



National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"



Community Empowerment:
Crisis-Ready Solutions



POZNAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Modelowanie stref zagrożeń oddziaływania substancji niebezpiecznych

Grzegorz Dahlke

Poznań, 2025



*This activity
is supported by:*

The NATO Science for Peace
and Security Programme



1. Wprowadzenie

1.1. Cel szkolenia

- Skutki oddziaływania substancji niebezpiecznych osiągają bardzo poważne rozmiary, a wiedza o nich nie jest powszechna. Brak świadomości w zakresie sposobów oddziaływania i możliwych rozmiarów zdarzenia może prowadzić do nieprawidłowych reakcji (np. bagatelizowanie symptomów i) zagrożenia, nie powiadamianie służb ratunkowych o zagrożeniu, spóźniona ewakuacja) i niskiej motywacji do stosowania się do zaleceń służb reagujących na zagrożenia.

- Prezentacja głównych celów:

- Zwiększenie gotowości uczestników do reagowania w sytuacjach kryzysowych;
- Rozwój wiedzy i umiejętności w zakresie współpracy z lokalnymi służbami;
- Poznanie metod modelowania rozprzestrzeniania się zagrożeń chemicznych z wykorzystaniem programu ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres).

1.2. Grupa docelowa

Szkolenie skierowane jest do:

- Studentów, którzy jako absolwenci będą odpowiedzialni za kształtowanie systemów bezpieczeństwa w społecznościach lokalnych lub przedsiębiorstwach;
- Mieszkańców, chcących doskonalić swój poziom świadomości w zakresie rozwoju i rozmiarów zagrożeń;
- Urzędników realizujących zadania związane z podnoszeniem odporności lokalnych systemów zarządzania na sytuacje kryzysowe.

1.3. Struktura skryptu

- Moduł 1: Modelowanie stref zagrożeń toksycznych przy uwalnianiu substancji chemicznych
- Wprowadzenie;
- Modelowanie formalne skażeń, pożarów i wybuchów – metody i narzędzia;
- Literatura;
- Ćwiczenia.



*This activity
is supported by:*

The NATO Science for Peace
and Security Programme



2. Moduły tematyczne

WPROWADZENIE [Dahlke, 2022]

Wytyczne wdrażania systemów zarządzania bezpieczeństwem pracy zawierają zbiór odnoszący się do przygotowania na sytuacje awaryjne (ang. emergency preparedness). Sytuacje takie definiowane są jako „nieplanowane lub nieprzewidziane sytuacje wymagające natychmiastowej reakcji (np. zapalenie się maszyny w miejscu pracy lub klęska żywiołowa w pobliżu miejsca pracy lub w innym miejscu, w którym pracownicy wykonują działania związane z pracą). Obejmują one [PN ISO 45001]:

- sytuacje, takie jak niepokoje społeczne w miejscu, w którym pracownicy wykonują działania związane z pracą, które wymagają pilnej ewakuacji,
- zdarzenia naturalne, techniczne i spowodowane przez człowieka, które mają miejsce w normalnych godzinach pracy i poza tymi godzinami.

Wg OHSAS 18001:2007, sytuacja awaryjna jest szczególnym przypadkiem zdarzenia wypadkowego. Przez awarię rozumie się zdarzenie o bardzo dużych lub potencjalnie bardzo dużych stratach zarówno w odniesieniu do ludzi, jak i wyposażenia i środowiska. Wystąpienie takich zdarzeń wymaga od organizacji podjęcia specjalnych działań organizacyjnych, technicznych i ewakuacyjnych [ISRS, 2004].

Departament Bezpieczeństwa Wewnętrznego USA (Department of Homeland Security) definiuje przygotowanie na sytuacje awaryjne jako „ciągły cykl planowania, organizowania, szkolenia, wyposażania, ćwiczenia, oceny i podejmowania działań naprawczych w celu zapewnienia skutecznej koordynacji w przypadku sytuacji awaryjnych lub podczas reagowania na incydenty” [<https://www.dhs.gov/plan-and-prepare-disasters>]. Incydent w standardach dotyczących systemów zarządzania bezpieczeństwem pracy, definiowany jest jako zdarzenia powstające w związku z pracą, które mogłyby powodować lub powoduje uraz i dolegliwości zdrowotne (zaliczono do incydentów wypadki i zdarzenia potencjalnie wypadkowe) [PN ISO 45001].

Program Zarządzania Ryzykiem EPA (RMP, art 112r) wymaga oceny zagrożeń i programów reagowania na sytuacje awaryjne. Obejmuje on [<https://www.epa.gov/rmp>]:

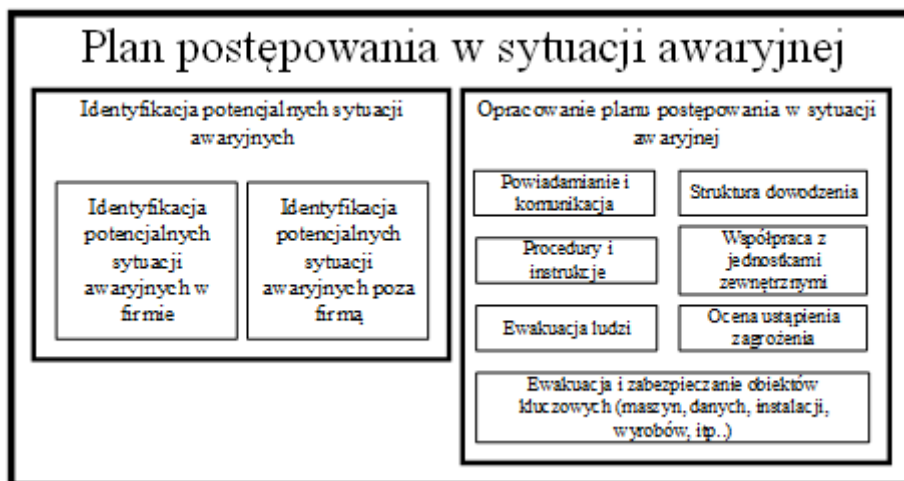
- ocenę zagrożeń, która szczegółowo przedstawia potencjalne skutki przypadkowego uwolnienia, historię wypadków z ostatnich pięciu lat, oraz ocenę scenariuszy najgorszego i alternatywnego uwolnienia;
- program zapobiegawczy obejmujący środki ostrożności oraz środki konserwacji, monitorowania i szkolenia pracowników; oraz
- program reagowania w sytuacjach awaryjnych, który określa opiekę zdrowotną w sytuacjach awaryjnych, środki szkolenia pracowników oraz procedury informowania opinii publicznej i instytucji reagowania (np. straży pożarnej) w razie wystąpienia awarii.



Jednym z ważniejszych działań, mających na celu ograniczenie kosztów incydentów, jest działanie przed zdarzeniem realizowane poprzez planowanie postępowania w sytuacjach awaryjnych będących następstwem zagrożeń [Dahlke i Idczak 2021]. Przystępując do planowania, najpierw należy dokonać identyfikacji potencjalnych sytuacji awaryjnych [Dahlke i Idczak 2021]:

- wewnątrz jednostki organizacyjnej;
- na zewnątrz jednostki organizacyjnej.

