

# Aktualne kierunki i wyniki badań wybuchów przemysłowych

Kazimierz Lebecki  
Główny Instytut Górnictwa

9 Międzynarodowe Sympozjum Zwalczania Wybuchów Przemysłowych  
( 9th International Symposium on Hazard Prevention and Mitigation of Industrial  
Explosions) Kraków 22-27 lipca 2012

- Tematyka Sympozjum : wybuchy gazów , par, pyłów w instalacjach przemysłowych , oceny ryzyka, opisy zdarzeń wypadkowych, środki redukcji ryzyka
- Uczestnicy – 124 osoby z 17 krajów z wszystkich kontynentów , 30 osób z Polski
- 81 referatów w tym 5 plenarnych
- Nowe kierunki- wybuchowość nanocząstek , analizy zaistniałych katastrof i antyterroryzm, nowe rozwiązania zabezpieczeń przeciwwybuchowych , właściwości nowych materiałów, bezpieczeństwo użytkowania wodoru jako paliwa





## Wybuchowość i palność nanocząstek

- Definicja nanocząstek według Komisji Europejskiej : cząstki ciała stałego których powierzchnia właściwa 1  $\text{cm}^3$  cząstek wynosi  $60 \text{ m}^2$ . Odpowiada to średnicy cząstek poniżej  $0.1 \mu\text{m}$  (  $100 \text{ nm}$ )
- Wpływ rozmiarów cząstek stałych na palność i wybuchowość – czym mniejsza średnica tym mniejsze DGW i MEZ , tym większe  $K_{st}$  .Wynik wielu badań. Dla nanocząstek potwierdzenie tendencji - nie zupełne



# Tworzenie obłoków nanocząstek

- Utworzenie obłoku osiadłych nanocząstek jest bardzo trudne w normalnych warunkach badawczych i przemysłowych z powodu bardzo silnej kohezji międzycząsteczkowej.
- Jeżeli dochodzi do rozproszenia cząstek i powstania obłoku to w wyniku bardzo szybkiej koagulacji ; w ciągu ułamków sekund powstają większe aglomeraty
- Prędkość koagulacji :
- $-dn/dt = Kn^2$  ;
- K jest rzędu  $10^{-10} \text{ cm}^3 / \text{s}$

## MEZ nano i mikro cząstek ( Eckhoff, 2012)

Minimum ignition energy of nanoscale and micrometer scale metal powder.

Nanoscale		Micrometer scale	
Diameter	Minimum ignition energy	Diameter	Minimum ignition energy
<b>Ti powder</b>			
35 nm	<1 mJ	3 μm	<1 mJ
75 nm	<1 mJ	8 μm	21.91 mJ
100 nm	<1 mJ	20 μm	18.73 mJ
		45 μm	21.91 mJ
<b>Fe powder</b>			
15 nm	<1 mJ	150 μm	———
35 nm	<1 mJ		
65 nm	<1 mJ		

