

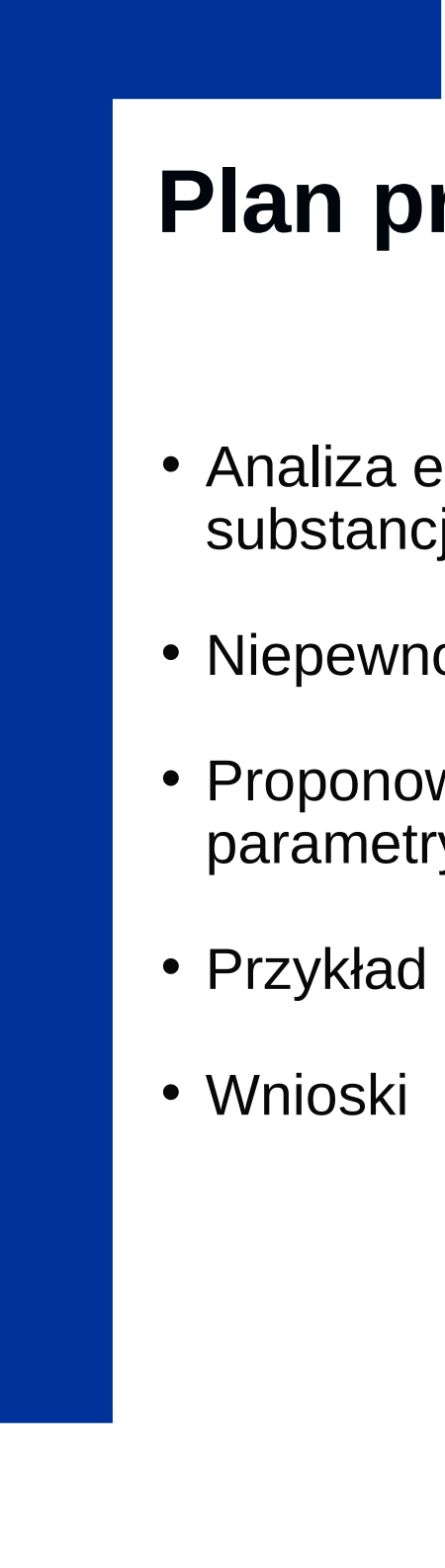
Modelowanie efektów fizycznych i skutków awaryjnych uwolnień LNG do środowiska

Dorota Siuta, Adam S. Markowski

Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa Pracy
Politechniki Łódzkiej