Kategorie zagrożeń wewnętrznych i zewnętrznych dla firm, stanowią integrator terminologiczny dla obszarów zarządzania bezpieczeństwem pracy i zarządzania kryzysowego. W obu tych obszarach należy poszukiwać grup zagrożeń do analizy przygotowania na sytuacje awaryjne (Rysunek 1) [Dahlke i Idczak 2021] i sytuacje kryzysowe. W literaturze wyróżniono pojęcia zarówno sytuacji kryzysowej, jak i zdarzenia kryzysowego. Zdarzenia kryzysowe tworzą sytuacje kryzysowe o różnym tempie i czasie trwania. Sytuacja kryzysowa charakteryzuje się szczególną dynamiką zmian co do ich tempa, jak i czasu trwania. Zdarzenia kryzysowe generują w zależności od uwarunkowań ich zaistnienia konkretne skutki sytuacji kryzysowych [Ciekanowski i Stachowiak 2012]. Sytuacja kryzysowa to zespół okoliczności zewnętrznych i wewnętrznych, wpływających na dany układ (system) w ten sposób, iż zaczyna się w nim i jest kontynuowany proces zmienny, w rezultacie czego dochodzi do zachowania równowagi, a następnie jej przywrócenia, dzięki podjętym środkom regulacji, (nadzwyczajne działania) [Otwinowski 2010].



Rys. 1. Schemat działań realizowanych przy przygotowywaniu planu postępowania w sytuacji awaryjnej (Źródło: [Dahlke i Idczak 2021] na podstawie ISRS)

Dysponując zbiorem potencjalnych zagrożeń, trzeba przystąpić do oszacowania ich skutków i prawdopodobieństwa wystąpienia. Jeśli chcemy się przygotować na ich skutki, ograniczając straty, konieczne jest zastosowanie metod i narzędzi wspomagających decyzje i umożliwiających modelowanie symulacyjne rozwoju zdarzeń. Modelowanie symulacyjne jest

procesem, realizowanym dla wybranych scenariuszy przebiegu zdarzenia i jego efekty będą zależne od prognozowanych zmian danych wejściowych [Dahlke 2020].



Rys. 2. Prezentacja przykładu stref zagrożenia przygotowana w aplikacji ALOHA dla: a) scenariusza 1 (strefa czerwona – AEGL-3 (60 min): 33000 ppm; strefa pomarańczowa – AEGL-2 (60 min): 17000 ppm; strefa żółta – AEGL-1 (60 min): 5500 ppm);

W dalszej części rozdziału zaprezentowane zostaną przykłady aplikacji do modelowania symulacyjnego skutków zagrożeń oraz scharakteryzowany zostanie przykład zastosowania aplikacji ALOHA do wyznaczania mapy zagrożenia i mapy ryzyka narażenia na wybraną substancję niebezpieczną. Mapa zagrożenia (rys. 2) prezentuje strefę zasięgu oddziaływania zagrożenia, a mapa ryzyka uwzględni rodzaje skutków tego oddziaływania.

MODELOWANIE FORMALNE SKAŻEŃ, POŻARÓW I WYBUCHÓW – METODY I NARZĘDZIA

Sytuacje awaryjne powodują lub mogą powodować straty, które w literaturze dzielone są na cztery kategorie (PEME (People, Equipment, Materials, Environment)) [Lelo i Purba 2018]:

- ludzie;
- urządzenia;
- materiały;
- środowisko.

Do najważniejszych zagrożeń w zakładach przemysłowych zalicza się [Mannan 2012]:

- pożary,
- wybuchy,
- uwolnienie substancji toksycznych.



Powyższe kategorie zdarzeń są również wymieniane jako najpoważniejsze zdarzenia poza zakładem (zdarzenia zewnętrzne). Oddziaływać mogą więc bardzo szkodliwie szczególnie na infrastrukturę krytyczną, powodując znaczące straty.

Zapobieganie stratom polega na stosowaniu [Mannan 2012]:

- technik identyfikacji zagrożeń;
- ilościowego podejścia do zagrożeń;
- ilościowej oceny zagrożeń i ich oceny w odniesieniu do kryteriów ryzyka;
- technik inżynierii niezawodności;
- zasad niezależności w krytycznych ocenach i inspekcji;
- planowania na wypadek sytuacji awaryjnych;
- badania incydentów wraz z krytycznym spojrzeniem na tradycyjne praktyki lub istniejące przepisy, normy i kodeksy, jeśli wydają się one przestarzałe z powodu zmian technologicznych.

Zarządzający ryzykiem wystąpienia strat, wymaga realizacji następujących działań [Mannan 2012]:

- identyfikacja możliwych sytuacji powodujących straty;
- pomiar takich strat;
- wybór metod minimalizowania strat;
- wdrożenie metod w ramach możliwości organizacji.

Najważniejsze skutki utraty kontroli strat to między innymi [Mannan 2012]:

- przerwanie działalności,
- obrażenia ciała,
- szkody majątkowe,
- pożar,
- utrata bezpieczeństwa,
- utrata zdrowia,
- zanieczyszczenie środowiska,
- odpowiedzialność za produkt.

Czynniki, które określają skalę zagrożenia, to [Mannan 2012]:

- wielkość zapasów;
- czynnik energetyczny;
- czynnik czasu;
- stosunek intensywności do odległości;
- czynnik narażenia;
- relacje intensywności zniszczeń i intensywności obrażeń.

Przygotowując infrastrukturę krytyczną na zewnętrzne sytuacje awaryjne jak pożary, wybuchy i skażenia, konieczne jest zastosowanie narzędzi wspomagających określenie powyższych czynników skali zagrożeń. Służyć temu mogą modele symulacyjne.

Systemy modelowania zachowania się ognia i skutków pożarów odgrywają ważną rolę pomocniczą w wielu aspektach zarządzania [Andrews 2013]. Wśród narzędzi komputerowych



do modelowania symulacyjnego pożarów, wybuchów i skażeń można znaleźć przykłady dedykowane różnym odbiorcom (Tabela 1). Aplikacje takie umożliwiają wspomaganie decyzji w planowaniu przygotowania na sytuacje awaryjne, dostarczając informacji o możliwym rozwoju zdarzeń i ich skutkach.

Tabela 1. Przykłady aplikacji komputerowych możliwych do zastosowania w zarządzaniu bezpieczeństwem skażeniami, pożarowym i wybuchowym