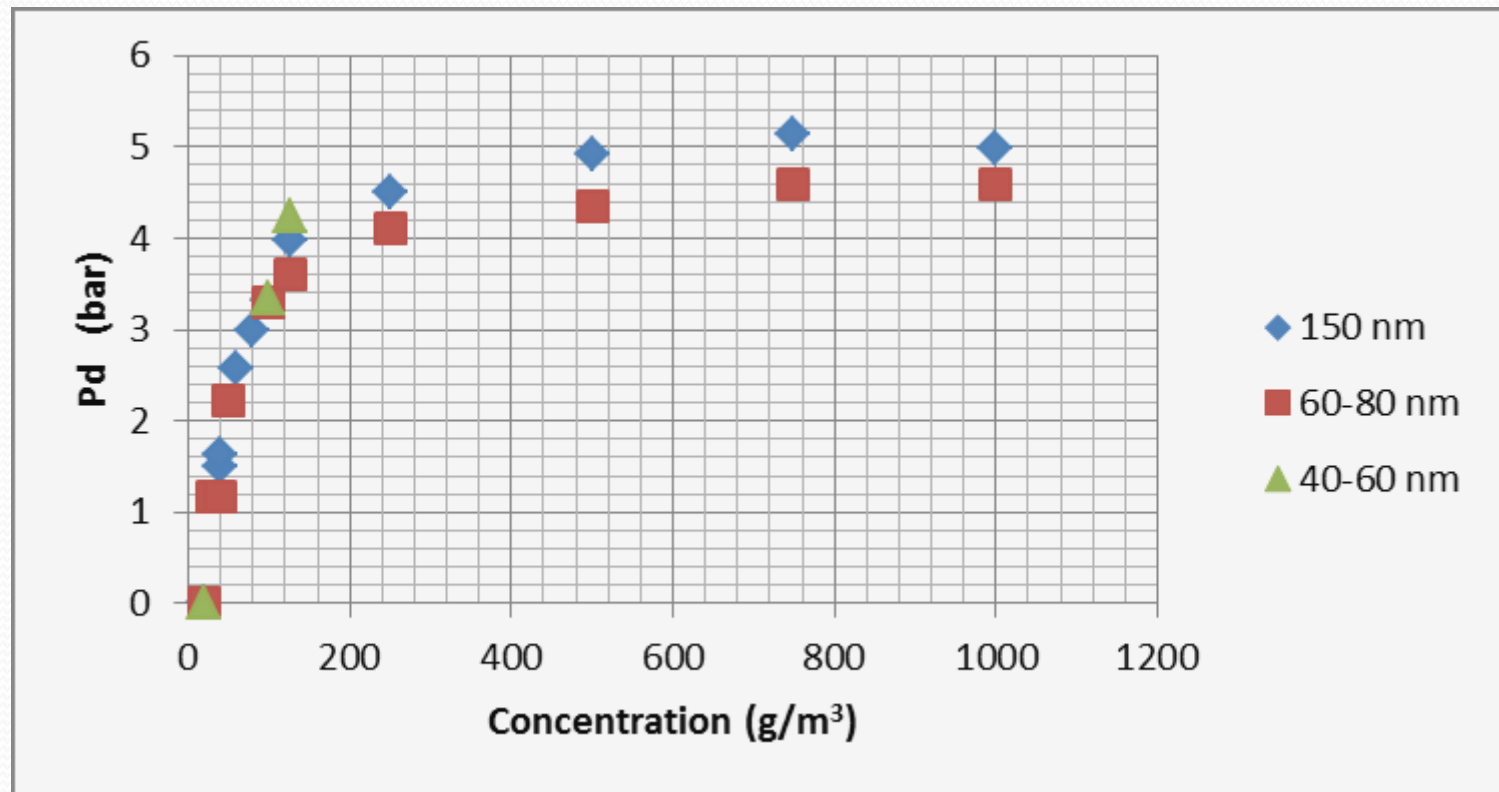
Note: '———' denotes unsuccessful ignitions by all 7 different ignition energy levels.



# Wartości $K_{st}$ dla nanocząstek

- Wstępne badania pokazały że wartości  $K_{st}$  dla nano i mikrocząstek są zbliżone. Oznacza to, że stosowane zabezpieczenia przeciwwybuchowe dla mikrocząstek będą równie skuteczne dla nano.
- Niebezpieczeństwem w pracy z nanocząstkami jest duże prawdopodobieństwo samozapłonu – szybka reakcja z tlenem powietrza. Stwierdzona to dla nanocząstek tytanu. Dodanie tlenku tytanu zmniejsza to prawdopodobieństwo.

## Wartości ciśnień wybuchu nanocząstek tytanu





## Bezpieczeństwo pracy z nanocząstkami

- wydajna wentylację ssącą
- ochrony indywidualne w postaci masek , rękawic, płaszczy laboratoryjnych.
- Dla uniknięcia zbyt dużych ilości nanocząstek zamawiano je u producenta w paczkach 100 gramowych
- dla uniknięcia samozapłonu układ dyspersyjny pracował na azocie zamiast powietrza
- niewykorzystane nanocząstki były dezaktywowane 0.1n kwasem azotowym.

