

Metody szacowania nadciśnienia w trakcie wybuchu chmury par

Michał Korycki

17 października 2017

VCE - Vapor Cloud Explosion

VCE jest wynikiem uwolnienia palnego związku chemicznego do atmosfery, dyspersji w powietrzu oraz po pewnym czasie zapłonu chmury.

Historyczne awarie

- 1 czerwca 1974 - Flixborough, 28 ofiar śmiertelnych oraz 36 ciężko rannych
- 7 listopada 1975 - kopalnia ropy naftowej w Beek w Holandii. 107 osób ciężko rannych.
- 6 lipca 1988 - platforma wydobywcza Piper Alpha na morzu północnym, 167 ofiar śmiertelnych łącznie z dwoma ratownikami

Do roku 2013 na terenie UE odnotowano blisko 85 wypadków o charakterze VCE.

Projekt EVARIS

- Program do oceny ryzyka wystąpienia awarii w obiektach przemysłowych stwarzających zagrożenie poza swoim terenem
- Współpraca z CNBOP-PIB, Politechniką Warszawską oraz firmą BERA Systems.

Popularne metody obliczeniowe

Wszystkie metody obliczeniowe polegają na wyznaczeniu parametrów skalowanych i porównaniu ich z tabelami lub krzywiznami wyznaczonymi empirycznie.

Najczęściej wykorzystywane metody wyznaczania nadciśnień:

Metoda wybuchu TNT - Najprostsza metoda, zakłada możliwość porównania każdego wybuchu VCE do wybuchu ładunku TNT.

Metoda BST - Metoda zakładająca proporcjonalność prędkości spalania do powstałego nadciśnienia.

Metoda wybuchu multienergetycznego - Metoda opracowana przez TNO traktująca wybuch VCE jako szereg mniejszych podwybuchów.

Metoda wybuchu TNT

$$W_{TNT} = \alpha_e \frac{W_f H_f}{H_{TNT}} \quad (1)$$

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{W_{TNT}}} \quad (2)$$

Gdzie:

W_{TNT} - ekwiwalentna masa TNT [kg]

W_f - masa palnej substancji w chmurze [kg]

H_f - ciepło spalania paliwa [MJ/kg]

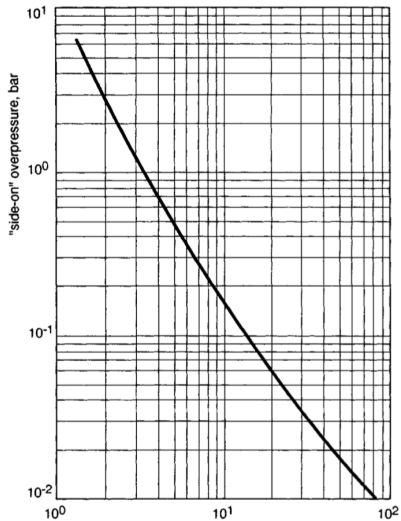
H_{TNT} - energia wybuchu TNT [MJ/kg]

R - odległość od punktu zapłonu [m]

\bar{R} - skalowana odległość od zapłonu [-]

α - współczynnik równoważności (0.03)

Metoda wybuchu TNT



Metoda BST

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{E/P_0}} \quad (3)$$

$$\Delta P_s = \Delta \bar{P}_s P_0 \quad (4)$$

$$i' = i \times c_0 / (E^{1/3} \times P_0^{2/3}) \quad (5)$$

$$M_f = M_w \times (\rho_u / \rho_p)^{1/3} \quad (6)$$

Gdzie: E - energia spalania ładunku [J]

P_0 - ciśnienie atmosferyczne [Pa]

ΔP_s - nadciśnienie [Pa]

$\Delta \bar{P}_s$ - skalowane nadciśnienie [$-$]

M_w - liczba Macha [$-$]

ρ_u - gęstość niespalonej substancji [kg/m^3]

ρ_p - gęstość spalonej substancji [kg/m^3]

