

Kryteria progowe stref zagrożeń i efekty domino



Henryk Pawlak

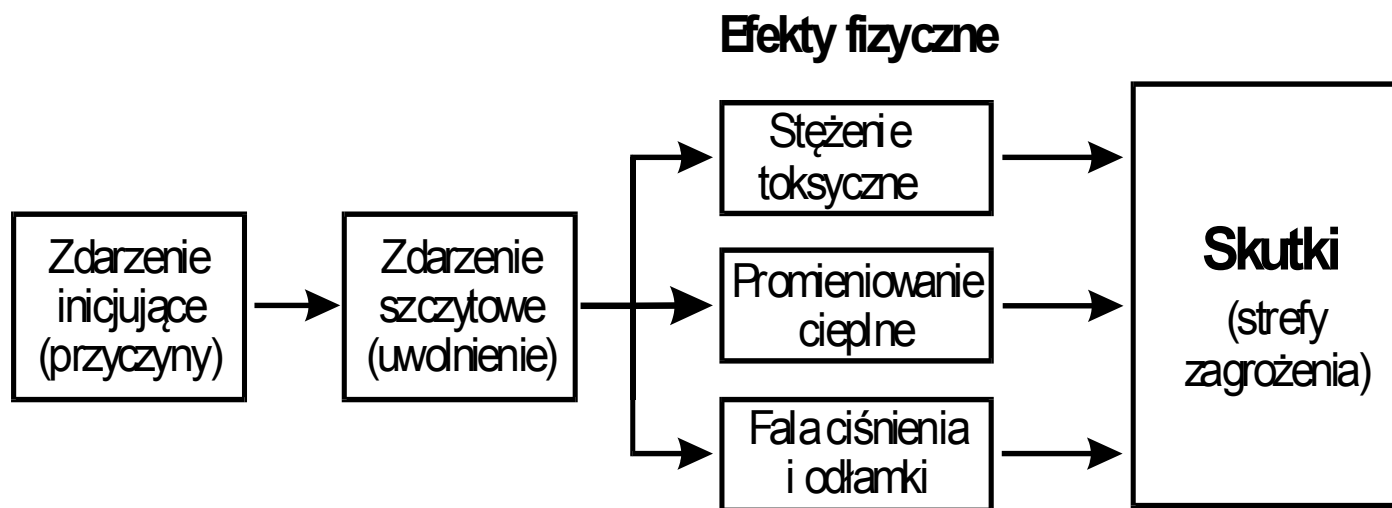
Zakład Bezpieczeństwa Procesowego i Ekologicznego

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

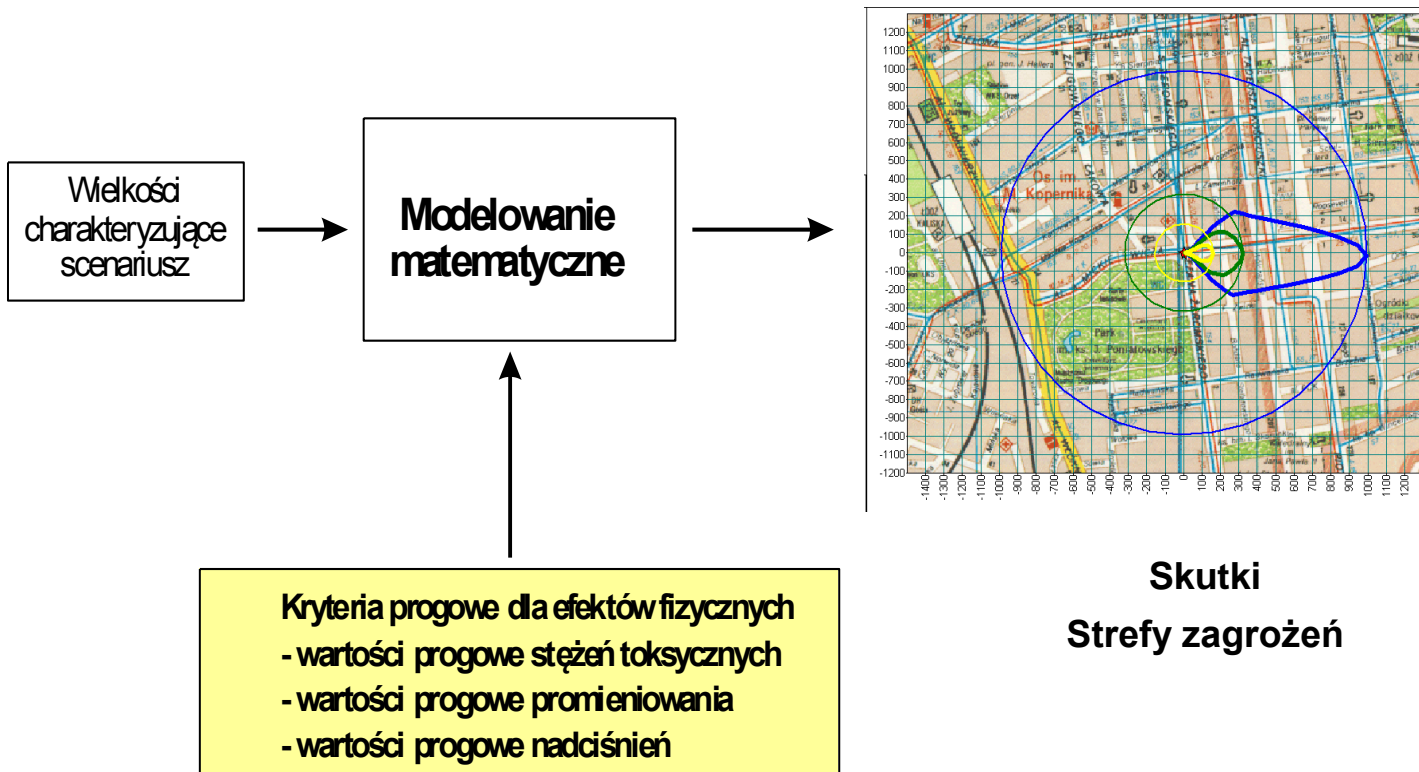
Politechnika Łódzka

Scenariusz awaryjny stanowi podstawę do opracowania:

- analiz ryzyka wykorzystywanych w zarządzaniu bezpieczeństwem
- raportów o bezpieczeństwie
- wewnętrznych i zewnętrznych planów operacyjno-ratowniczych
- planów zagospodarowania przestrzennego



Scenariusz awaryjny



Kryteria progowe stref zagrożeń i efekty domino

Do wyznaczenia stref zagrożeń toksycznych dla awaryjnych uwolnień potrzebne są kryteria progowe dla krótkoterminowego (ostrego) i sporadycznego narażenia na różne substancje chemiczne:

- oparte na naukowych podstawach
- opracowane dla populacji generalnej
- określające różne efekty zdrowotne (dyskomfort, nieodwracalny efekt zdrowotny, efekt śmiertelny)
- opracowane w oparciu o aktualne dane o ostrej toksyczności

W Polsce nie zostały opracowane takie kryteria

Długo- krótkotrwałe ograniczenia dopuszczalnego poziomu narażenia na stanowiskach pracy (NDS, NDSCh i NDSP) nie są przydatne sytuacjach awaryjnych.