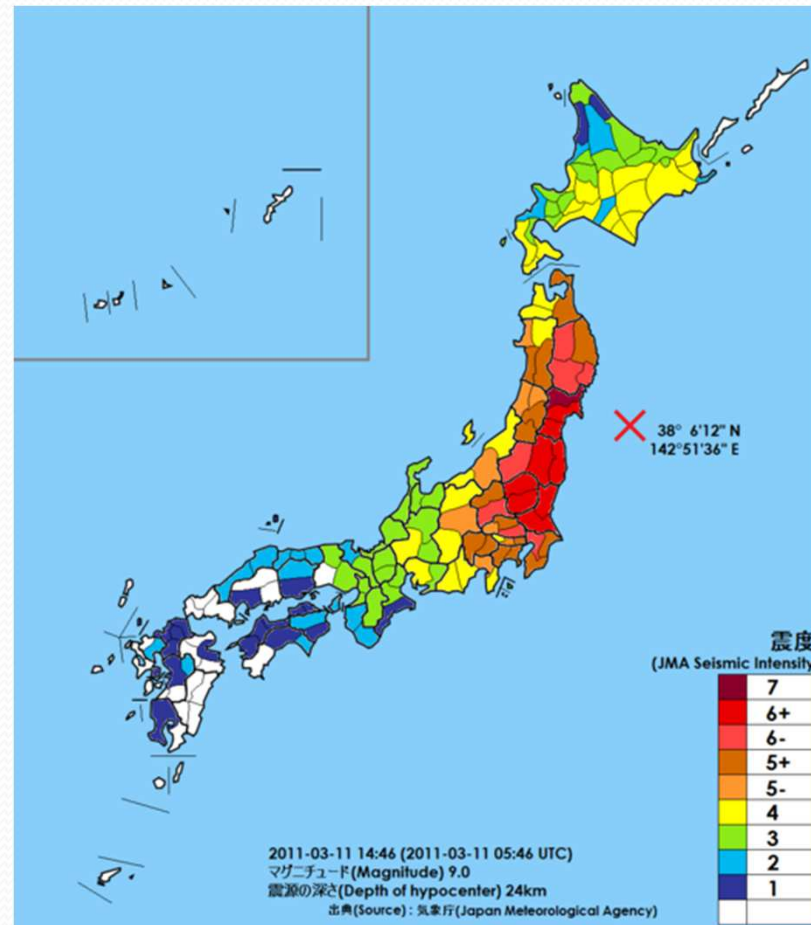


## Katastrofy – Tsunami w Japonii 11,03.2011

- Było to jedno z 5 najsilniejszych trzęsień ziemi od 1900 roku. Wysokość fali tsunami przekraczała 20m , znacznie więcej niż wynosiła wysokość zapór zabezpieczających, maksymalnie do 15m. Oceniono, że tsunami w takiej skali zdarza się raz na 1000lat.
- Straty spowodowane trzęsieniem : 15867 ofiar śmiertelnych (92.5% przez utopienie . 1.1% w pożarach,6.4 % przysypanych , zmiądzonych) 6107 rannych, 2909 zaginionych. Zarejestrowano 287 pożarów , wybuchy wodoru w Elektrowni Nuklearnej Fukushima , liczne awarie BLEVE w stacjach paliw i zbiornikach LPG i w pojazdach samochodowych



# Zasięg trzęsienia ziemi 11.03.2011



# Tsunami atakuje Fukushima Dai Ichi





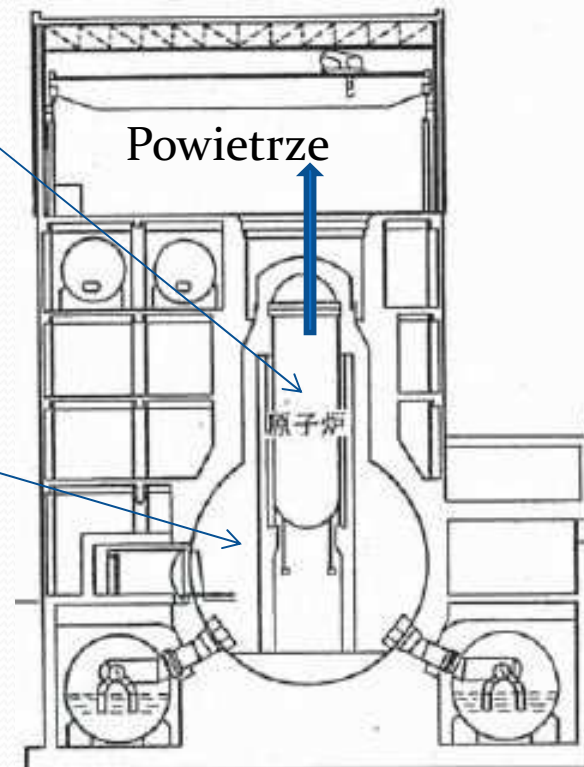
# Wybuch wodoru w elektrowni Fukushima

- Paliwo jądrowe jest w otoczkach z cyrkonu .
- Przy braku chłodzenia i obecności wody w temperaturze ok. 1200 ° C zachodzi reakcja :