Lp.	Nazwa aplikacji komputerowej	Zastosowanie i moduły narzędziowe
Pożary w środowisku naturalnym		
1	BehavePlus	Jest jednym z najczęściej używanych systemów zarządzania zagrożeniami pożarowymi w Stanach Zjednoczonych. Stosowany także w Kanadzie, Hiszpanii, Nowej Zelandii, Republice Południowej Afryki i Szkocji [Andrews 2010]. Podstawowe moduły: IGNITE - Prawdopodobieństwo zapłonu; SURFACE - zachowanie się ognia na powierzchni; CROWN - zachowanie się ognia w koronie; SAFETY - wielkość strefy bezpieczeństwa; SIZE - Rozmiar i kształt pożaru punktowego; CONTAIN - opanowanie pożaru w wyniku akcji gaśniczej; SPOT - maksymalna odległość punktowa; SCORCH - wysokość wypalania koron drzew; MORTALITY - Prawdopodobieństwo śmiertelności drzew.
2	FERGI	FERGI (Fire-Enhanced Runoff and Gully Initiation Model) to narzędzie do prognozowania erozji po pożarze. Model FERGI łączy w sobie model stochastyczny klimatyczny i deterministyczny model geomorficzny w celu oszacowania prawdopodobieństwa wystąpienia nadmiaru opadów po pożarze, przepływu szczytowego i inicjacji wąwozów w zlewniach [Nyman et al. 2013].
3	HIGRAD/FIRETEC	HIGRAD/FIRETEC jest wielofazowym modelem transportu opartym na uśrednionych równaniach zachowania masy, pędu, energii i związków chemicznych. Łączy modele efektów makroskalowych takich procesów, jak spalanie, promieniowanie, konwekcyjna, wymiana ciepła i opór aerodynamiczny w celu uzyskania modelu atmosfery i pożaru. Aplikacja wykorzystuje metodę średnich (MOA) [Koo et al. 2012]. HIGRAD jest obliczeniowym modelem dynamiki płynów, który przedstawia przepływ powietrza i jego dostosowanie do terenu, różnych rodzajów paliwa (roślinności) i samego pożaru. FIRETEC łączy w sobie modele fizyczne reprezentujące spalanie, wymianę ciepła, opór aerodynamiczny i turbulencje [https://www.frames.gov/firetec/home].
Pożary w budynkach		
4	ABAQUS	Abaqus fire interface simulator toolkit (AFIST) umożliwia analizę wytrzymałości mechanicznej konstrukcji budowlanych podczas pożaru [Feenstra et al. 2018; Luo et al. 2012];
5	ALGOR	Jest bardzo wydajnym narzędziem wykorzystującym metodę elementów skończonych do prowadzenia badań wytrzymałościowych konstrukcji budowlanych. Umożliwia między innymi prezentację rozkładu temperatur w belkach [Chythanya, 2009];
6	ANSYS Fluids	Symulacja i analiza przepływów [https://www.ansys.com/products/fluids#tab1-2];
7	CFAST	Analiza pożaru i zadymienia [Peacock et al., 2017; http://cfast.nist.gov/];



Lp.	Nazwa aplikacji komputerowej	Zastosowanie i moduły narzędziowe
8	DETECT	DETECT-QS (DETECTOR ACTuation - Quasi Steady) to program do obliczania czasu zadziałania urządzeń termicznych znajdujących się pod nieobciążonymi stropami. Może być stosowany do przewidywania czasu zadziałania stałotemperaturowych czujek ciepła i głowic tryskaczowych poddanych działaniu pożaru określonego przez użytkownika [https://www.nist.gov/el/fire-research-division-73300/fire-modeling-programs].
9	FIERASystem	FIERASystem jest modelem komputerowym służącym do oceny systemów ochrony przeciwpożarowej w budynkach przemysłowych. Model został opracowany jako narzędzie pomocne inżynierom ochrony przeciwpożarowej, urzędnikom budowlanym, pracownikom straży pożarnej i naukowcom w przeprowadzaniu obliczeń inżynierii bezpieczeństwa pożarowego i może być wykorzystywany do przeprowadzania analiz zagrożeń i ryzyka, a także do oceny, czy wybrany projekt spełnia ustalone cele w zakresie bezpieczeństwa pożarowego [Benichou et al. 2005].
10	FIRECAM	Fire Risk Evaluation and Cost Asscsmcnt Model to model komputerowy, który został opracowany w National Research Council of Canada. Model ten może być wykorzystywany do oceny zarówno ryzyka pożarowego dla życia, jak i kosztów ochrony przeciwpożarowej oraz przewidywanych strat w budynku [Dutcher et al. 1996].
11	Probabilistic Fire Simulator (PFS)	Narzędzie do analizy ryzyka, służące do obliczania rozkładów zmiennych wyjściowych modelu pożaru. Narzędzie to łączy symulację Monte Carlo i CFAST, dwustrefowy model pożaru [Hostikka i Keski-Rahkonen 2003].
12	JASMINE	Jasmine (Analysis of Smoke Movement in Enclosures) służy do modelowania pożarów w budynkach [Ma, Quintiere 2003]
13	KOBRA-3D	Aplikacja do modelowania pożarów w budynkach. Umożliwia analizowanie elementów systemów bezpieczeństwa pożarowego [Fliszkiewicz et al. 2013]; Kobra-3D to program komputerowy opracowany przez firmę IST GmbH do symulacji rozprzestrzeniania się dymu i ciepła w budynkach. W przeciwieństwie do modeli strefowych, Kobra-3D opiera się na globalnych bilansach energii i masy, a także na zachowaniu pędu, co jest niezbędne do określenia przepływu w pomieszczeniu. Umożliwia to sformułowanie stwierdzeń dotyczących lokalnego rozkładu zmiennych termodynamicznych (np. obszarów lokalnie podwyższonej temperatury lub krytycznego zadymienia), które są istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa [https://www.ist-net.de/kobra-3d/];
14	NASTRAN	Analiza wytrzymałości mechanicznej konstrukcji budowlanych podczas pożaru [Fliszkiewicz et al. 2013];
15	PHOENICS/FLAIR	PHOENICS jest oprogramowaniem CFD ogólnego przeznaczenia, które przewiduje ilościowo: jak jedno- i wielofazowe płyny (powietrze, woda, olej, itp.) przepływają w i wokół urządzeń procesowych, budynków, elementów środowiska naturalnego oraz związane z tym zmiany składu chemicznego i fizycznego [Milanović i Bajc 2018];
16	Pyrosim	Umożliwia analizę pożaru, zadymienia oraz reakcji detektorów pożarów i systemów przeciwpożarowych oraz oddymiających [Blake et al. 2018];
17	SAFIR	Oprogramowania do nieliniowego modelowania konstrukcji w warunkach pożaru metodą elementów skończonych [Franssen i Gernay 2017];
18	SCHEMA-SI (Stochastic Computation and Hybrid Event Modelling Approach- Se´curite´ Incendie)	Służy do oceny ryzyka pożarowego [Muller et al. 2008], oceny skuteczności strategii bezpieczeństwa pożarowego [Muller 20105] oraz do rekonstrukcji pożaru [Muller et al. 2010].
19	SMARTFIRE	Jest środowiskiem modelowania FFM (Fire Fild Modeling), które wykorzystuje modele oparte na mechanice płynów. Oprogramowanie w pełni