Zostały zdefiniowane dla innych celów i w oparciu o dane dla toksyczności podostrej przewlekłej.

Są to stężenia przy których nie powinny wystąpić żadne zmiany w stanie zdrowia narażonych ludzi ich potomstwa nawet przy wielokrotnej powtarzalnej ekspozycji

Lp.	Nazwa zestawu stężeń progowych	Kraj i nazwa organizacji opracowującej
1.	Acute Exposure Guideline Levels (AEGL)	US, National Advisory Committee on AEGLs (NAC / AEGLs)
2.	Dangerous Toxic Load (DTL)	UK, Health and Safety Executive
3.	Emergency Exposure Indices (EEI)	European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals (ECETOC)
4.	Emergency Response Planning Guideline (ERPG)	US, American Industrial Hygiene Association (AIHA)
5.	Intervention Values for Dangerous Substances	Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment
6.	Temporary Emergency Exposure Limit (TEEL) <i>Protective Action Criteria (PAC)</i>	US, Department of Energy, Subcommittee on Consequence Assessment and Protective Actions (DOE, SCAPA)
7.	Threshold of Irreversible Effects (SEL) Threshold of Lethal Effects (SEI)	French Ministry of Environment, INERIS, INRS, IPSN, University Hospitals, and Industry

W praktyce najczęściej stosowane są trzy zestawy opracowane w Stanach Zjednoczonych:

- Acute Exposure Guideline Levels (AEGL)**
- The Emergency Response Planning Guideline (ERPG)**
- Temporary Emergency Exposure Limit (TEEL)**

Informacje na temat metodologii oraz samych wartości progowych dla dużej ilości substancji są łatwo dostępne na stronach internetowych

Wartości progowe podlegają ciągłej weryfikacji przez stałe zespoły ekspertów w oparciu o najnowsze badania toksykologiczne

Prowadzone są również ciągłe prace nad ustaleniem wartości progowych dla nowych substancji

AEGL to zestaw stężeń progowych opracowany dla ochrony populacji generalnej określający toksyczne efekty u ludzi dla pięciu czasów ekspozycji: 10 min, 30 min, 60min, 240 min, 480 min

(Wartości ostateczne i tymczasowe dla 247 substancji)

stężenie substancji w powietrzu, powyżej którego przewiduje się że generalna populacja włączając w to wrażliwych osobników, może doznać zagrażającego życiu efektu zdrowotnego lub zginąć

AEGL-3

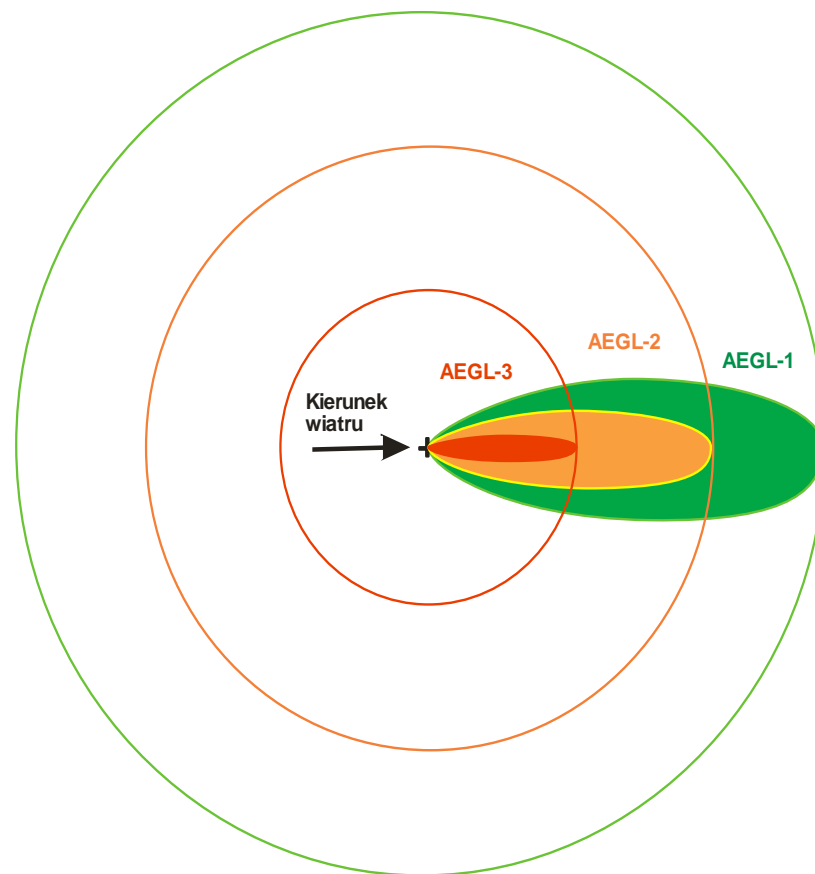
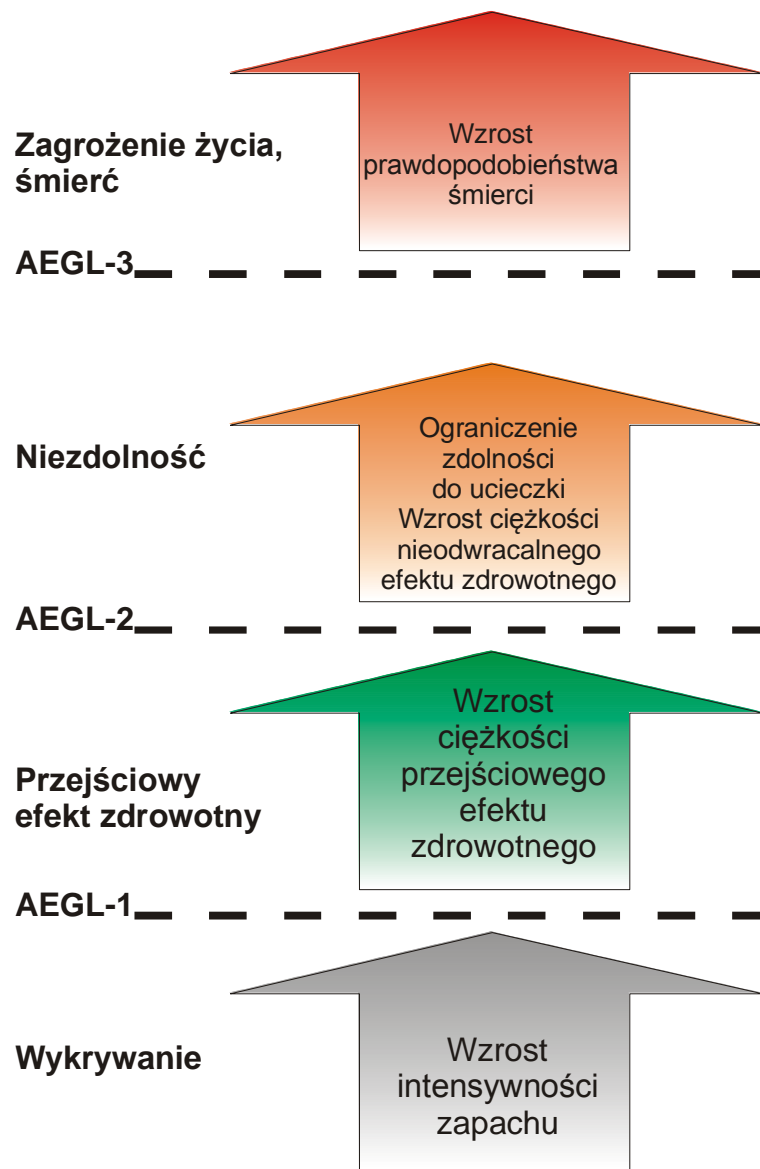
stężenie substancji w powietrzu, powyżej którego przedstawiciel populacji generalnej, włączając w to wrażliwych osobników, może doznać nieodwracalnego lub innego poważnego niekorzystnego długotrwałego efektu zdrowotnego lub ograniczenia zdolności do ucieczki.