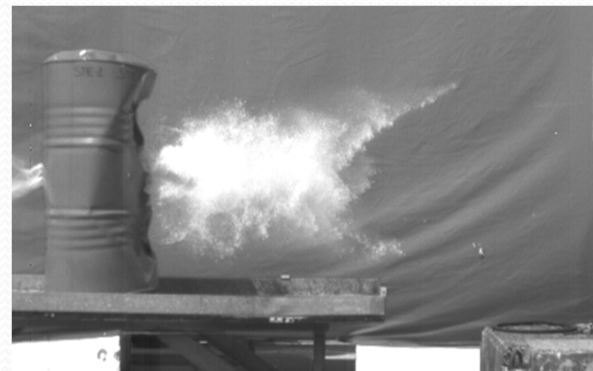
Atmosfera bez tlenu

Elektrownia była przygotowana na tsunami , ale w takiej skali



# Reakcja na zamachy terrorystyczne

- Problem narasta w krajach zachodnich. Coraz więcej badań wykonuje się w kierunku rozpoznania skutków zamachów
- Beczka 60L , napełniona wodą przestrelona pociskiem sferycznym 30mm, prędkość ok. 1500m/s . Ciśnienie wewnątrz w momencie trafienia ok.100bar





## Bezpieczeństwo urządzeń elektrycznych

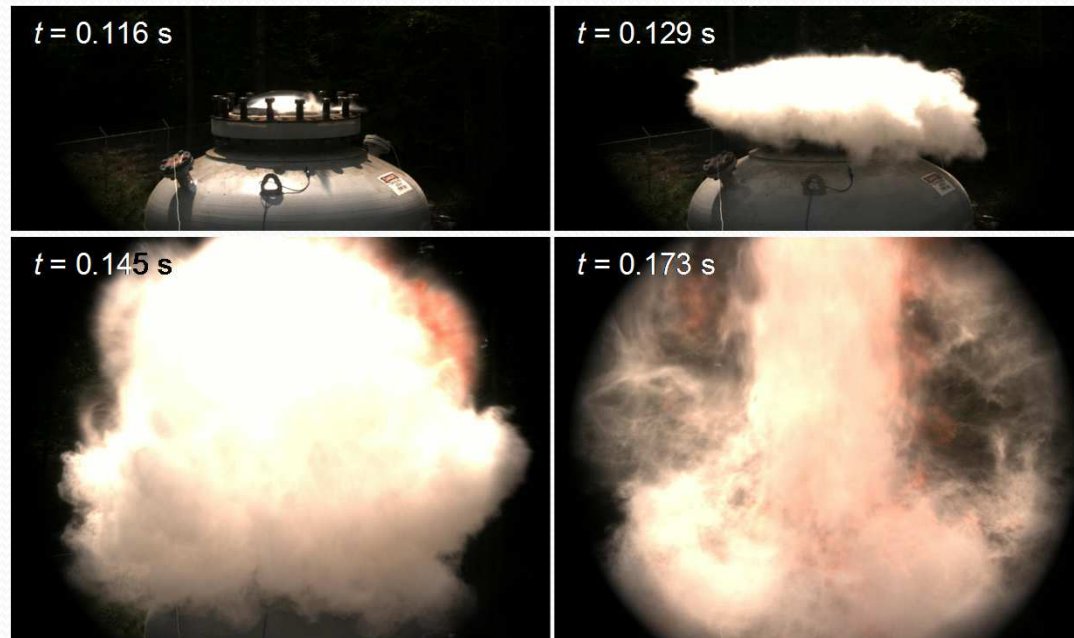
- W University of Bergen wykonano doświadczenia nad skutecznością bezpiecznej szczeliny ( MESHG – Maximal Experimental Safety Gap) dla gazów grup IIB- etylen , siarkowodór i IIC – wodór , acetylen.
- Wynik – uszkodzenie szczeliny – 7 rowków szerokości 2mm , różnej głębokości , również rdza – nie zmniejszają skuteczności szczeliny.