Lp.	Nazwa aplikacji komputerowej	Zastosowanie i moduły narzędziowe
		wspiera użytkowników będących ekspertami w dziedzinie CFD w odwzorowywaniu zdarzeń pożarowych, przepływu gazów i skuteczności systemów przeciwpożarowych [Ewer et al. 2010];
20	Simcenter STAR-CCM+	Simcenter STAR-CCM+ jest wielofizycznym oprogramowaniem do obliczeniowej dynamiki płynów (CFD) do symulacji produktów działających w rzeczywistych warunkach [https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/STAR-CCM.html] ; Abolghasemzadeh, Rüppel, 2012]
Pożary, wybuchy i skażenia w transporcie, magazynowaniu i przetwarzaniu substancji niebezpiecznych		
21	ALOHA	Areal Locations of Hazardous Atmospheres umożliwia analizę [Shao i Duan, 2012]: <ul style="list-style-type: none">- pożarów rozlewisk,- pożarów BLEVE,- pożarów strumieniowych,- skażeń chemicznych.
22	Breeze AERMOD	AERMOD jest modelem gaussowskim, który jest zatwierdzony przez amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (EPA) dla większości zaawansowanych scenariuszy modelowania. Dostarcza użytkownikom narzędzia i funkcje wymagane do wykonywania analiz jakości powietrza, które pomagają w rozwiązywaniu problemów związanych z pozwoleniami, regulacjami i uciążliwościami [https://www.trinityconsultants.com/] . Istnieją dwa procesory danych wejściowych, które są komponentami regulacyjnymi programu: <ul style="list-style-type: none">- AERMAP - preprocesor danych terenowych;- AERMET - preprocesor danych meteorologicznych;
23	Kameleon FireEx	Kameleon FireEx - KFX® to narzędzie CFD do symulacji dyspersji, pożarów i eksplozji w strefach zagrożonych wybuchem. Oferuje symulacje konwencjonalnych pożarów strumieniowych i powierzchniowych, złożonych pożarów wielofazowych, pożarów dobrze i słabo wentylowanych, wycieków LNG, dyspersji gazów i pożarów, ograniczania pożarów z wykorzystaniem wody poprzez zalewanie, mgłę i kurtyny wodne w złożonych systemach, optymalizacji biernej ochrony przeciwpożarowej, analizy pochodni, a także przepływów turbulentnych, dyspersji gazów i ogólnej analizy dymu w zagrożonych obszarach z uwzględnieniem wszystkich efektów pogodowych [https://www.dnv.com/] ;
24	BREEZE ExDam	Explosion Damage & Injury Assessment Model - jest wydajnym pakietem do modelowania skutków eksplozji 3D, który umożliwia przewidywanie obrażeń i zniszczeń powstałych w wyniku detonacji materiałów wybuchowych o dużej sile rażenia i chmur parowych. Zawiera Model Oceny Szkód Wybuchu Wysokiego Poziomu Wybuchowości (HExDAM) i Model Oceny Szkód Wybuchu Chmury Pary (VExDAM). Te modele numeryczne umożliwiają szybkie i dokładne obliczanie uszkodzeń konstrukcji i obrażeń personelu spowodowanych rozkładami nadciśnienia (OP), ciśnienia dynamicznego (DP) i bodźców (IP) [https://www.trinityconsultants.com/] .
25	BREEZE Incident Analyst	Aplikacja do modelowania skutków zagrożeń związanych z przypadkowym uwolnieniem substancji chemicznych. Jest narzędziem do modelowania w celu: <ul style="list-style-type: none">- poprawy bezpieczeństwa w obiekcie,- analizy ryzyka w miejscu zdarzenia,- oceny zagrożeń w czasie rzeczywistym lub rekonstrukcji zdarzeń z przeszłości. Zawiera 10 modeli szczegółowych [https://www.trinityconsultants.com/]
26	BREEZE LFG Fire/Risk	BREEZE LFG Fire/Risk umożliwia analizę potencjalnych zagrożeń związanych z uwolnieniem skroplonego gazu (LFG) i skroplonego gazu ziemnego (LNG) w wyniku awarii statku lub rurociągu. Umożliwia również



Lp.	Nazwa aplikacji komputerowej	Zastosowanie i moduły narzędziowe
		<p>przewidywanie szybkości parowania i stężenia oparów w kierunku "downwind" dla zagrożeń wybuchowych i promieniowania ciepłego dla powstałych pożarów. LFG Fire/Risk zawiera Source5, DEGADIS i modele pożarowe, jak również intuicyjny interfejs, który prowadzi użytkowników przez wprowadzanie wymaganych i opcjonalnych danych wejściowych. BREEZE LFG Fire/Risk udostępnia użytkownikom cztery modele pożarów do wyboru:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pożar w zbiorniku zamkniętym, - pożar w zbiorniku otwartym, - BLEVE - pożar strumieniowy pionowy. <p>Modele te umożliwiają obliczanie strumienia promieniowania ciepłego związanego z potencjalnym wybuchem i pożarem [https://www.trinityconsultants.com/];</p>
27	CHARM	<p>Complex Hazardous Air Release Model, umożliwia analizowanie [https://www.charmmodel.com/]:</p> <ul style="list-style-type: none"> - potencjalnych, przypadkowych uwolnień niebezpiecznych substancji chemicznych (rozpraszanie i transport w powietrzu), - pożarów (BLEVE, pożar rozlewisk i pożar strumieniowy) i - wybuchów (zniszczenie mechaniczne oraz eksplozja chmury oparów w wyniku dyspersji i ruchu powietrza);
28	RizEx-2	<p>RizEx-2 służy do obrazowania procesów fizycznych, w przypadku wystąpienia zdarzenia awaryjnego, takich jak np. dyspersja gazów, parowanie cieczy, pożar czy wybuch. Uwzględnia towarzyszące im warunki (np. warunki meteorologiczne, pokrycie terenu) [Dziechciarz et al. 2015];</p>
29	HYSPLIT	<p>Analiza przypadkowych lub celowych uwolnień środków:</p> <ul style="list-style-type: none"> - chemicznych, - biologicznych lub - jądrowych. <p>Opracowany przez Air Resources Laboratory (ARL) model HYbrid Single - Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) jest narzędziem, które pomaga wyjaśnić jak, kiedy i gdzie potencjalnie szkodliwe materiały są przenoszone, rozpraszane i osadzone w atmosferze. Umożliwia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - przewidywanie ścieżki uwolnienia substancji chemicznych wspomagając ewakuację właściwych osób; - przewidywanie rozprzestrzeniania pyłu wulkanicznego wspomagając opracowywanie tras samolotów. <p>Zrozumienie źródeł niebezpiecznych zanieczyszczeń powietrza pozwala zarządzającym jakością powietrza opracować ukierunkowane polityki i plany prewencyjne [https://www.arl.noaa.gov/hysplit/];</p>
30	PHAST	<p>Umożliwia [https://www.dnv.com/]: badanie wypadków i incydentów, badanie ALARP, szacowanie konsekwencji wg HAZOP, HAZID, PHA, LOPA, wprowadzenie danych o konsekwencjach do własnego narzędzia QRA, planowanie działań w sytuacjach awaryjnych, projektowanie wyposażenia, ocenę eskalacji, ocena zasięgu i dotkliwości, optymalizację lokalizacji i rozmieszczenia obiektów, klasyfikację obszarów niebezpiecznych, tworzenie raportów bezpieczeństwa, projektowanie otworów wentylacyjnych i pochodni. Wspomaga modelowanie emisji mieszanin i czystych składników z:</p> <ul style="list-style-type: none"> - rurociągów długich i krótkich (naziemnych lub podziemnych), - wycieków, - katastrofalnych rozerwań, - uszkodzeń zaworów nadmiarowych i dysków, - zaważenia się dachu zbiornika, - upust z przestrzeni parowej zbiornika.





Lp.	Nazwa aplikacji komputerowej	Zastosowanie i moduły narzędziowe
		<ul style="list-style-type: none"> - uwolnienia do atmosfery w wyniku utraty szczelności wewnątrz lub na zewnątrz. <p>Phast zawiera DNV GL's Unified Dispersion Model (UDM), wiodący na świecie model dyspersji dla:</p> <ul style="list-style-type: none"> - fazy dyspersji odrzutowej, ciężkiej i pasywnej. - dyfuzji wzdłuż wiatru/rozprzestrzeniania grawitacyjnego - wyporu (pływalności) - interakcji z podłożem - unoszenia się chmury powietrza - zatrzymanie w warstwie mieszania/inwersyjnej - tworzenie się kropeł i opadów
31	Effects	<p>EFFECTS firmy Gexcon to zaawansowane oprogramowanie do analizy skutków i konsekwencji przypadkowego uwolnienia niebezpiecznych substancji chemicznych w zakładach procesowych, chemicznych i petrochemicznych. Oblicza promieniowanie cieplne w przypadku pożarów, nadciśnienie w przypadku wybuchów, stężenia toksyczne i dawki w przypadku dyspersji i wiele innych [https://www.gexcon.com/].</p>

Część aplikacji zawartych w powyższej tabeli (Tabela 1) oferowanych jest w wersjach bezpłatnych, umożliwiając jednocześnie bardzo szerokie wsparcie użytkowników podczas analiz. W kolejnym rozdziale zostanie zaprezentowany przykład zastosowania takiego oprogramowania do wspomagania przygotowania na wybrane sytuacje awaryjne obejmujące infrastrukturę krytyczną.