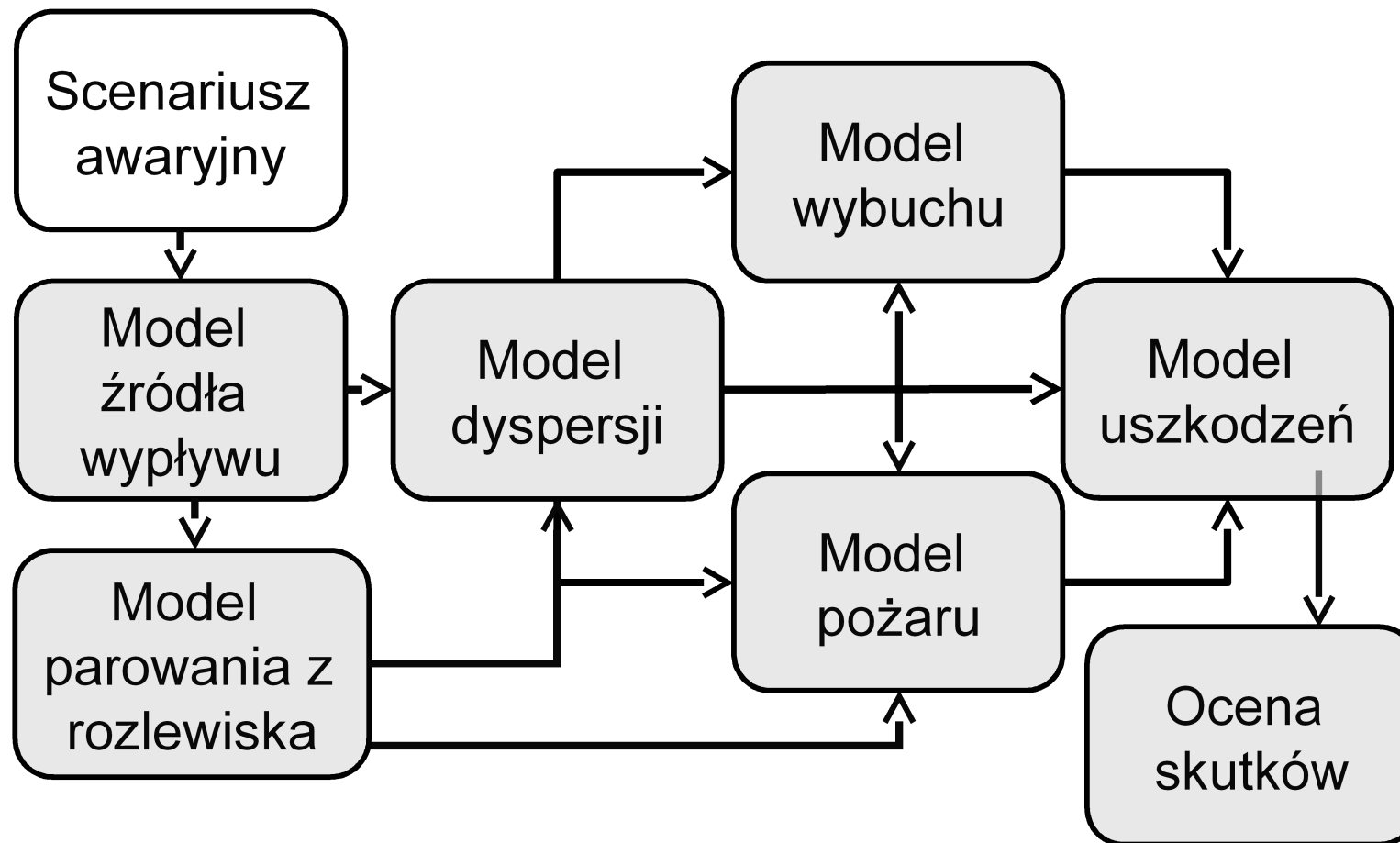
XI Konferencja Naukowo - Techniczna
„Bezpieczeństwo techniczne w przemyśle”
Łódź, 18 wrzesień 2012 r.

Plan prezentacji



- Analiza efektów fizycznych i skutków awaryjnych uwolnień substancji niebezpiecznych do środowiska
- Niepewności w analizie efektów fizycznych i skutków
- Proponowana metodyka modelowania niepewności parametrycznej w analizie efektów fizycznych i skutków
- Przykład studialny
- Wnioski