AEGL-2

stężenie substancji w powietrzu, powyżej którego przedstawiciel populacji generalnej, włączając w to wrażliwych osobników, może doznać tylko zauważalnego dyskomfortu, podrażnienia. Ponadto efekt jest przejściowy i ustępuje po ustaniu narażenia

AEGL-1

Strefy zagrożeń AEGL



Kryteria progowe stref zagrożeń i efekty domino



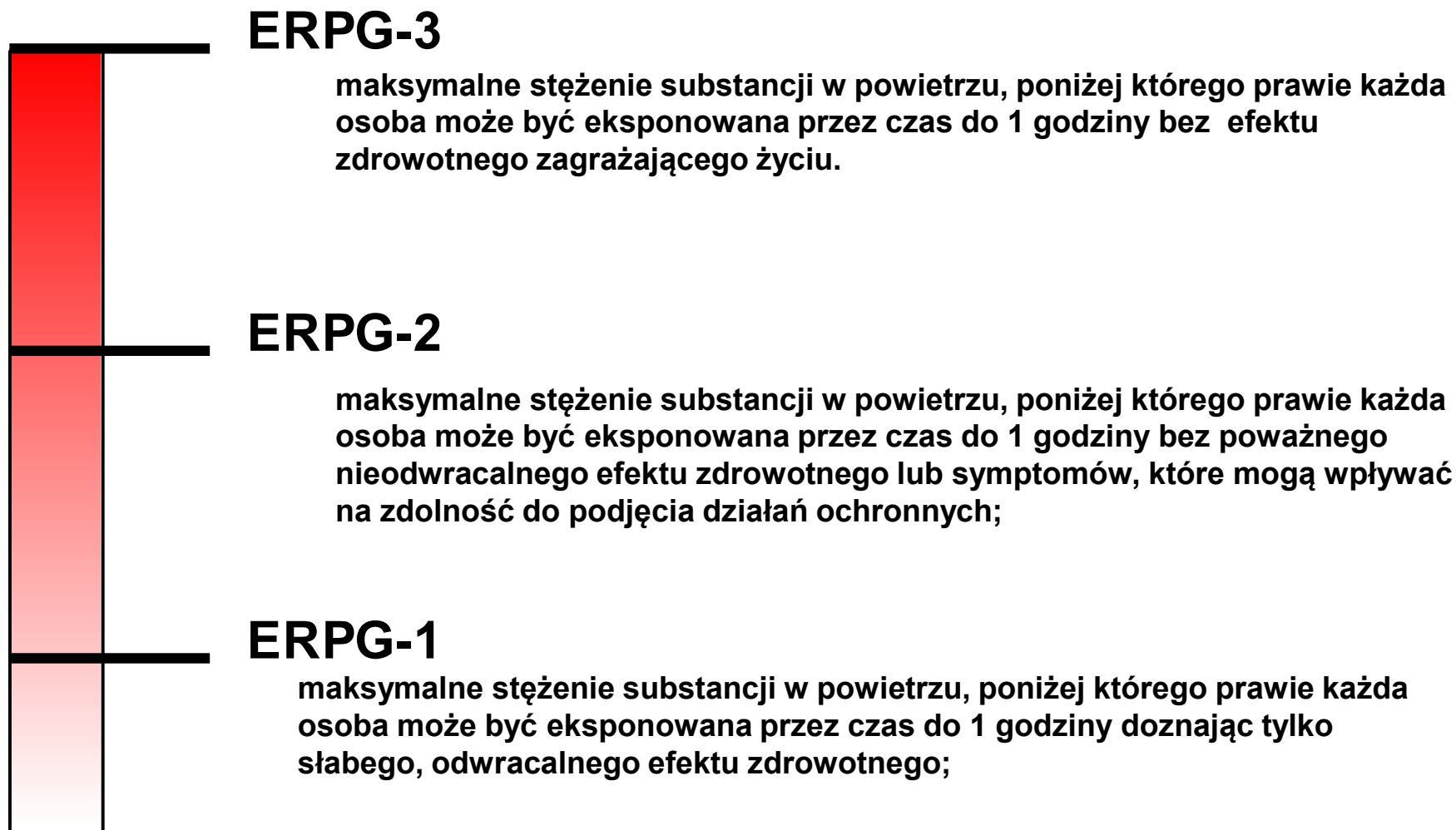
Ammonia 7664-41-7 (Final)					
ppm					
	10 min	30 min	60 min	4 hr	8 hr
AEGL 1	30	30	30	30	30
AEGL 2	220	220	160	110	110
AEGL 3	2,700	1,600	1,100	550	390

Chlorine 7782-50-5 (Final)					
ppm					
	10 min	30 min	60 min	4 hr	8 hr
AEGL 1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
AEGL 2	2.8	2.8	2.0	1.0	0.71
AEGL 3	50	28	20	10	7.1

Formaldehyde 50-00-0 (Interim)					
ppm (12/12/06)					
	10 min	30 min	60 min	4 hr	8 hr
AEGL 1	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
AEGL 2	14	14	14	14	14
AEGL 3	100	70	56	35	35

ERPG to zestaw stężeń progowych opracowany dla ochrony „prawie wszystkich osób” określający toksyczne efekty u ludzi dla jednego czasu ekspozycji - 60min