Metoda wybuchu multienergetycznego

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{E/P_0}} \quad (7)$$

$$\Delta P_s = \Delta \bar{P}_s P_0 \quad (8)$$

$$t_+ = \bar{t}_+ \frac{\sqrt[3]{E/P_0}}{c_0} \quad (9)$$

Gdzie:

E - energia spalania ładunku [J]

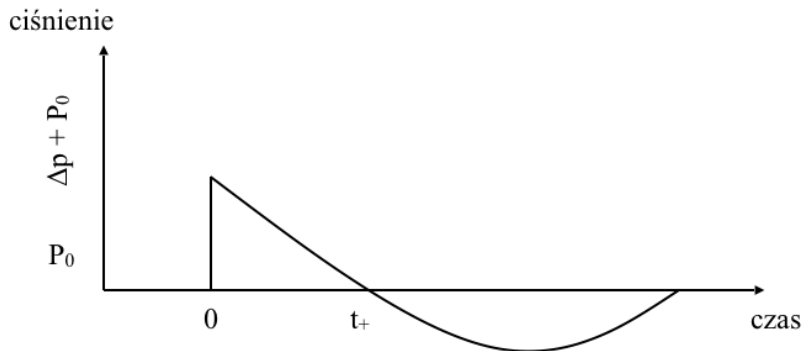
P_0 - ciśnienie atmosferyczne [Pa]

ΔP_s - nadciśnienie [Pa]

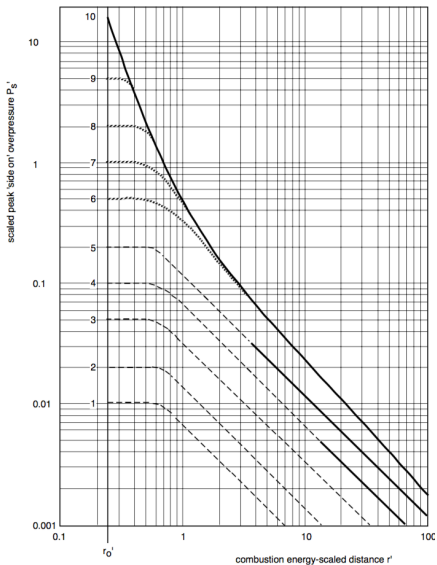
$\Delta \bar{P}_s$ - skalowane nadciśnienie [-]

t_+ - czas trwania fazy dodatniej [s]

Czas trwania fazy dodatniej



Metoda wybuchu multienergetycznego



Siła wybuchu

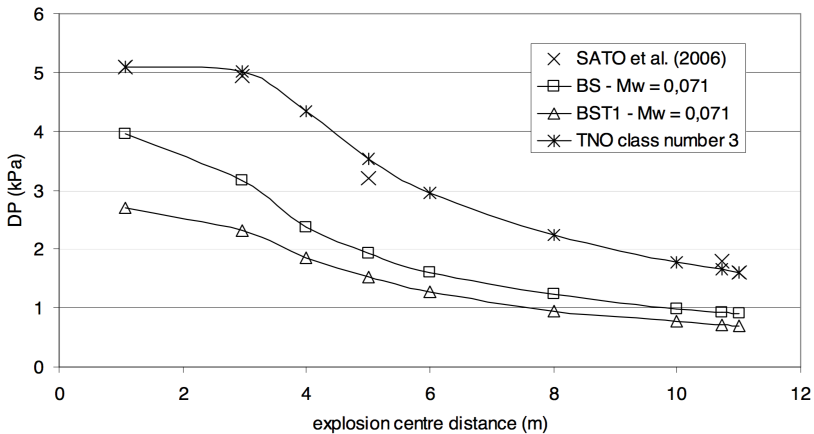
ang. Blast Strength

Energia zapłonu	Gęstość przeszkód	Uwięzienie	Siła
Wysoka	Wysoka	Tak	7 - 10
Wysoka	Wysoka	Nie	7 - 10
Niska	Wysoka	Tak	5 - 7
Wysoka	Niska	Tak	5 - 7
Wysoka	Niska	Nie	4 - 6
Wysoka	Brak	Tak	4 - 6
Niska	Wysoka	Nie	4 - 5
Wysoka	Brak	Nie	4 - 5
Niska	Niska	Tak	3 - 5
Niska	Niska	Nie	2 - 3
Niska	Wysoka	Tak	1 - 2
Niska	Wysoka	Nie	1