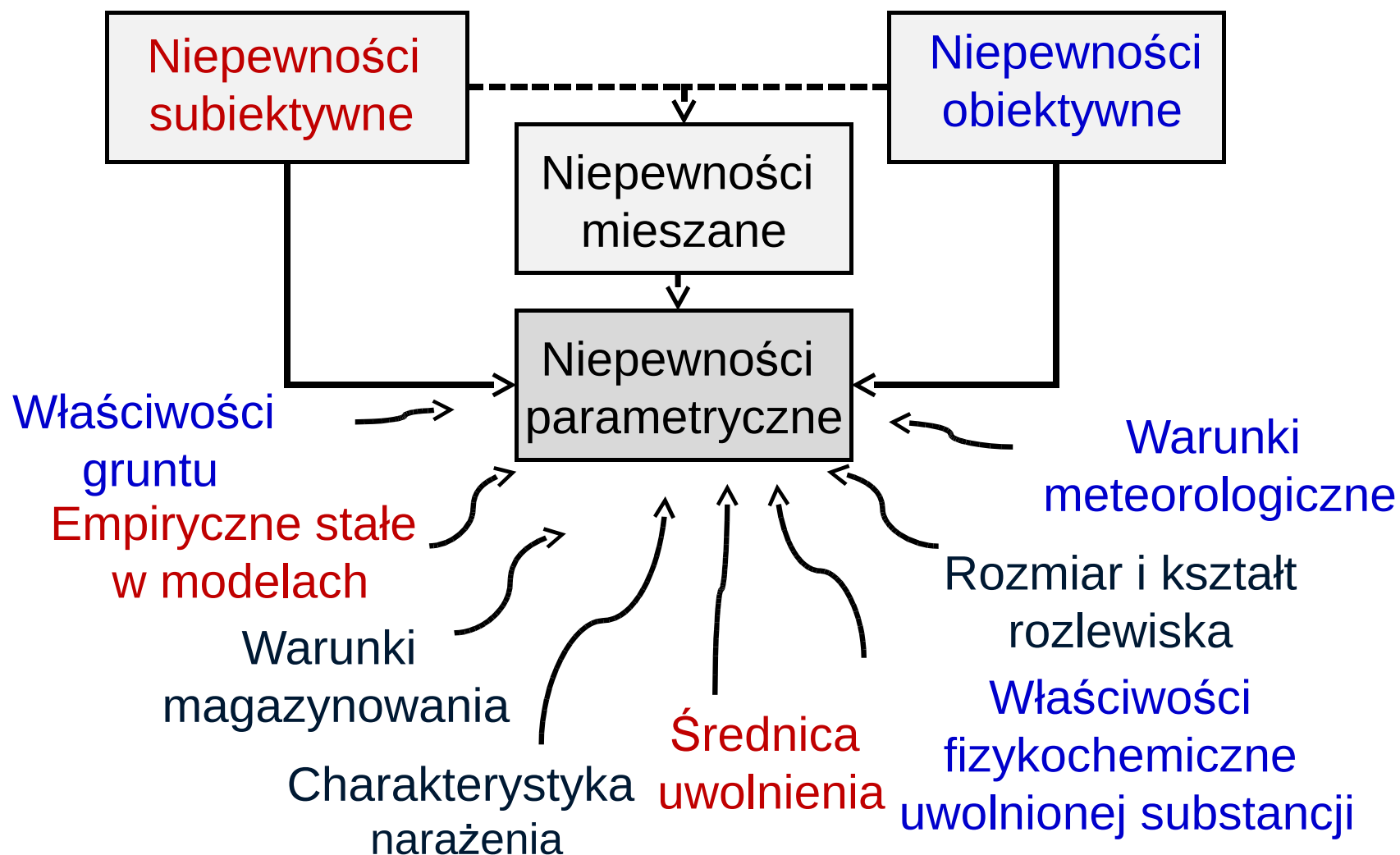
Analiza efektów fizycznych i skutków



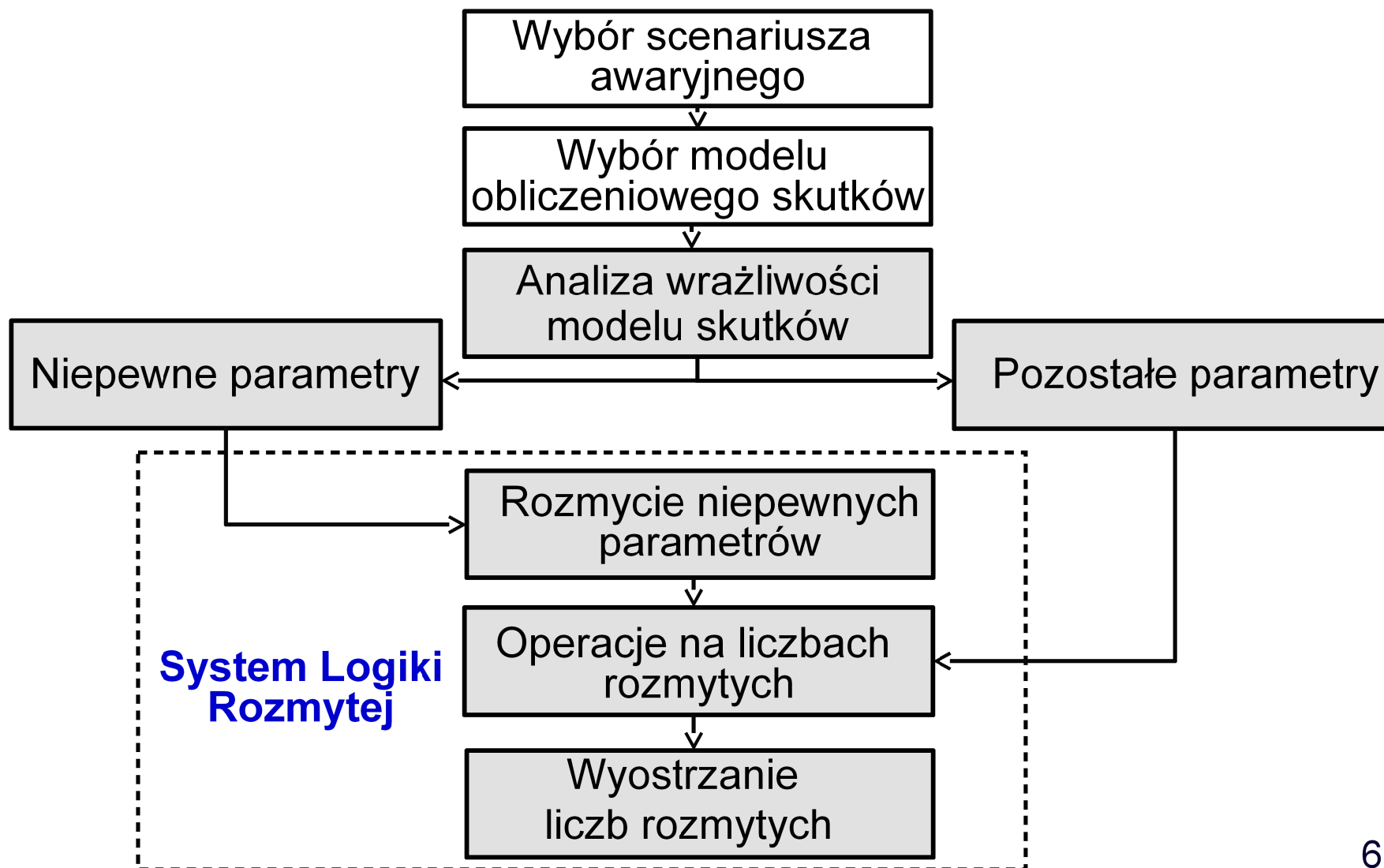
Niepewności w analizie

Całościowa	Modelowa	Parametryczna
Brak poprawności w identyfikacji wszystkich rodzajów skutków jak również oddziaływań między skutkami	Brak lub niewystarczająca, niepełna wiedza na temat danego zjawiska Wybór modelu Założenia, uproszczenia i ograniczenia w modelach obliczeniowych efektów fizycznych i skutków	Brak lub niewystarczająca, niepełna wiedza na temat zmiennych użytych w modelach obliczeniowych efektów fizycznych i skutków

Niepewności parametryczne



Proponowana metodyka



Przykład studialny

Scenariusz awaryjny

Awaryjne rozszczelnienie zbiornika z LNG,
wypływ LNG do wody, dyspersja LNG do atmosfery

Model obliczeniowy rozprzestrzeniania się LNG do atmosfery

- Model Gaussowski (GD)
- Model Britter-McQuaid (BMQ)

Dane wejściowe do obliczeń zaczepnięte z eksperymentów

- Maplin Sands
- Coyote



Eksperymenty poligonowe

Nazwa eksperymentu	Maplin Sands 27	Coyote 5
Data eksperymentu	9 wrzesień, 1980	7 październik, 1981