ALOHA - Areal Locations of Hazardous Atmospheres umożliwia analizę [Shao i Duan, 2012]:

- pożarów rozlewisk,
- pożarów BLEVE,
- pożarów strumieniowych,
- skażeń chemicznych.

Ocena szkodliwości przebywania w strefach wokół zdarzenia może uwzględniać szereg oddziaływań:

- narażenie toksyczne,
- promieniowanie cieplne [kW/m^2],
- energię fali uderzeniowej [J],
- energia elementów niesionych z falą uderzeniową,
- wzrost ciśnienia [Pa].

W programie ALOHA określono domyślne dopuszczalne wartości narażenia toksycznego w oparciu o następującą hierarchię skal [ALOHA 2016; Jones et al. 2013; <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/resources/levels-concern.html>]:

- AEGL (Acute Exposure Guideline Levels),



*This activity
is supported by:*

The NATO Science for Peace
and Security Programme



- ERPG (Emergency Response Planning Guidelines),
- TEELs (Temporary Emergency Exposure Limits),
- PAC - zbiór danych łączy w sobie wszystkie trzy powszechnie stosowane systemy wytycznych dotyczących narażenia (AEGL, ERPG i TEEL) i wprowadza system oparty na hierarchii. (AEGL są używane preferencyjnie, następnie ERPG, a potem TEEL),
- IDLH są stosowane, gdy dla danej substancji chemicznej nie zdefiniowano żadnych wytycznych dotyczących narażenia.

W skali AEGL, występują trzy poziomy [ALOHA 2016; Jones et al. 2013]:

- AEGL-3 to stężenie w powietrzu, wyrażone w częściach na milion (ppm) lub miligramach na metr sześcienny (mg/m^3), substancji, powyżej którego przewiduje się, że u ogółu populacji, w tym u osób podatnych, mogą wystąpić zagrażające życiu skutki zdrowotne lub śmierć.
- AEGL-2 to stężenie w powietrzu (wyrażone w ppm lub mg/m^3) substancji, powyżej którego przewiduje się, że u ogółu ludności, w tym u osób wrażliwych, mogą wystąpić nieodwracalne lub inne poważne, długotrwałe niekorzystne skutki dla zdrowia lub upośledzenie zdolności ucieczki.
- AEGL-1 to stężenie substancji w powietrzu (wyrażone w ppm lub mg/m^3), powyżej którego przewiduje się, że populacja ogólna, w tym osoby podatne na narażenie, może odczuwać znaczny dyskomfort, podrażnienie lub pewne bezobjawowe, niewrażliwe skutki. Efekty te jednak nie powodują inwalidztwa, są prze-mijające i odwracalne po zaprzestaniu narażenia.

Symulacja zagrożenia zostanie przeprowadzona dla wybranego scenariusza zdarzenia w transporcie materiałów niebezpiecznych (drogowym lub kolejowym).

Do najważniejszych parametrów warunkujących liczbę scenariuszy, należą:

- rodzaj i stan skupienia substancji niebezpiecznej (gaz, ciecz, gaz skroplony);
- ilość substancji niebezpiecznej (masa i objętość substancji; poziom wypełnienia cysterny; ilość substancji tworzącej skutki zdarzenia, itd.);
- warunki uwolnienia substancji (natychmiastowe, powolne; zapłon substancji lub brak zapłonu);
- lokalizacja zdarzenia (ukształtowanie terenu wokół miejsca zdarzenia; osłonięcie miejsca zdarzenia);
- warunki pogodowe (temperatura powietrza, wilgotność powietrza, kierunek wiatru, inwersja).

Wielość kryteriów sprawia, że liczba wariantów jest trudna do oszacowania, nawet przy założeniu wyboru najgorszych przypadków.



*This activity
is supported by:*

The NATO Science for Peace
and Security Programme



LITERATURA

1. Abolghasemzadeh P., Rüppel U., 2012, A Cloud System for Numerical Fire Simulations, International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol:12, nr 04.
2. ALOHA. Example Scenarios, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Environmental Protection Agency, September 2016.
3. Andrews P., 2010. Do you BEHAVE?-Application of the BehavePlus fire modeling system. W: Wade, Dale D.; Robinson, Mikel L., eds. Proceedings of 3rd Fire Behavior and Fuels Conference; 25-29 October 2010; Spokane, WA. Birmingham, AL: International Association of Wildland Fire, s. 17.
4. Andrews P. L., 2013,. Current status and future needs of the BehavePlus Fire Modeling System. International Journal of Wildland Fire, 23(1), s. 21-33.
5. Benichou N., Kashef A. H., Reid I., Hadjisophocleous G. V., Torvi D. A., Morinville G., 2005, FIERASystem: A Fire Risk Assessment Tool to Evaluate Fire Safety in Industrial Buildings and Large Spaces. Journal of Fire Protection Engineering, 15(3), s. 145–172.
6. Blake P., Phylaktou H., Andrews, G., 2018, Validating FDS against a full-scale fire test. Technical report, University of Leeds, West Yorkshire.
7. Chythanya M., 2009, Finite element analysis on the effect of fire for specified duration, on a reinforced concrete beam with varied boundary conditions, Electronic Theses, Treatises and Dissertations, Florida State University Libraries, s. 91.
8. Ciekanski Z., Stachowiak Z., 2012, Klęski żywiołowe jako przesłanki sytuacji nadzwyczajnych. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach Seria: Administracja i Zarządzanie, 95, s. 375-398.
9. Dahlke G., 2010, Modelowanie zagrożeń – materiały do ćwiczeń laboratoryjnych, Politechnika Poznańska, Poznań
10. Dahlke G., 2022, Modele formalne pożarów i wybuchów w przygotowaniu infrastruktury krytycznej na sytuacje awaryjne, w: Nauka dla obronności. Bezpieczeństwo infrastruktury krytycznej. Tom 1; red. Michał Ciałkowski, Tomasz Łodygowski, Andrzej Żyłuk, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa, 2022, s. 133-151
11. Dahlke G., 2013, Zarządzanie bezpieczeństwem pracy i higieną pracy. Modele systemowego zarządzania bhp, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań, s. 175, ISBN 978-83-7775-248-7.
12. Dahlke G., 2020, The Anthropometric Criterion in Modeling of Evacuation, [in:] Business Informatics, Publishing House of Wrocław University of Economics, 1 (55), s. 21-37.
13. Dahlke G., Idczak K., 2021, Modelowanie warunków ewakuacji w organizowaniu przygotowania na sytuacje awaryjne na przykładzie domu pomocy społecznej, [w:] Bezpieczeństwo osób starszych w przestrzeni miejskiej. Analiza doświadczeń, wnioski i rekomendacje z uwzględnieniem okresu pandemii SARS-CoV-2 / red. Mikołaj Tomaszuk: FNCE, 2021, s. 481-504.
14. Dutcher C. R., Hadjisophocleous G. V., Yung D., 1996, FiRECAM System Model Documentation. National Fire Laboratory, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada.
15. Dziechciarz A., Lesiak P., Bąk D., 2015, Analiza możliwości wykorzystania programu RizEx-2 w symulacji przebiegu zdarzenia awaryjnego na przykładzie wybuchu gazu w Port Hudson, BiTP Vol. 38 Issue 2, 2015, s. 143–155.
16. Ewer J., Galea E. R., Patel M., Jia F., Grandison A., Wang Z., 2010, SMARTFIRE-the fire field modelling environment. In The Fifth European Conference on Computational, Fluid Dynamics, ECCOMAS CFD 2010. Lisbon, Portugal.