Źródło: Kinsella 1993

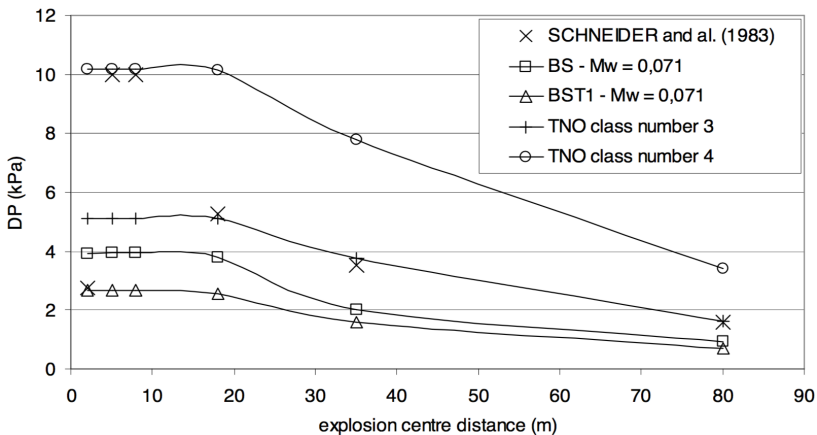
Porównanie metod

Mélani L. et al. 2009



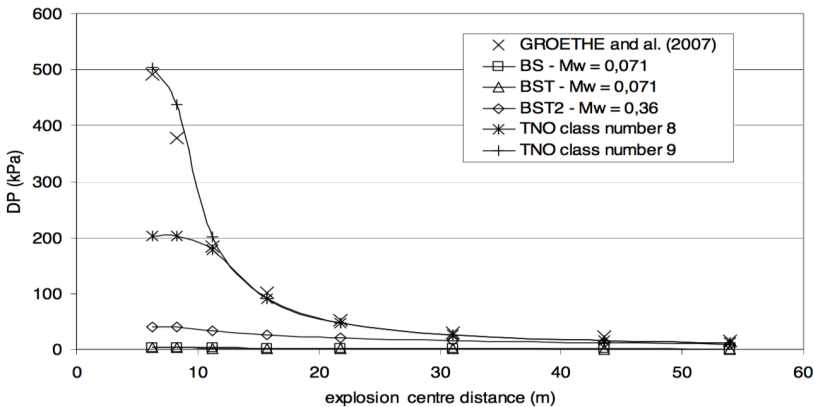
Porównanie metod

Mélani L. et al. 2009



Porównanie metod

Mélani L. et al. 2009



Zastosowanie VCE w projekcie EVARIS

Proste metody VCE zazwyczaj wiążą się z dużymi błędami. Bardziej zaawansowane jednak wymagają nie tylko znajomości zagadnienia, ale również doświadczenia i „wyczucia” podczas sporządzania obliczeń.

- Jaką zatem metodę wybrać?
- Jak algorytmizować proces dobierania odpowiedniej krzywizny?

Programy komputerowe do obliczeń VCE korzystają do tej pory tylko z uproszczonej metody BST.

Metoda wybuchu multienergetycznego w projekcie EVARIS

Na podstawie Díaz Alonso et al. 2006

$$R' = \frac{z}{(E_{exp}/P_0)^{1/3}} \quad (10)$$

$$P' = aR'^b \quad (11)$$

$$i' = cR'^d \quad (12)$$

$$t'_p = \frac{i'}{P'} \quad (13)$$

Parametry a , b , c i d zależą od R' oraz siły wybuchu.