## Bezpłomieniowe otwory dekompresyjne; EN16009:2011

- Bezpłomieniowe otwory dekompresyjne są kombinacją klasycznych membranowych z przerywaczami płomienia w postaci siatek , wstęp , warstw płytek , warstw kulek ceramicznych. Charakteryzują się efektywną powierzchnią dekompresji . Zaletą jest nie wydostawanie się płomienia poza system.
- Są już stosowane na instalacjach w polski przemyśle.



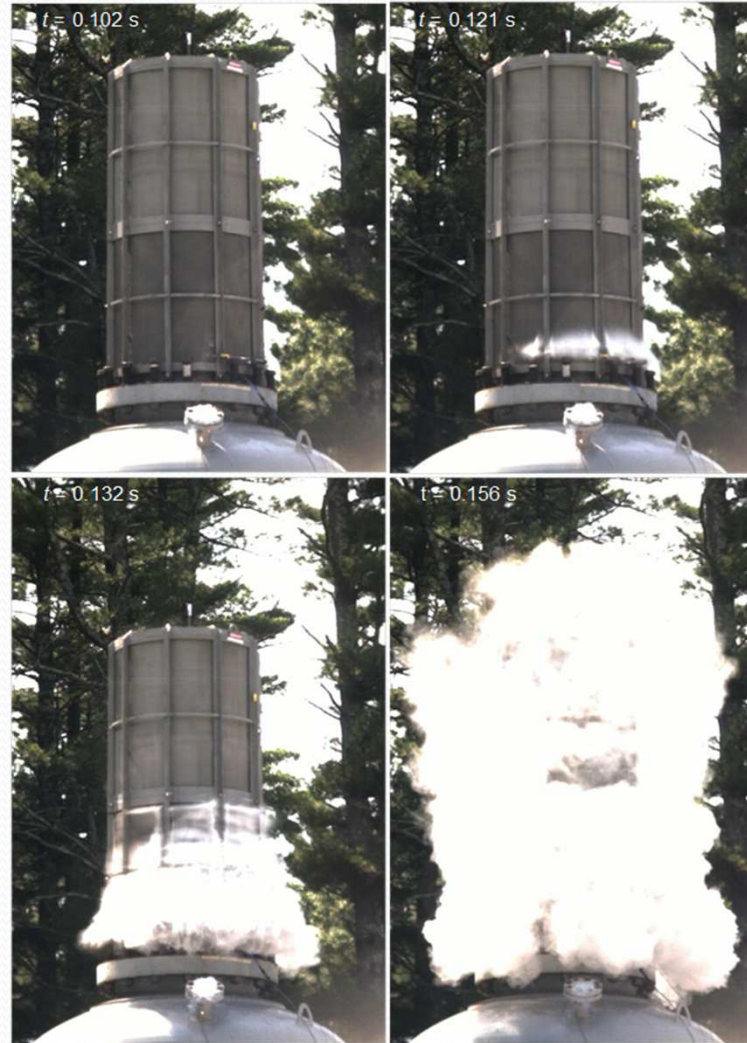
## Klasyczny otwór dekompresyjny



Komora 8m<sup>3</sup> , średnica 2m , wysokość 2. 9m, pył – skrobia kukurydziana . Widać kolejne fazy wybuchu – zerwanie membrany, wyrzut pyłu, zapłon zewnętrzny , wybuch zewnętrzny

# Bezpłomieniowy otwór dekompresyjny

Warunki identyczne  
jak w przypadku  
otworu  
membranowego .  
Płomień nie wychodzi  
na zewnątrz.





## Co nas czeka w przyszłości – bliskiej

- Rozpowszechnienie nanotechnologii z wszystkimi problemami związanymi z bezpieczeństwem stosowania. Obszar palności i wybuchowości słabo zbadany
- W krajach o zwiększonym zagrożeniu terrorystycznym – badania jego skutków i sposoby zapobiegania
- Rozwój nowych środków zmniejszenia ryzyka wybuchu
- Problemy bezpieczeństwa wodorowego

# Dziękuję za uwagę

Od BLEVE,  
tsunami ,  
pożarów i  
wybuchów  
zachowaj  
nas Panie



Dobrze, ale  
bierzcie się  
do myślenia  
i działania