*This activity
is supported by:*

The NATO Science for Peace
and Security Programme



17. Feenstra J. A., Hofmeyer H., van Herpen R. A. P., Mahendran M., 2018, Automated two-way coupling of CFD fire simulations to thermomechanical FE analyses at the overall structural level. *Fire Safety Journal*, 96, s. 165-175.
18. Franssen J.-M., Gernay T., 2017, "Modeling structures in fire with SAFIR®: theoretical background and capabilities", *Journal of Structural Fire Engineering*, Vol. 8 No. 3, s. 300-323.
19. Fliszkiewicz M., Krauze A., Maciak T., 2013, Możliwości stosowania programów komputerowych w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. [w:] *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 1, s. 47-60.
20. Hostikka S., Keski-Rahkonen O., 2003, Probabilistic simulation of fire scenarios, *Nuclear Engineering and Design*, Volume 224, Issue 3, s. 301-311, ISSN 0029-5493.
21. <https://app-1knovel-1com-1000024bx0a5f.han3.library.put.poznan.pl/hotlink/pdf/id:kt00BFDEL9/lees-loss-prevention/safety-environmental>
22. <http://cfast.nist.gov/>
23. <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/resources/levels-concern.html>
24. <https://www.ansys.com/products/fluids#tab1-2>
25. <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/>
26. <https://www.dhs.gov/plan-and-prepare-disasters>
27. <https://www.dnv.com/services/fire-simulation-software-cfd-simulation-kameleon-fireex-kfx-110598>
28. <https://www.dnv.com/software/services/plant/consequence-analysis-phast.html>
29. <https://www.epa.gov/rmp>
30. <https://www.frames.gov/firetec/home>
31. <https://www.gexcon.com/products-services/effects-consequence-modelling-software/>
32. <https://www.charmmmodel.com/>
33. <https://www.ist-net.de/kobra-3d/>
34. <https://www.trinityconsultants.com/software/explosion/exdam>
35. <https://www.trinityconsultants.com/software/dispersion/aermod>
36. International Safety Rating System (ISRS) (wersja 3.1, 2004 r.).
37. International Safety Rating System (ISRS) (wersja 7).
38. Jones R.W., Lehr D., Simecek-Beatty R., Reynolds M., 2013, ALOHA® (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4: Technical Documentation. U. S. Dept. of Commerce, NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 43. Seattle, WA: Emergency Response Division, NOAA. s. 96.
39. Koo E., Linn R. R., Pagni P. J., Edminster C. B., 2012, Modelling firebrand transport in wildfires using HIGRAD/FIRETEC. *International journal of wildland fire*, 21(4), s. 396-417.
40. Krajowy Plan Zarządzania Kryzysowego (KPZK), Aktualizacja 2021/2022, Część A, <https://www.gov.pl/web/rcb/krajowy-plan-zarzadzania-kryzysowego> (dostęp w dniu 20 czerwca 2022).
41. Lelo, D., & Purba, J. H. V. (2018). The Effect of Occupational Safety Health Management (OSH) and Organizational Culture on Employee Performance in Oil and Gas Mining.: Survey on PT Caltex, Pekanbaru. In *International Conference On Accounting And Management Science 2018* (pp. 285-293).
42. Luo C., Lua J., DesJardin P., 2012, Thermo-mechanical damage modeling of polymer matrix sandwich composites in fire. *Composites. Part A, Applied Science and Manufacturing*, 43(5), s. 814-821.





43. Ma T. G., Quintiere J. G., 2003, Numerical simulation of axi-symmetric fire plumes: accuracy and limitations. *Fire Safety Journal*, 38(5), s. 467-492.
44. Mannan S., 2012, *Lees' Loss Prevention in the Process Industries, Volumes 1-3 - Hazard Identification, Assessment and Control (4th Edition) - 1.3 Safety and Environmental Concerns*. Elsevier. Retrieved from <https://app-1knovel-1.com-1000024bx0a71.han3.library.put.poznan.pl/hotlink/toc/id:kpLLPPIVH2/lees-loss-prevention/lees-loss-prevention>.
45. Milanović S., Bajc T., 2018, The thermal comfort impact on occupants' working productivity loss in offices. *Zbornik Međunarodnog kongresa o KGH*, 49(1), s. 273-277.
46. Muller A., Demouge F., Brilhac J.F., Fromy P., 2008, Sécurité Incendie: développement d'une approche de modélisation stochastique hybride, *Proceedings du congrès Maîtrise des Risques Et Sureté de Fonctionnement, dit Lambda-Mu*. Avignon.
47. Muller A., 2010, Développement d'une méthode de modélisation pour l'évaluation de la performance de stratégies de sécurité incendie, *Doctoral dissertation, Université de Haute-Alsace, Mulhouse*.
48. Muller A., Demouge F., Fromy P., Jeguirim M., Brilhac J.F., Vantelon J.P., 2010, The use of a stochastic fire safety engineering tool for fire scene reconstruction. *Proceedings of the 2010 Interflam Congress, Nottingham*.
49. Nyman P., Sheridan G. J., Lane P. N. J., 2013, Hydro-geomorphic response models for burned areas and their applications in land management. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 37(6), s. 787-812.
50. OHSAS 18001:2007 Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Specyfikacja, DNV Poland, Gdańsk.
51. Otwinowski W., 2010, *Kryzys i sytuacja kryzysowa, Przegląd Naukowo-Metodyczny, Edukacja dla Bezpieczeństwa nr 2*, s. 83-89.
52. Peacock R. D., Reneke P. A., Forney G. P., 2017, CFAST—Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 7) Volume 2: User's Guide. NIST Technical Note 1889v2.
53. PN-ISO 45001:2018-06 Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy - Wymagania i wytyczne stosowania.
54. Shao H., Duan G., 2012, Risk quantitative calculation and ALOHA simulation on the leakage accident of natural gas power plant. *Procedia Engineering*, 45, s. 352-359.
55. Wang K., Liu Z., Qian X., Huang P., 2017, Long-term consequence and vulnerability assessment of thermal radiation hazard from LNG explosive fireball in open space based on full-scale experiment and PHAST, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 46*, s. 13-22.

3. Gry symulacyjne i ćwiczenia do każdego modułu

Moduł 1: Modelowanie stref zagrożeń toksycznych przy uwalnianiu substancji chemicznych [Dahlke, 2010]

Cel

Poznanie metod modelowania rozprzestrzeniania się zagrożeń chemicznych z wykorzystaniem programu ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres).