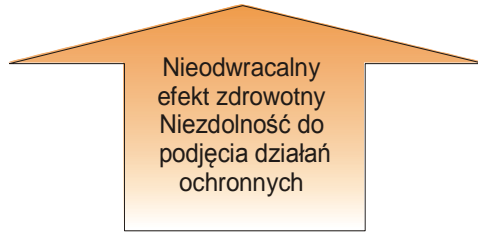
Dostępne dane dla 140 substancji



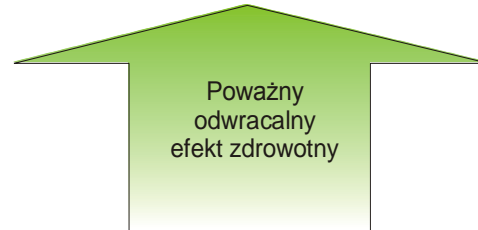
Strefy zagrożeń ERPG

**Zagrożenie życia,
śmierć**

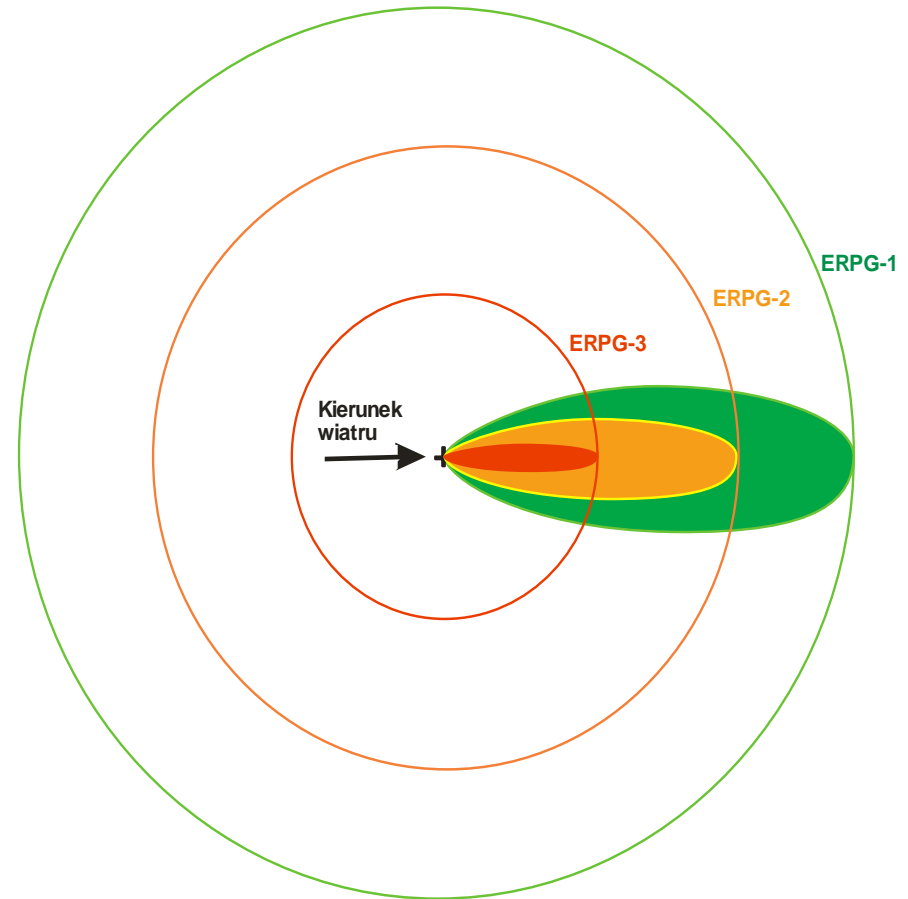
ERPG-3 — — — — —



ERPG-2 — — — — —



ERPG-1 — — — — —



Kryteria progowe stref zagrożeń i efekty domino

Wartości ERPG (ppm)

Substancja	ERPG		
	1	2	3
Amoniak	1000	200	25
Butadien	5000	500	10
Chlor	20	3	1
Tlenek etylenu	500	50	N/A
Chlorowodór	100	20	3
Fluorowodór	50	20	5
Siarkowodór	100	30	0.1
Metanol	5000	1000	200
Fosgen	1	0.2	N/A
Ditlenek siarki	15	3	0.3
Octan winylu	500	75	5

TEEL (PAC) to zestaw stężeń progowych opracowany dla ochrony „prawie wszystkich osób” określający toksyczne efekty u ludzi dla jednego czasu ekspozycji - 60min. Dostępne dane dla ok. 3000 substancji



TEEL-3

maksymalne stężenie substancji w powietrzu, poniżej którego prawie każda osoba może być eksponowana bez efektu zdrowotnego zagrażającego życiu.

TEEL-2

maksymalne stężenie substancji w powietrzu, poniżej którego prawie każda osoba może być eksponowana bez poważnego nieodwracalnego efektu zdrowotnego lub symptomów, które mogą wpływać na zdolność do podjęcia działań ochronnych

TEEL-1

maksymalne stężenie substancji w powietrzu, poniżej którego prawie każda osoba może być eksponowana przez czas do 1 godziny doznając tylko słabego, odwracalnego efektu zdrowotnego

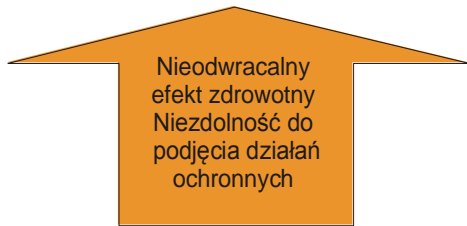
TEEL-0

maksymalne stężenie substancji w powietrzu poniżej którego większość ludzi nie doświadczy zauważalnego efektu zdrowotnego