Lokalizacja	Anglia	China Lake, Kalifornia
Sponsorowane przez	Shell Research Ltd.	Naval Weapons Center
Typ uwolnienia	Uwolnienie ciągłe LNG na nieograniczoną powierzchnię wody	
Postać magazynowania	ciecz	
Gęstość [kg/m ³]	435,3	452,7
Natężenie wypływu [kg/s]	23,21	129,02
Czas trwania uwolnienia [s]	160	98
Temperatura wypływu LNG [K]	111,7	111,6
Temperatura wody [K]	288,8	nie dostępne
Temperatura otoczenia [K]	288,1	301,49
Średnia prędkość wiatru [m/s]	5,5	10,47
Klasa stabilności atmosfery wg Pasquilla Gifforda [-]	C	C
Szorstkość terenu [m]	0,0003	0,0002

Piśmiennictwo: Colenbrander G.W. i in. 1984, Goldwire H.C. i in. 1983

Analiza wrażliwości wybranego modelu

$$S_i = \frac{\partial \ln f(\tilde{x})}{\partial \ln \tilde{x}_i} = \frac{\frac{\partial f(\tilde{x})}{f(\tilde{x})}}{\frac{\partial \tilde{x}_i}{\tilde{x}_i}} = \frac{\partial f(\tilde{x})}{\partial \tilde{x}_i} \cdot \frac{\tilde{x}_i}{f(\tilde{x})}$$

S_i - indeks wrażliwości, x_i – wartość poszczególnego parametru danego modelu, $f(x)$ - wynik danego modelu

Model dyspersji atmosferycznej

Gaussowski model (GD)