Podczas transportu materiałów niebezpiecznych (drogowego, kolejowego, rurociągowego) może wystąpić wiele zdarzeń niebezpiecznych skutkujących



*This activity
is supported by:*

The NATO Science for Peace
and Security Programme



awaryjnymi uwolnieniami substancji niebezpiecznych. Przykładowe scenariusze zdarzeń uwzględniają:

- uwolnienie cieczy niebezpiecznej z cysterny (bez zapłonu – skażenie toksyczne);
- uwolnienie gazu niebezpiecznego z cysterny (bez zapłonu – skażenie toksyczne);
- uwolnienie cieczy niebezpiecznej z cysterny (z zapłonem – skutki pożaru);
- uwolnienie gazu niebezpiecznego z cysterny (z zapłonem – skutki pożaru);
- uwolnienie gazu niebezpiecznego z rurociągu.

Podstawowe pojęcia i zagadnienia

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">▪ natężenie emisji zanieczyszczenia▪ poziomy stężenie zanieczyszczenia▪ zasięg toksycznej chmury▪ współczynniki poziomej i pionowej dyspersji▪ czas połowicznego zaniku danej substancji▪ lepkość płynu▪ gęstość płynu▪ lepkość turbulentna▪ czas rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia▪ pionowy gradient temperatury | <ul style="list-style-type: none">▪ ciepło parowania▪ ciepło właściwe paliwa▪ gęstość powietrza▪ stężenie substancji▪ szybkość uwalniania zanieczyszczeń▪ współczynniki dyfuzji molekularnej▪ współczynniki dyspersji burzliwej▪ energia kinetyczna turbulencji▪ turbulencja atmosfery▪ wiatr▪ inwersji temperatury▪ mapa zagrożenia▪ mapa ryzyka |
|--|---|

Aparatura i pomoce dydaktyczne

- program ALOHA
- program Google Earth Pro

Pomoce zapewniane przez studenta

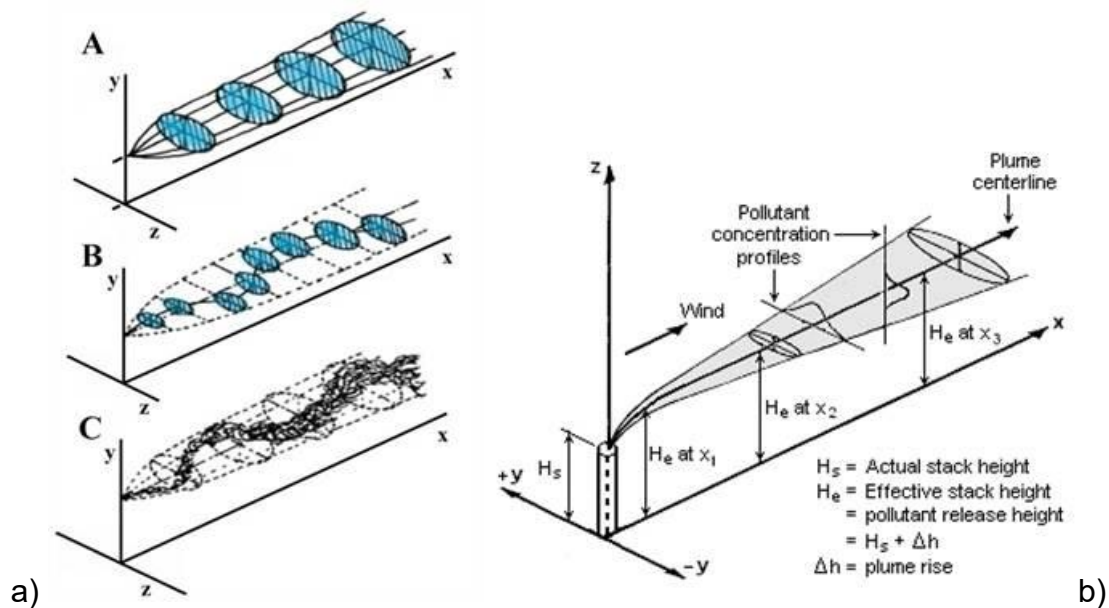
- zapoznanie się z modelami w programie ALOHA

Przebieg i wykonanie ćwiczenia

- Dla wskazanych przez prowadzącego scenariuszy zdarzeń, określ strefy zagrożenia posługując się programem ALOHA:
 - o Określ lokalizację miejsca zdarzenia (SiteData/Location/Add/):
 - ♣ Nazwa,
 - ♣ Wysokość (wg programu Google Earth),
 - ♣ Długość i szerokość geograficzna (wg programu Google Earth);
 - o Określ typ budynku (SiteData/BuildingType):
 - ♣ Wybierz typ zabudowy lub krotność wymiany powietrza w liczbie wymian na godzinę,
 - ♣ Określ czy teren jest osłonięty, czy nie;



- o Określ datę i godzinę (czas z komputera lub stały – wg wzorca zapisu) (Data&Time);
- o Określ rodzaj uwolnionej substancji (SetUp/Chemical);
- o Określ parametry atmosferyczne (SetUp/Atmospheric/User Input):
 - ♣ Prędkość wiatru (w m/s),
 - ♣ Kierunek wiatru (N; NNE; NE; ENE; E; ESE; SE; SSE; S; SSW; SW; WSW; W; WNW; NW; NNW) (Wind Directions Expressed in Letter Terms and Corresponding Degrees);
 - ♣ Wysokość pomiaru prędkości wiatru;
 - ♣ Ukształtowanie terenu (teren otwarty, zabudowany lub leśny, zbiornik wodny),
 - ♣ Zachmurzenie (w skali od 0 do 10 (zachmurzenie całkowite – 10; niebo bezchmurne – 0));
 - ♣ Temperaturę powietrza,
 - ♣ Klasę stabilności warunków atmosferycznych (wg pliku pomocy (A, B, C, D, E, F)),
 - ♣ Poziom inwersji temperatury w atmosferze (Inwersja jest stan atmosfery w którym niestabilna warstwa powietrza przy powierzchni ziemi leży pod bardzo stabilną warstwą powietrza powyżej) – jeśli występuje – określ wysokość w metrach,
 - ♣ Wilgotność względną w %;
- o Określ rodzaj modelu (klasyczny model Gaussowski (rys. 3a i 3b) lub model gazu ciężkiego) (SetUp/Calculation Options)



Rysunek 3. Modelowanie rozpraszania substancji w atmosferze
(<http://sites.sinauer.com/> oraz www.air-dispersion.com)



- o Określ źródło uwalniania substancji (SetUp/Source):
 - ♣ Parujące rozlewisko (SetUp/Source/Puddle/Evaporating Puddle):
 - ♣ Powierzchnia lub średnica rozlewiska,
 - ♣ Objętość substancji, głębokość lub masa substancji rozlewiska;
 - ♣ Zbiornik (SetUp/Source/Tank):
 - Walcowy (poziomy lub pionowy) (średnica, wysokość, objętość), kulisty (lub sferoidalny)(średnica, objętość),
 - Zawartość cieczy lub gazu,
 - Temperatura otoczenia;
 - Poziom napełnienia zbiornika lub ilość substancji;
 - Zaznacz, że zbiornik nie zapalił się;
 - Podaj kształt i wymiary otworu w zbiorniku, przez który następuje uwalnianie substancji;
 - Czy wyciek następuje przez otwór czy krótką rurę?
 - Określ rodzaj terenu na który wycieka uwalniana substancja (gleba domyślna; beton lub asfalt, gleba piaszczysta – sucha, gleba piaszczysta – wilgotna, jezioro, morze lub inny duży zbiornik wodny),
 - Określ temperaturę powierzchni terenu na który wycieka uwalniana substancja,
 - Określ maksymalną średnicę lub powierzchnię rozlewiska,
 - ♣ Gazociąg (SetUp/Source/Gas Pipeline/Not Burning); lub
 - ♣ Scharakteryzuj źródło poprzez podanie parametrów (SetUp/Source/Puddle/Direct)

Opracowanie wyników

- Zapisz otrzymane wyniki w sprawozdaniu.
- Dokonaj oceny narażeń oraz skutków uwolnienia substancji wg scenariuszy zdarzeń.