Strefy zagrożeń TEEL

**Zagrożenie życia,
śmierć**

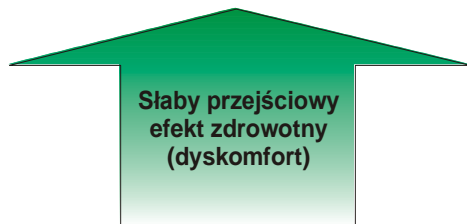
TEEL-3 — — — — —



TEEL-2 — — — — —

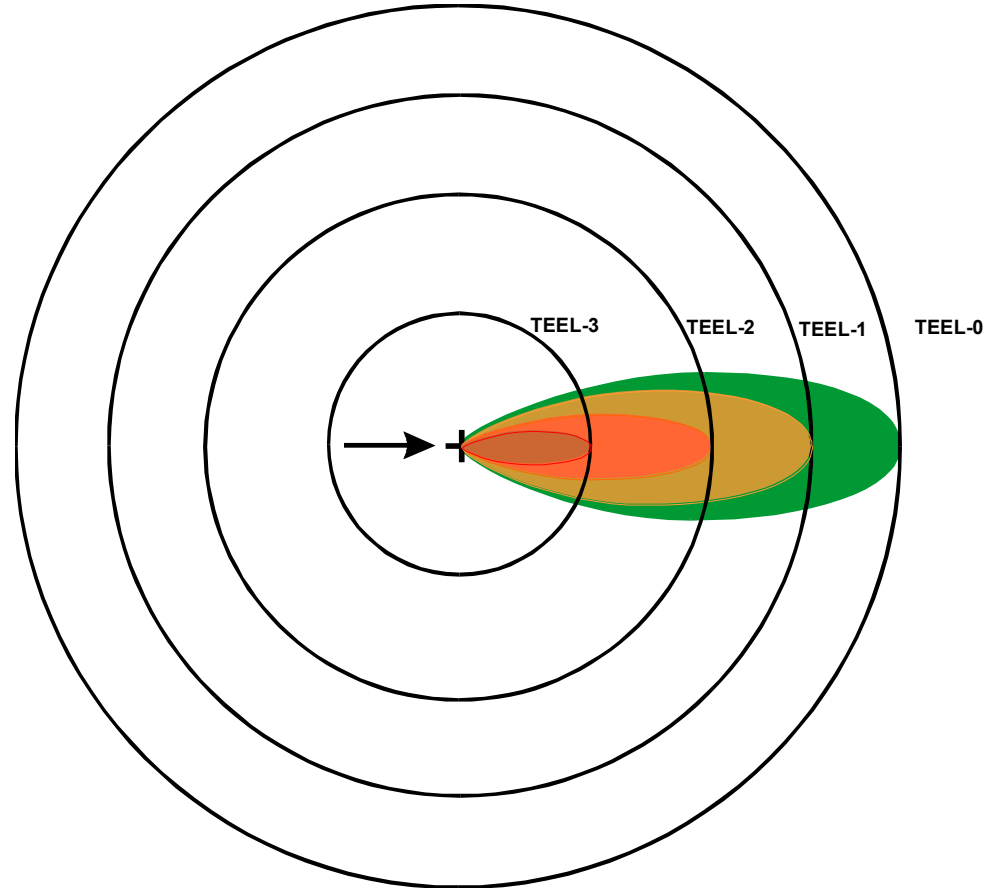


TEEL-1 — — — — —



TEEL-0 — — — — —

Brak zauważalnego
efektu zdrowotnego



Kryteria progowe stref zagrożeń i efekty domino

Wartości TEEL

No.	Chemical Name	CASRN	Recommended TEELs Rev 20				Units of original limits
			TEEL-0	TEEL-1	TEEL-2	TEEL-3	
224	Bis(chloromethyl)oxetane, 3,3-	78-71-7	0.4	1.25	2	75	mg/m3
225	Isopentane; (Ethyl dimethylmethane; 2-Methylbutane)	78-78-4	610	610	610	20000	ppm
226	Isoprene	78-79-5	50	150	250	25000	ppm
227	Isobutylamine	78-81-9	5	5	6	35	ppm
228	Isobutyronitrile	78-82-0	8	10	50	200	ppm
229	Isobutyl alcohol	78-83-1	100	150	250	1600	ppm
230	Isobutyraldehyde	78-84-2	100	300	1500	1500	ppm
231	Methacrylaldehyde	78-85-3	0.125	0.4	2.5	12.5	ppm
232	Dichloropropane, 1,2-; (Propylene dichloride)	78-87-5	75	110	110	400	ppm
233	Dichloropropene, 2,3-	78-88-6	0.5	1.5	10	50	ppm
234	Propanediamine, 1,2-	78-90-0	7.5	25	200	500	mg/m3
235	Butyl alcohol, sec-; (2-Butanol)	78-92-2	100	150	500	2000	ppm
236	Butanone, 2-; (MEK)	78-93-3	200	300	300	3000	ppm
237	Methyl vinyl ketone; (3-Buten-2-one)	78-94-4	0.2	0.2	0.2	0.25	ppm
238	Chloroacetone	78-95-5	1	1	1	7.5	ppm
239	Lactonitrile	78-97-7	3.5	10	18	150	mg/m3

Program ACUTEX

W Unii Europejskiej w latach 2002 - 2005 prowadzony był projekt badawczy ACUTEX zmierzający do opracowania metodyki umożliwiającej ustalenie zestawu odpowiednich kryteriów progowych „Acute Exposure Threshold Levels (AETLs)”



- Institut National de l'environnement Industriel et des Risques (INERIS)
- European Commission Joint Research Centre (JRC)
- BundesInstitut für Gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinär Medizin (BgVV)
- U.K. Health and Safety Executive (UKHSE)
- Catholic University of Louvain (UCL)
- Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL)
- European Centre for Ecotoxicology and Toxicity of Chemicals (ECETOC)
- Ministère de la Région Wallonne (MRW)
- Conseil Européen de l'industrie Chimique (CEFIC)

Program ACUTEX

W trakcie prac w ramach projektu zdefiniowano trzy podstawowe poziomy narażenia dla 5 czasów (10, 30, 60, 240 i 480 minut)

Poziom 1 - (AETL-1)

Poziom 2 - (AETL-2)

Poziom 3 - (AETL-3a) (AETL-3b)

AETL-1 – maksymalne stężenie substancji w powietrzu na które może być ekspozowany każdy przedstawiciel populacji generalnej przez określony czas doznając tylko łagodnego odwracalnego efektu zdrowotnego.

AETL-2 – maksymalne stężenie substancji w powietrzu na które może być ekspozowany każdy przedstawiciel populacji generalnej przez określony czas nie doznając nieodwracalnego lub innego poważnego niekorzystnego efektu zdrowotnego, w tym objawów mogących uniemożliwić ucieczkę.

Poziom 3 został podzielony na dwa poziomy, jeden na potrzeby planowania przestrzennego związany ze śmiercią, a drugi na potrzeby zarządzania kryzysowego zwiany z efektem zdrowotnym zagrażającym życiu:

(AETL-3a) – stężenie substancji w powietrzu po ekspozycji na które przez określony czas pewien procent (1, 5, 50 %) przedstawicieli populacji generalnej straci życie.

(AETL-3b) – maksymalne stężenie substancji w powietrzu na które może być ekspozowany każdy przedstawiciel populacji generalnej przez określony czas nie doznając efektu zagrażającego życiu lub śmierci.