Niepewne parametry

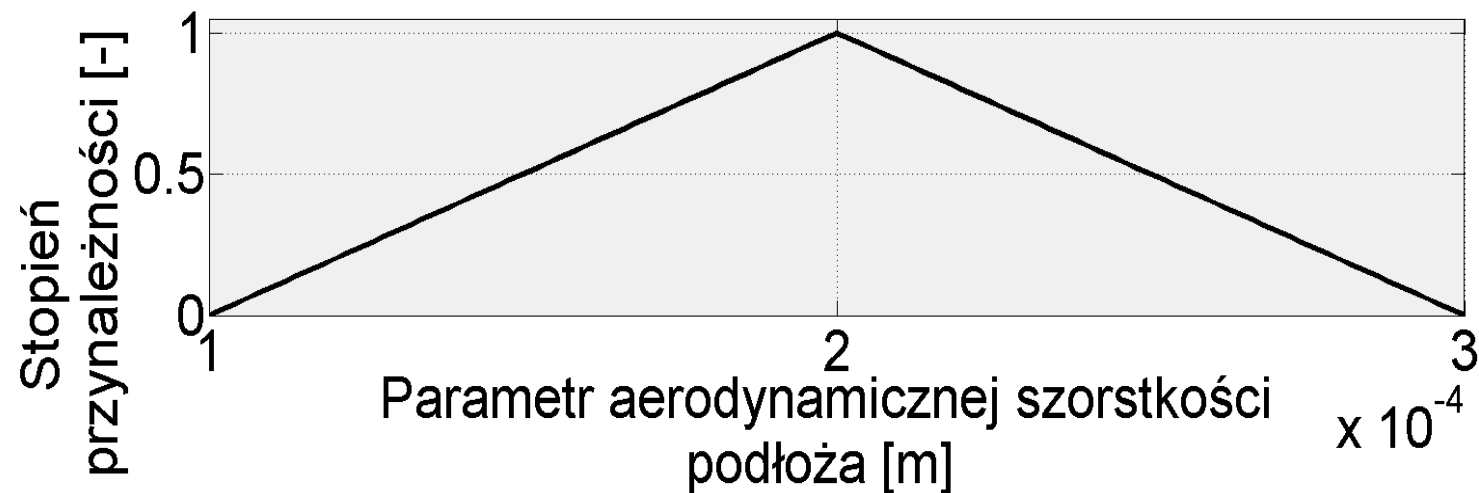
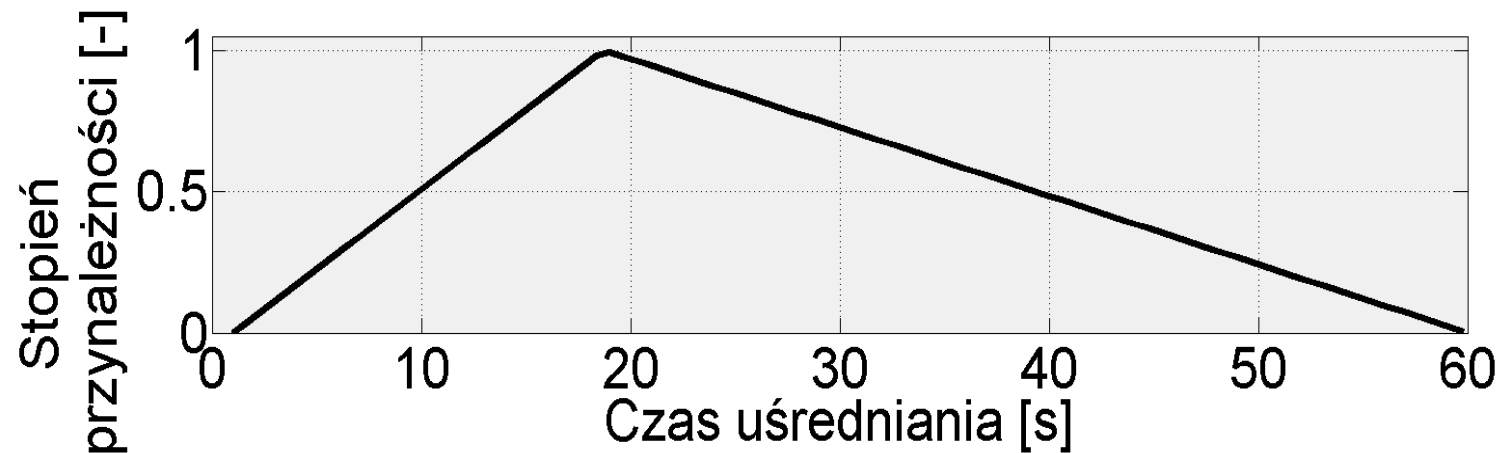
Natężenie wypływu

