$$E_v = 2619,5 \cdot 1,5 = 3929,3$$

2.9. Temperatura wybuchu MW. Zgodnie z 2.5, zakłada się wstępnie temperaturę wybuchu $t_1 = 1700^\circ\text{C}$.

Dla tej temperatury oblicza się sumę energii wewnętrznych produktów wybuchu (ΔU_1) wg wzoru (25):

$$\Delta U_1 = 4,06 \cdot 76,87 + 14,22 \cdot 57,61 + 6,77 \cdot 41,83 + 1,48 \cdot 44,80 + 0,04 \cdot 45,30 + 0,03 \cdot 70,52 + 5,50 \cdot 171,66 + 0,03 \cdot 104,67 = 2432,0$$

Ze względu na to, że ΔU_1 jest niższa od Q_w , zakłada się drugą temperaturę $t = 1800^\circ\text{C}$, obliczając dla tej temperatury ΔU_2 :

$$\Delta U_2 = 4,06 \cdot 82,15 + 14,22 \cdot 61,84 + 6,77 \cdot 44,59 + 1,48 \cdot 47,77 + 0,04 \cdot 48,59 + 0,03 \cdot 74,91 + 5,50 \cdot 193,85 + 0,03 \cdot 113,88 = 2659,3$$

Ze względu na to, że jest spełniony warunek $\Delta U_1 < Q_w < \Delta U_2$, można obliczyć temperaturę wybuchu (T_w) wg wzoru (26):

$$T_w = \frac{(2619,5 - 2432,0) \cdot (1800 - 1700)}{2659,3 - 2432,0} + 1700 + 273 = 2055$$

2.10. Idealna praca wybuchu

2.10.1. Średnie ciepło właściwe gazowych produktów wybuchu (c_v), zgodnie z 2.6.2, oblicza się wg wzoru (27):

$$\Delta U_1^g = 2432,0 - 5,50 \cdot 171,66 - 0,03 \cdot 104,67 = 1484,7$$

$$\Delta U_2^g = 2659,3 - 5,50 \cdot 193,85 - 0,03 \cdot 113,88 = 1589,7$$

$$c_v = \frac{1000 \left[1484,7 + (1589,7 - 1484,7) \cdot \frac{1782 - 1700}{100} \right]}{1782 \cdot 26,6} = 33,14$$

2.10.2. Wykładnik adiabaty gazowych produktów wybuchu (k) obliczyć wg wzoru (28):

$$k = 1 + \frac{8,314}{33,14} = 1,25$$

2.10.3. Ciśnienie wybuchu MW (P_w) obliczyć wg wzoru (29):

$$P_w = 0,008314 \cdot 26,6 \cdot 2055 \cdot 1,5 = 681,7$$

2.10.4. Idealna praca wybuchu. Zgodnie z 2.6.5, idealną pracę wybuchu (A) obliczyć wg wzoru (30):

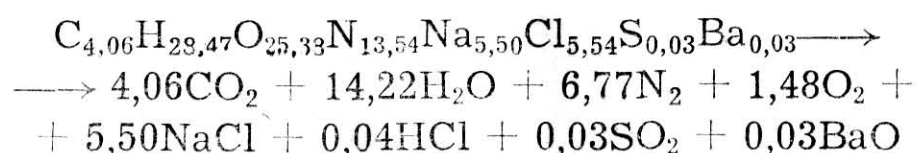
$$A = 2619,5 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,1}{681,7} \right)^{\frac{1,25 - 1}{1,25}} \right] = 2171,2$$

2.11. Energia właściwa MW. Energię właściwą (f) obliczyć wg wzoru (31):

$$f = 0,008314 \cdot 26,6 \cdot 2055 = 454,5$$

2.12. Zestawienie obliczonych charakterystyk BPL

Równanie rozkładu:



$$B = 4,73\% ; V_0 = 596,1 \text{ dm}^3/\text{kg} ; Q_w = 2619,5 \text{ kJ/kg} ;$$

$$F_v = 3929,3 \text{ kJ/dm}^3 ; T_w = 2055 \text{ K} ; c_v = 33,14 \text{ J/molK} ;$$

$$k = 1,25 ; P_w = 681,7 \text{ MPa} ; A = 2171,2 \text{ kJ/kg} ;$$

$$f = 1056,3 \text{ kJ/kg} .$$

INFORMACJE DODATKOWE

1. Instytucja opracowująca normę — Zakłady Tworzyw Sztucznych ERG, Tychy — Bieruń Stary.

2. Autorzy projektu normy — mgr inż. Andrzej Niksiński, mgr inż. Witold Pałowski, mgr inż. Jan Pillich, inż. Bohdan Subocz — Instytut Przemysłu Organicznego, Warszawa.

3. Wykaz literatury

Pozdniakow Z. G., Rossi B. D.: Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания. Москва 1977,

Taylor J.: Detonation in condensed explosives. Oxford at the Clarendon Press 1952,

Meyer R.: Explosives. Verlag Chemie, Weinheim, New York 1977.