Brak jednolitych kryteriów progowych dla promieniowania cieplnego

Skutki dla ludzi

Zakresy dawek powodujące ból, oparzenia i śmiertelność ((DNV / Statoil (2001))



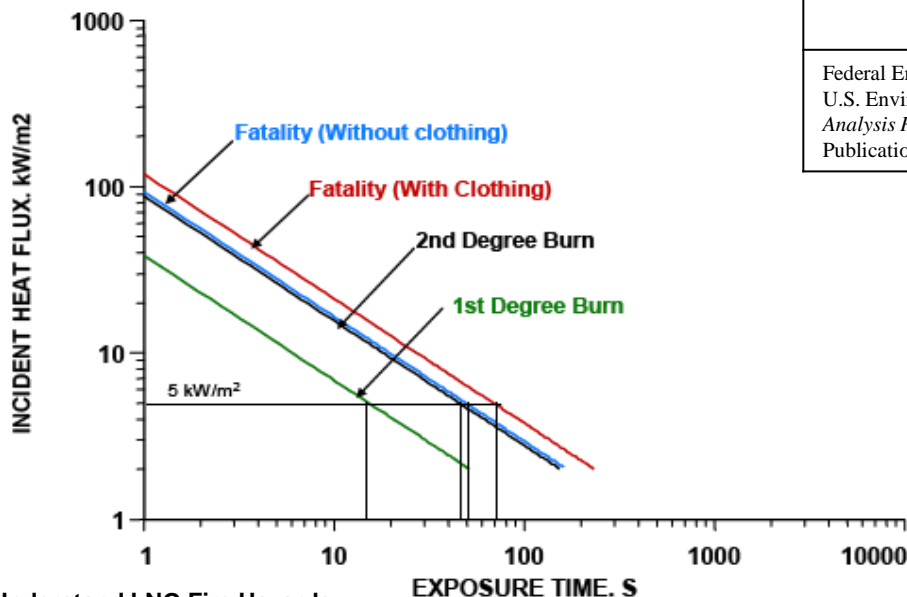
Lp.	Efekt zdrowotny	Dawka cieplna [(kW/m ²) ^{4/3} s]	Uwagi
1.	Ból	85 - 129	Nie osłonięta skóra
2.	Oparzenia 1 go stopnia	210 - 700	Nie osłonięta skóra
3.	Oparzenia 2-go stopnia / 1% śmiertelność (Standartowe ubranie)	900 – 1300	Nie osłonięta skóra
5.	Oparzenia 3-go stopnia / 1% śmiertelność (Standartowe ubranie)	2000 - 3000	Nie osłonięta skóra

Kryteria progowe dla promieniowania cieplnego

Czas ekspozycji (s)	Śmiertelność [%]		
	10 kW/m ²	20 kW/m ²	30 kW/m ²
10	0	5	39
20	1	53	93
30	11	87	100
40	31	97	100
50	53	99	100
60	71	100	100

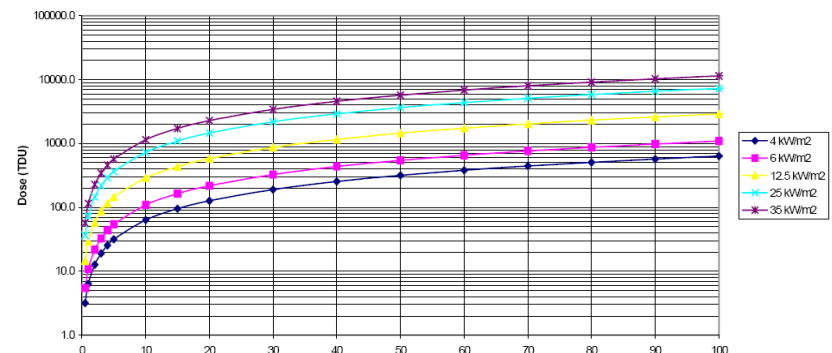
Natężenie promieniowania [kW/m ²]	Czas do powstania bólu [s]	Czas do powstania oparzeń 2-go stopnia [s]
1	115	663
2	45	187
3	27	92
4	18	57
5	13	40
6	11	30
8	7	20
10	5	14
12	4	11

Federal Emergency Management Agency, U.S. Department of Transportation, and U.S. Environmental Protection Agency. 1988. *Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency Publications Office.



Understand LNG Fire Hazards

G. A. Melhem, Ph.D., H. Ozog, A. S. Kalelkar, Ph.D.



Kryteria progowe stref zagrożeń i efekty domino

Kryteria progowe dla promieniowania cieplnego

W Polsce brak kryteriów progowych dla promieniowania cieplnego

Kryteria progowe opracowane przez US Natinal Oceanic Atmosphere Administration (NOAA)

Lp.	Natężenie promieniowania [kW/m2]	Skutek
1.	10	Możliwe ofiary śmiertelne po 60 sekundach
2.	5	Oparzenia 2 –go stopnia po 60 sekundach
3.	2	Ból po 60 sekundach

Kryterium śmiertelności proponowane przez HSE

Dawka cieplna [(kW/m2) ^{4/3} s]	Śmiertelność [%]
1000	1
2000	50
3200	100

Kryteria progowe dla promieniowania cieplnego

Propozycja ZBPIE (w oparciu o dane literaturowe, dla pożarów powierzchniowych, strumieniowych i kulistych)

Lp.	Natężenie promieniowania [kW/m ²]	Skutek	Uwagi
1.	37,5	100 % zgonów w ciągu 1 minuty	Strefa ofiar śmiertelnych
2.	25	1 % zgonów w ciągu 10 sekund	
3.	12,5	Oparzenia 1-go stopnia po 10 sekundach	Strefa poważnych obrażeń
4.	4	Ból po 20 sekundach	Strefa lekkich obrażeń

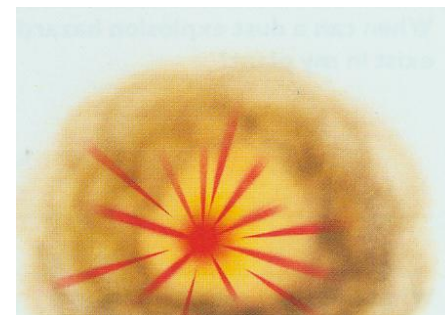
Skutki dla wyposażenia (dla długotrwałej ekspozycji)

Lp.	Natężenie promieniowania [kW/m ²]	Skutek
1.	37,5	Zniszczenie aparatury i urządzeń w ciągu 1 minuty
2.	25	Zapłon drewna bez kontaktu z płomieniem,. W niechronionych konstrukcjach stalowych powstają niebezpieczne naprężenia termiczne prowadzące do zniszczenia
3.	12,5	Topienie się tworzyw sztucznych. Pękanie szyb. W cienkiej stali powstają naprężenia prowadzące do uszkodzeń.
4.	4	Uszkodzenie powierzchni z tworzyw sztucznych i powłok lakierniczych

Kryteria progowe stref zagrożeń i efekty domino

Brak jednolitych kryteriów progowych dla fali ciśnienia

Skutki dla ludzi (w oparciu o dane literaturowe)



W terenie otwartym:

- 1 kPa – upadek osób stojących (potłuczenia)**
- 17 kPa – 1 % uszkodzonych bębenków usznych**
- 34 kPa – uszkodzenia płuc**
- 100 kPa – 1% zgonów wskutek uszkodzenia płuc**
- 200 kPa – 99 % zgonów wskutek uszkodzenia płuc**