Prędkość wiatru

Aerodynamiczny współczynnik szorstkości terenu

Czas uśredniania

Rozmywanie niepewnych parametrów



Operacje na liczbach rozmytych

$$\sigma_z = f (10 \otimes f_{zo})^{0.53 \otimes x^{-0.22}} \otimes c \otimes x^d$$

Klasa stabilności atmosfery

Aerodynamiczny współczynnik szorstkości terenu

$$\sigma_y = a \otimes x \otimes \left(\frac{f ta}{600} \right)^{0.2}$$

Czas uśredniania stężenia

Operacje na liczbach rozmytych

Współczynnik pionowej
dyfuzji atmosferycznej

Współczynnik poziomej
dyfuzji atmosferycznej

$$f \sigma_z = f (10 \otimes f z_0)^{0.53 \otimes x^{-0.22}} \otimes c \otimes x^d$$

$$f \sigma_y = a \otimes x \otimes \left(\frac{f t a}{600} \right)^{0.2}$$

Stężenia
ustalonym w czasie

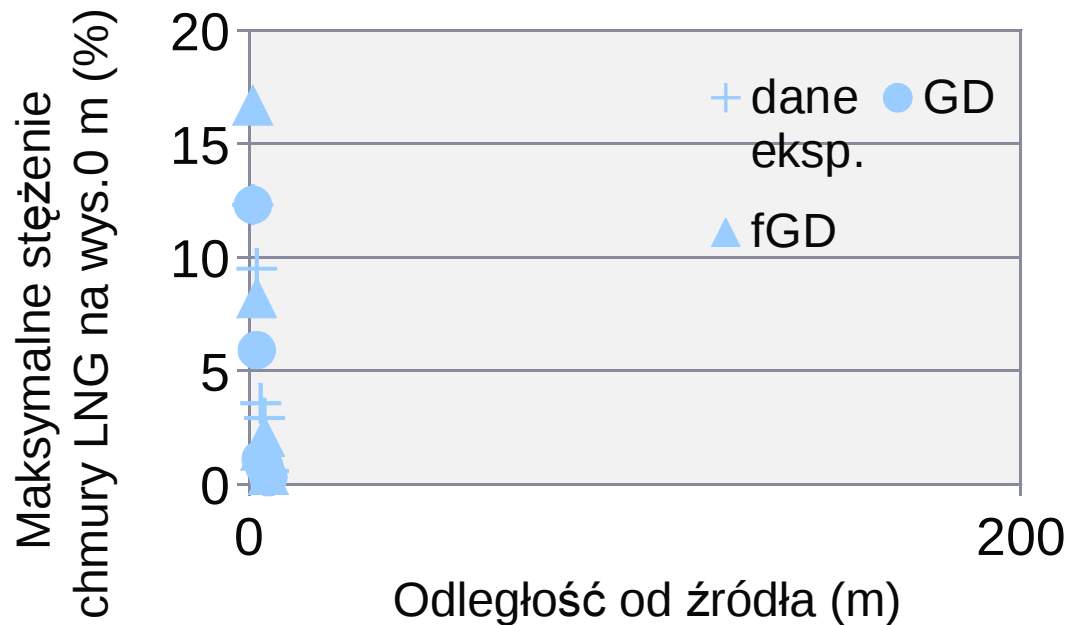
Natężenie emisji

Wysokość uwolnienia