Metoda wybuchu multienergetycznego w projekcie EVARIS

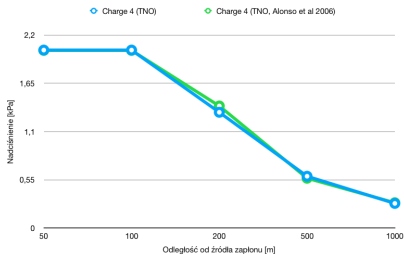
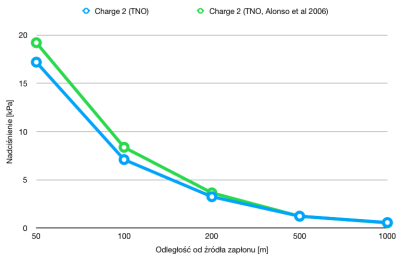
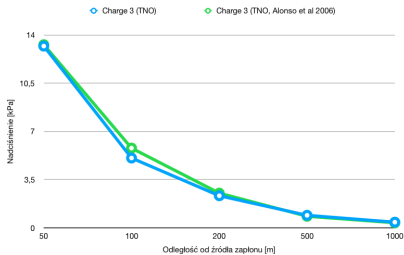
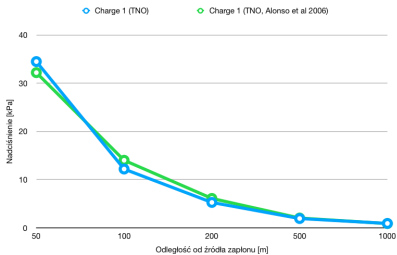
$$P_s = P' P_0 \quad (14)$$

$$t_p = \frac{t'_p (E_{exp}/P_0)^{1/3}}{c_0} \quad (15)$$

$$i = 1/2 P_s t_p \quad (16)$$

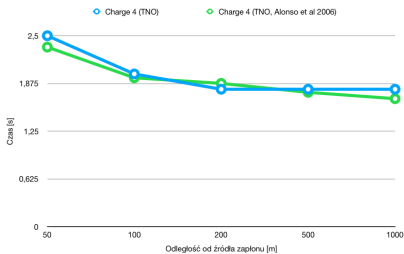
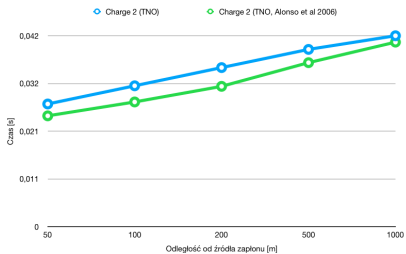
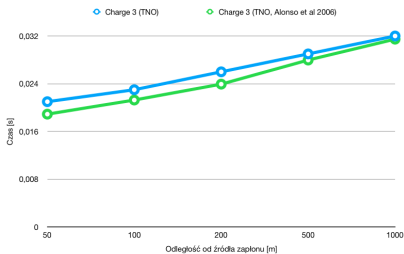
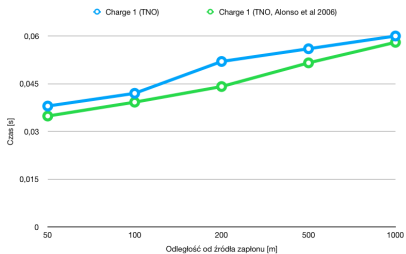
Wyniki

Naciśnienie



Wyniki

Czas trwania fazy dodatniej



Podsumowanie

- Metoda BST zaniża wyniki w stosunku do pomiarów
- Metoda wybuchu multienergetycznego (TNO) daje zadowalająco dobre wyniki
- Prawidłowo zastosowane funkcje skalujące zaproponowane przez Diaz Alonzo w 2006 roku dość dobrze odwzorowują nadciśnienia. Czas fazy dodatniej jednak czasem bywa niedoszacowany.
- Metoda TNO, która wykorzystana zostanie w systemie RAT-IF w ramach projektu EVARIS musi zakładać, iż użytkownik posiadał pewną podstawową wiedzę na temat VCE i metody TNO.