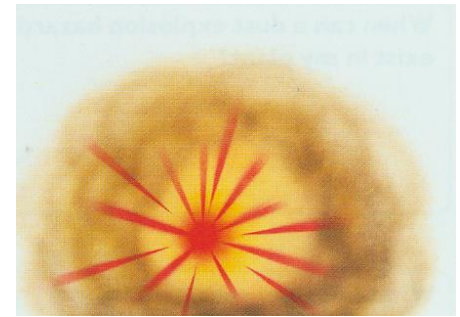
W budynkach:

- 2 kPa – urazy od pękających szyb**
- 14 kPa – ciężkie urazy w budynkach szkieletowych**
- 20 kPa – ciężkie urazy w budynkach murowanych i zgony w budynkach szkieletowych**
- 45 kPa – zgony we wszystkich typowych budynkach**

Kryteria progowe dla fali ciśnienia

Skutki budynków i konstrukcji (w oparciu o dane literaturowe)

- 2 kPa – pękanie dużych szyb
- 14 kPa – poważne uszkodzenia budynków szkieletowych
- 20 kPa – poważne uszkodzenia budynków murowanych
- 45 kPa – zniszczenie typowych budynków i konstrukcji metalowych

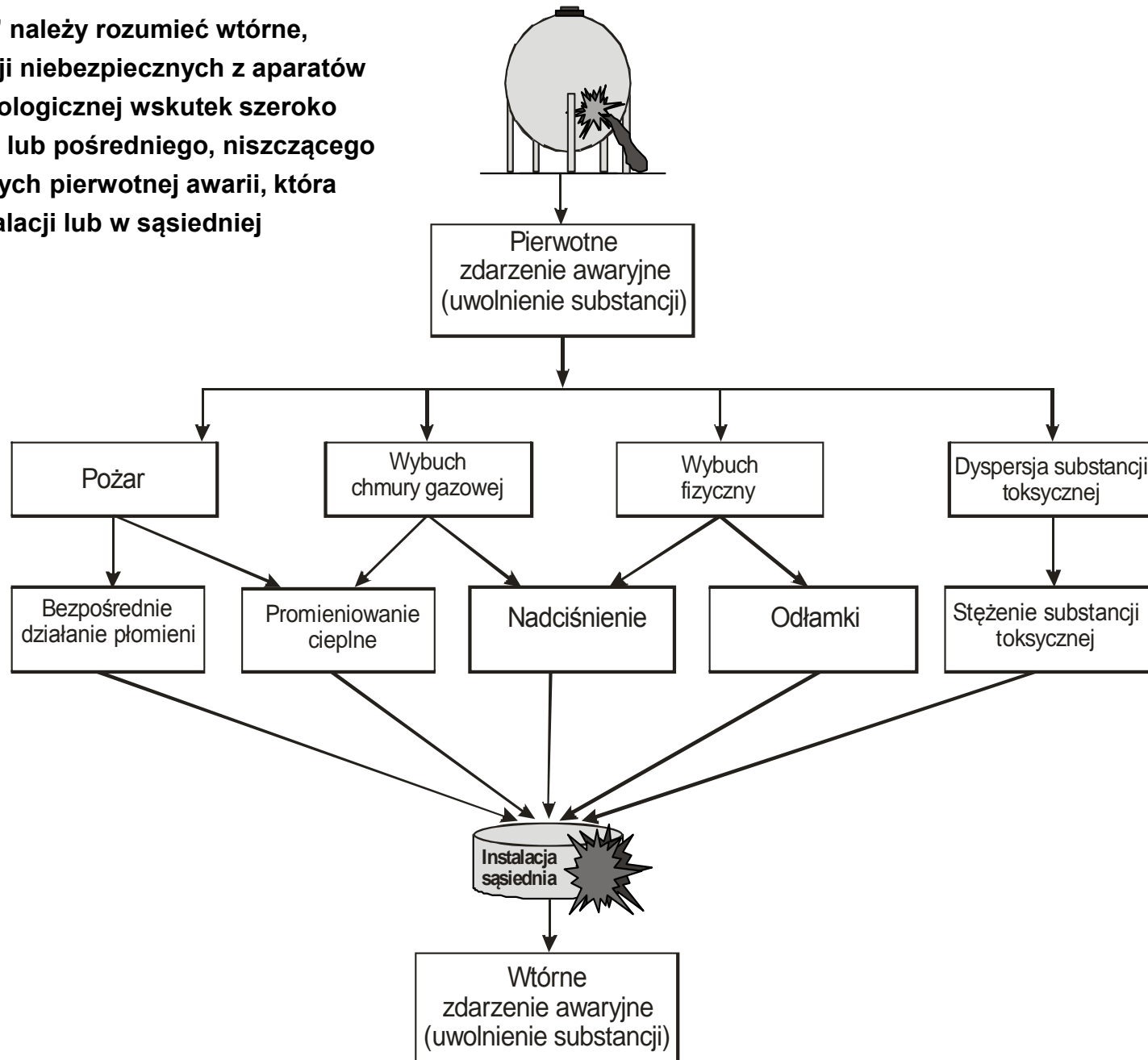


Skutki dla aparatury procesowej (w oparciu o dane literaturowe)

- 7 - 10 kPa – uszkodzenia zbiorników atmosferycznych z dachem stałym
- 17 kPa – uszkodzenie kolumn destylacyjnych
- 20 kPa – zniszczenie zbiorników atmosferycznych z dachem stałym, uszkodzenie zbiorników z dachem pływającym, uszkodzenie rurociągów na estakadach
- 30 kPa – uszkodzenie walczkowych zbiorników ciśnieniowych
- 4 kPa – zniszczenie rurociągów, uszkodzenie zbiorników kulistych
- 45 kPa – zniszczenie rurociągów, zniszczenie walczkowych zbiorników ciśnieniowych i kolumn destylacyjnych, uszkodzenie zbiorników kulistych
- 100 kPa – zniszczenie zbiorników kulistych