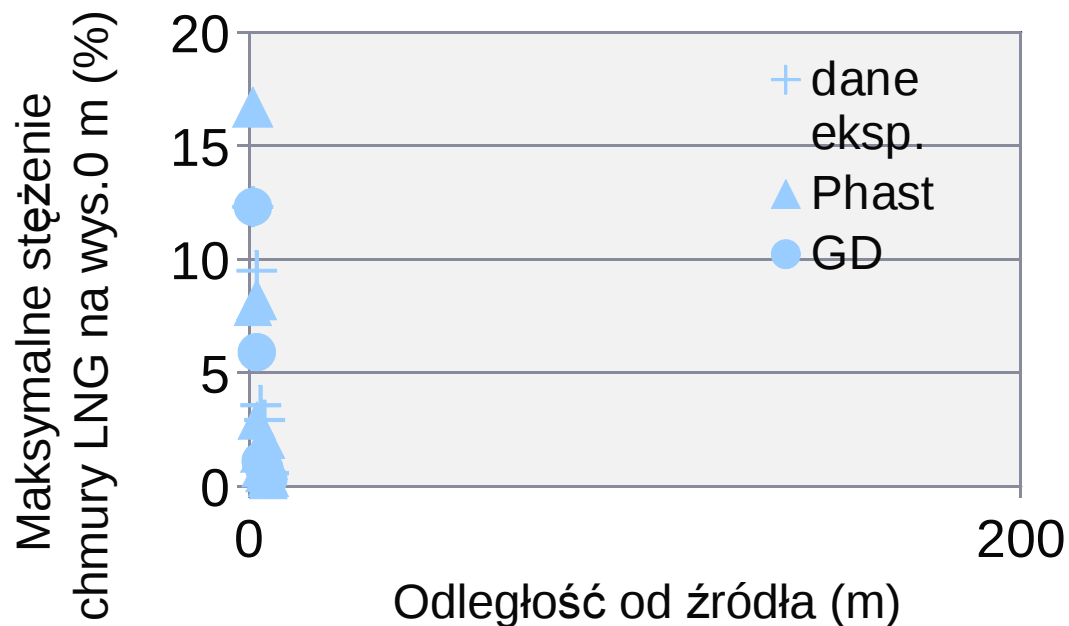
Prędkość wiatru
na wysokości 10 m

$$f C(x, y, z) = \frac{f Q_m}{2\pi \otimes f \sigma_y \otimes f \sigma_z \otimes f u} \otimes \exp \left[-\frac{1}{2} \otimes \left(\frac{y}{f \sigma_y} \right)^2 \right] \otimes \dots \otimes \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \otimes \left(\frac{z-H}{f \sigma_z} \right)^2 \right] \oplus \exp \left[-\frac{1}{2} \otimes \left(\frac{z \oplus H}{f \sigma_z} \right)^2 \right] \right\}$$

Wyniki model fGD – Maplin Sands test

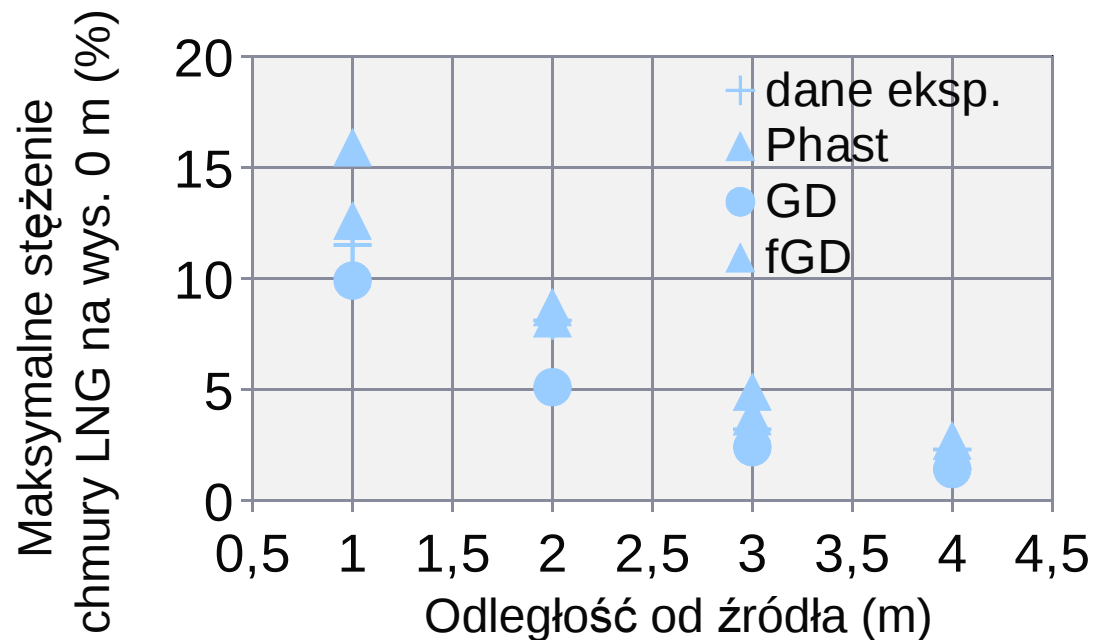


Wyniki model fGD – Maplin Sands test



Wskaźniki statystyczne	Model			Przedział akceptowalności
	Phast	GD	fGD	
FB	1	0,7	0,3	$-0,4 < FB < 0,4$
MG	3,4	2,3	1,4	$0,64 < MG < 1,5$
MRSE	1,1	0,6	0,2	$MRSE < 2,3$
VG	6,4	2,8	1,3	$VG < 3,3$
FAC2	0,4	0,5	0,8	$0,5 < FAC2 < 2$