Scenariusz 1

Cysterna przewożąca hydrazynę zderzyła się z innym pojazdem. W wyniku zdarzenia w boku cysterny powstała szczelina o rozmiarach 15 x 55 cm. Otwór ten znalazł się w dolnej części przewróconego zbiornika. Zbiornik o długości 7 m i średnicy 2 m, był wypełniony w 60%. Do wypadku doszło przy ul. Jana Pawła II w Poznaniu, obok przystanku tramwajowego przy sklepie ZNAK. Pojazd jechał w kierunku Ronda Śródka. Było to w dniu r. około godziny 13:00.

Substancja wyciekała na powierzchnię jezdni (asfalt), tworząc rozlewisko. Scharakteryzuj obszar w miejscu wypadku na podstawie programu Google Earth.

W dniu zdarzenia, określono następujące warunki meteorologiczne:

- Temperatura powietrza: 24 °C,
- Wilgotność bezwzględna 79%,



*This activity
is supported by:*

The NATO Science for Peace
and Security Programme



- Wiatr wschodni, prędkość 4 m/s na wysokości 3m,
- Zachmurzenie: brak,
- Nie ma inwersji temperatury.

Wyznacz zasięg skażenia toksycznego. Porównaj wyniki dla modelu gaussowskiego i modelu gazu ciężkiego.

Scenariusz 2

Cysterna przewożąca metan zderzyła się z innym pojazdem. W wyniku zdarzenia w boku cysterny powstała szczelina o średnicy 25 cm. Otwór ten znalazł się w dolnej części przewróconego zbiornika. Zbiornik o długości 7 m i średnicy 2 m, był wypełniony w 100%. Ciśnienie w zbiorniku wynosiło 40 atm. Do wypadku doszło przy ul. Jana Pawła II w Poznaniu, obok przystanku tramwajowego przy sklepie ZNAK. Pojazd jechał w kierunku Ronda Śródka. Było to w dniu r. około godziny 13:00.

Substancja została uwolniona, tworząc toksyczną chmurę. Nie uległa jednak zapaleniu. Scharakteryzuj obszar w miejscu wypadku na podstawie programu Google Earth.

W dniu zdarzenia, określono następujące warunki meteorologiczne:

- Temperatura powietrza: 24 °C,
- Wilgotność bezwzględna 79%,
- Wiatr wschodni, prędkość 4 m/s na wysokości 3m,
- Zachmurzenie: brak,
- Nie ma inwersji temperatury.
- Wyznacz zasięg skażenia toksycznego. Porównaj wyniki dla modelu gaussowskiego i modelu gazu ciężkiego.

Scenariusz 3

Cysterna, w której znajdował się kwas solny, uległ rozszczelnieniu. W wyniku zdarzenia w jego boku powstała szczelina o rozmiarach 10 x 15 cm. Otwór ten znalazł się w dolnej części zbiornika. Zbiornik walcowy o wysokości 10 m i średnicy 16 m, był wypełniony w 20%. Do wypadku doszło w miejscu o współrzędnych: 52°19'40.16"N 16°54'07.72"E. Było to w dniu r. około godziny 13:00.

Substancja wyciekała na powierzchnię utwardzoną (betonową), tworząc rozlewisko. Scharakteryzuj obszar w miejscu wypadku na podstawie programu Google Earth.

W dniu zdarzenia, określono następujące warunki meteorologiczne:

- Temperatura powietrza: 24 °C,
- Wilgotność bezwzględna 79%,
- Wiatr zachodni, prędkość 4 m/s na wysokości 3m,
- Zachmurzenie: brak,
- Nie ma inwersji temperatury.

Wyznacz zasięg skażenia toksycznego. Porównaj wyniki dla modelu gaussowskiego i modelu gazu ciężkiego.

Scenariusz 4

Zbiornik, w którym znajdował się amoniak, uległ rozszczelnieniu. W wyniku zdarzenia w jego boku powstał otwór o średnicy 5 cm. Otwór ten znalazł się w dolnej części zbiornika. Zbiornik walcowy o wysokości 4 m i średnicy 1,8 m, był wypełniony w 80%. Do wypadku doszło w miejscu





o współrzędnych: 52°23'10.24"N 16°59'50.90"E. Było to w
r. około godziny 13:00.

Substancja została uwolniona, gwałtownie parując i tworząc toksyczną chmurę. Scharakteryzuj obszar w miejscu wypadku na podstawie programu Google Earth.

W dniu zdarzenia, określono następujące warunki meteorologiczne:

- Temperatura powietrza: 20 °C,
- Wilgotność bezwzględna 79%,
- Wiatr zachodni, prędkość 4 m/s na wysokości 3m,
- Zachmurzenie: brak,
- Nie ma inwersji temperatury.

Wyznacz zasięg skażenia toksycznego. Porównaj wyniki dla modelu gaussowskiego i modelu gazu ciężkiego.

4. Podsumowanie i wskazówki powarsztatowe

Podstawowe zagadnienia do zapamiętania:

- Przegląd scenariuszy zdarzeń związanych z uwolnieniem substancji niebezpiecznych;
- Czynniki warunkujące rozwój zdarzenia niebezpiecznego;
- Skala oddziaływania i rodzaje skutków narażenia na substancje niebezpieczne – wyznaczanie strefy oddziaływania zagrożenia / mapy zagrożenia;

Test końcowy:

Wskaż jedną poprawną odpowiedź:

- 1) Mapa zagrożenia to: ?
- 2) Mapa ryzyka to: ?
- 3) Model gaussowski rozprzestrzeniania skażenia toksycznego służy do analizy: ?
- 4) Aplikacja ALOHA służy do analizy: ?
- 5) Ocena szkodliwości przebywania w strefach wokół zdarzenia może uwzględniać szereg oddziaływań: ?
- 6) Gaz skroplony po wydostaniu się z cysterny: ?
- 7) W programie ALOHA można zaprezentować strefę oddziaływania zagrożenia i eksportować ją na wybrane mapy elektroniczne: ?
- 8) Dwutlenek węgla w postaci gazowej jest: ?
- 9) Inwersja temperatury to: ?
- 10) Róża wiatrów (wiatrogram, diagram wiatrów) to: ?





- Rozpoznanie możliwych scenariuszy zdarzeń w miejscu zamieszkania, pracy lub nauki (umieszczenie źródeł zagrożenia – drogi transportu materiałów niebezpiecznych, rurociągi z substancjami niebezpiecznymi; zakłady przemysłowe o zwiększonym lub dużym ryzyku poważnej awarii przemysłowej);

- Zainteresowanie się możliwościami uczestnictwa w ćwiczeniach i symulacjach z zakresu modelowania zagrożeń.

5. Załączniki

- Prezentacja

6. Ewaluacja szkolenia (ankieta jeden wzór dla wszystkich szkoleń)

- Formularz oceny szkolenia do wypełnienia przez uczestników:

- Co było najbardziej przydatne?

- Co można poprawić?



*This activity
is supported by:*

The NATO Science for Peace
and Security Programme