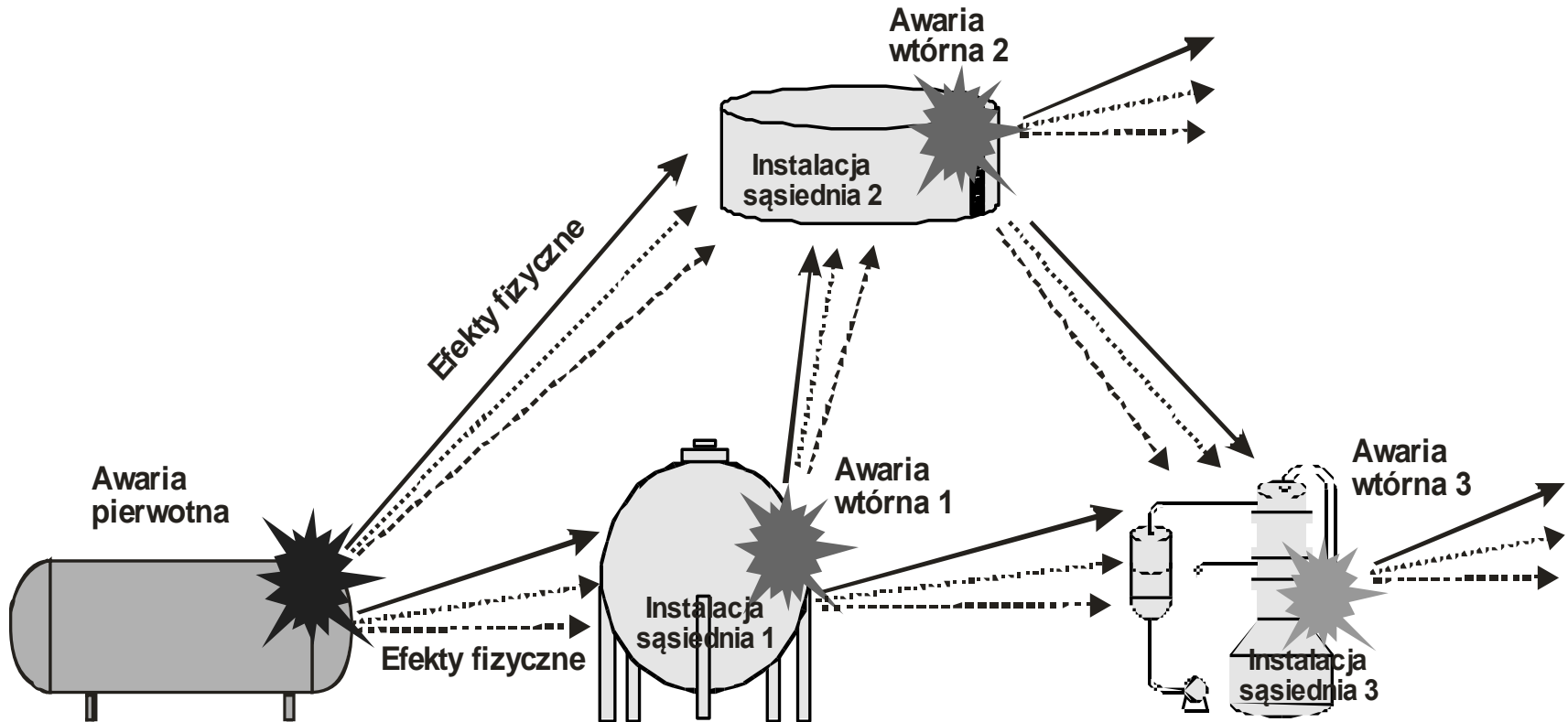
Efekty domino

Pod pojęciem „efektu domina” należy rozumieć wtórne, awaryjne uwolnienie substancji niebezpiecznych z aparatów (wyposażenia) instalacji technologicznej wskutek szeroko rozumianego, bezpośredniego lub pośredniego, niszczącego oddziaływania efektów fizycznych pierwotnej awarii, która miała miejsce w tej samej instalacji lub w sąsiedniej instalacji.



Efekty domino

Typowy przebieg efektów domina



Kryteria progowe stref zagrożeń i efekty domino

Efekty domino

Sposoby oddziaływania efektów fizycznych na instalacje technologiczne

Efekt fizyczny	Sposób oddziaływania
Promieniowanie cieplne, bezpośrednie działanie płomieni	Działanie bezpośrednie: 1. Osłabienie wytrzymałości materiału aparatury technologicznej 2. Podwyższenie ciśnienia i temperatury wewnątrz aparatury Działanie pośrednie: 1. Uszkodzenie systemu sterowania 2. Uszkodzenie systemów zasilania w media energetyczne 3. Powodowanie błędów obsługi (niewłaściwe działanie lub brak działania)
Fala nadciśnienia i odłamki	Działanie bezpośrednie. Wprowadzenie dodatkowych sił przekraczających wytrzymałość materiałów konstrukcyjnych Działanie pośrednie: 1. Uszkodzenie systemu sterowania 2. Uszkodzenie systemów zasilania w media energetyczne 3. Powodowanie błędów obsługi (niewłaściwe działanie lub brak działania)
Chmura substancji toksycznej, żrącej, utleniającej	Działanie pośrednie. Powodowanie błędów obsługi (niewłaściwe działanie lub brak działania) Ułatwione zapłony substancji łatwopalnych

Efekty domino

Rodzaj zagrożenia	Efekt domino	
	Aparatura atmosferyczna	Aparatura ciśnieniowa
Pożar błyskawiczny	pośredni efekt domina w obszarze oddziaływania płomieni	pośredni efekt domina w obszarze oddziaływania płomieni
Pożar kulisty (BLEVE)	<ul style="list-style-type: none"> - bezpośredni efekt domina w obszarze oddziaływania płomieni - bezpośredni efekt domina w obszarze oddziaływania promieniowania o natężeniu $> 100 \text{ kW/m}^2$ 	pośredni efekt domina w obszarze oddziaływania płomieni
Pożar powierzchniowy i strumieniowy	<ul style="list-style-type: none"> - bezpośredni efekt domina w obszarze oddziaływania płomieni - bezpośredni efekt domina w obszarze oddziaływania promieniowania o natężeniu: $>12,5 \text{ kW/m}^2$ dla obiektów niechronionych $>25 \text{ kW/m}^2$ dla obiektów chronionych 	<ul style="list-style-type: none"> - bezpośredni efekt domina w obszarze oddziaływania płomieni - bezpośredni efekt domina w obszarze oddziaływania promieniowania o natężeniu: $> 25 \text{ kW/m}^2$ dla obiektów niechronionych $>37,5 \text{ kW/m}^2$ dla obiektów chronionych
Wybuchy chmur gazowych i wybuchy fizyczne	<p>fala ciśnienia o wartości większej niż:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zbiorniki z dachem stałym - 7 kPa - zbiorniki z dachem pływającym- 20 kPa <p>Odlamki do odległości 1000 m</p> <p>(W odległościach powyżej 300 m prawdopodobieństwo oddziaływania spada poniżej 5×10^{-2})</p>	<p>fala ciśnienia o wartości większej niż:</p> <ul style="list-style-type: none"> - walczakowe zbiorniki ciśnieniowe - 30 kPa - kolumny destylacyjne - 17 kPa - uszkodzenie rurociągów – 20 kPa - kuliste zbiorniki ciśnieniowe - 30 kPa - kuliste zbiorniki ciśnieniowe - 45 kPa <p>Odlamki do odległości 1000 m</p> <p>(W odległościach powyżej 300 m prawdopodobieństwo oddziaływania spada poniżej 5×10^{-2})</p>