Wyniki model fGD – Coyote test



Wskaźniki statystyczne	Model			Przedział akceptowalności	Model idealny
	Phast	GD	fGD		
FB	-0,2	0,3	-0,1	$-0,4 < FB < 0,4$	0
MG	0,8	1,4	0,9	$0,64 < MG < 1,5$	1
MRSE	0,1	0,1	0	$MRSE < 2,3$	0
VG	1,1	1,2	1	$VG < 3,3$	1
FAC2	1,2	0,7	1,1	$0,5 < FAC2 < 2$	1

Wyniki model fBMQ

Maksymalne stężenie LNG [ppm]	Zasięg chmury LNG na wysokości 0 m [m]			
	Eksperyment Maplin Sands	Phast	BMQ	fBMQ
12,31·10 ⁴	89	50	174,7	172,2
9,49·10 ⁴	131	60	212,8	211,01
3,56·10 ⁴	324	112	366,7	361,1
2,91·10 ⁴	400	130	413,3	403,9
0,57·10 ⁴	650	388	867	870,3

Maksymalne stężenie LNG [ppm]	Zasięg chmury LNG na wysokości 0 m [m]			
	Eksperyment Coyote	Phast	BMQ	fBMQ
11,5·10 ⁴	140	116	217,5	215,3
8,1·10 ⁴	200	181	268,1	268,1
3,2·10 ⁴	300	366	434,0	433,5
2,3·10 ⁴	400	418	524,5	522,8
11,5·10 ⁴	140	116	217,5	215,3

Wyniki model fBMQ

Różnica (poszczególne modele/eksperyment Maplin Sands)

Phast	BMQ	fBMQ
-43,8%	96,2%	93,4%
-54,2%	62,5%	61,07%
-65,4%	13,1%	11,4%
-67,5%	3,32%	0,97%
-40,3%	33,3%	33,81%

Różnica (poszczególne modele/eksperyment Coyote)

Phast	BMQ	fBMQ
-17,14%	55,3%	53,71%
-9,5%	34,0%	34,05%
22%	44,7%	44,5%
4,5%	31,1%	30,7%

Podsumowanie (1)

1. Modelowanie efektów fizycznych i skutków awaryjnych uwolnień LNG jest obarczone szeregiem niepewności związanych z niekompletnymi, niepoprawnymi lub brakiem informacjami o danych wejściowych, co może prowadzić do błędnego oszacowania strefy zagrożeń.

2. W artykule opracowano metodykę obliczania efektów fizycznych i skutków substancji niebezpiecznych z uwzględnieniem niepewności parametrycznych przy wykorzystaniu teorii zbiorów rozmytych.

Podsumowanie (2)

3. Przykład studialny dotyczący obliczenia zasięgu strefy toksycznej LNG potwierdził przydatność opracowanej metodyki.
4. Zaproponowane model fGD oraz fBMQ dają dokładniejsze rezultaty niż klasyczne ich wersje GD, BMQ w porównaniu z danymi eksperymentalnymi dotyczącymi uwolnienia LNG na powierzchnię wody.
5. Zastosowanie zaproponowanej metodyki zwiększa efektywność obliczania stref zagrożeń, co pozwala na efektywną ocenę stopnia zapewnienia bezpieczeństwa w instalacjach procesowych.

Dziękuję Państwu za uwagę!

Proszę o ewentualne uwagi i pytania!



Potencjalne rodzaje efektów fizycznych

Zdarzenie szczytowe	Miejsce uwolnienia	Rozlewisko	Zapłon natychmiastowy	Zapłon opóźniony	Zdarzenie wyjściowe
Uwolnienie LNG	woda	tak	tak		• PF
				tak	• FF
			nie		•
		nie		nie	• RPT+dyspersja
	ziemia		tak		• JF
		tak	tak		• PF
				tak	• FF/VCE
			nie		•
PF- pożar powierzchniowy, JF- pożar strumieniowy, FF- pożar błyskawiczny RPT - gwałtowna przemiana fazowa, VCE - wybuch chmury parowej					dyspersja JF