

VCE i BLEVE

- nieprzewidywalne
zagrożenia



Krzysztof Kowalczyk
Hestia Loss Control,
specjalista ds. oceny ryzyka, zajmuje
się zagadnieniami ryzyka ogniowego
i utraty zysku, inżynier, absolwent
Szkoły Głównej Służby Pożarniczej
w Warszawie, w Grupie
Ergo Hestia od 1994 roku.

*Katastrofy przemysłowe w branży
chemicznej, szczególnie będące
następstwem wybuchów, nierzadko
wprowadzają przedsiębiorstwa
w stan zupełnego chaosu. Zniszczenia
dokonywane przez fale nadciśnieniowe
i energię cieplną zachodzą na tyle
szybko, że nie sposób je zatrzymać.
Złożoność zachodzących zjawisk
towarzyszących katastrofie
przemysłowej tłumaczy w pewnym
zakresie teoria chaosu zdefiniowana
przez Edwarda N. Lorenza
- zmarłego w ubiegłym miesiącu fizyka
Massachusetts Institute of Technology.
U podstaw jego twierdzenia leżały
doświadczenia związane
z przewidywaniem pogody.*

Skomplikowane procesy chemiczne w przemyśle realizowane są przy wykorzystaniu zaawansowanych instalacji technologicznych. Wiele reakcji zachodzi z udziałem substancji palnych, które podgrzewane są do temperatury kilkuset stopni Celsjusza (znacznie wyżej niż ich temperatury zapłonu). Dodatkowo często występują bardzo wysokie ciśnienia. W tych warunkach jakiegokolwiek, nawet nieznaczne, zaburzenie procesu może doprowadzić do jego niestabilności, a w konsekwencji - do katastrofy: wybuchu, pożaru i skażenia środowiska. Czy można uciec przed chaosem lub inaczej - jak uniknąć katastrofy?

Największe na świecie wybuchy VCE w zakładach chemicznych.

Nazwa zakładu / lokalizacja	Rok	Zdarzenie	Szacunkowa wartość szkody
Zakłady petrochemiczne w Pasadenie (USA)	1989	Wybuch mieszaniny izobutanu, etylenu, wodoru	Łączna wartość szkody 1,7 mld \$ (według wartości z 1993 roku) Szkoda materialna = 1 mld \$, Szkoda w utraconym zysku (BI) = 700 mln \$
Zakład produkcji kaprolaktamu w Flixborough (Wielka Brytania)	1974	Wybuch cykloheksanu	Szkoda materialna 500 mln \$ (według wartości z 1993 roku) Zakład nie został odbudowany.
Instalacja produkcji kwasu octowego (USA)	1987	Wybuch butanu	Łączna wartość szkód 450 mln \$ (według wartości z 1993 roku) Szkoda materialna = 250 mln \$ Szkoda w utraconym zysku (BI) = 200 mln \$
Zakłady petrochemiczne BP w Teksasie (USA)	2005	Wybuch mieszaniny heksanu - pentanu	Szkoda materialna + utracony zysk (BI) = 1,5 mld \$

Chaos według Lorenza

Edward Lorenz badał wpływ unoszenia się ciepłego powietrza na warunki klimatyczne. Szczegółowe dane wejściowe doświadczeń i skomplikowane równania wprowadził do komputera. Wyniki zamierzał porównać z obliczeniami dla znacznie dłuższego okresu. I tu pojawiła się niespodzianka. Mimo tej samej funkcji, według której prowadzone były kalkulacje, rezultat okazał się inny niż na początku. Komputer działał bez zarzutów. Pojawiło się zatem pytanie: dlaczego w oparciu o te same równania i dane wejściowe otrzymuje się różne rezultaty?

Odpowiedź pojawiła się po głębszej analizie. Obliczenia dokonywane były z dokładnością do szóstego miejsca po przecinku, a na wydruku pojawiały się liczby zaokrąglone do trzeciego miejsca. Ponawiając kalkulacje, Lorenz wprowadził przybliżone liczby. Zamiast 0,825123 użył wartości 0,825. Nie przypuszczał, że czwarta, piąta i szósta cyfra po przecinku może mieć szczególne znaczenie dla końcowego wyniku. Okazało się, że znaczenie było w tym przypadku fundamentalne. Praktycznie oznaczało to, że niewielka różnica parametrów atmosferycznych powoduje znaczącą zmianę efektu końcowego. Na przykład zamiast przewidywanego porannego „kapuśniaczka” pojawić się mogła... burza z huraganem.

czerwiec 2008

Lorenz barwnie wyjaśnił trudności związane z prognozowaniem pogody tym, że „nawet machnięcie skrzydeł motyla w Brazylii może wywołać tornado w Teksasie”. Innymi słowy - nawet niewielkie zakłócenia ruchu powietrza w atmosferze mogą zmieniać pogodę w przyszłości. A odnosząc teorię do praktyki na poważnie, trzeba zaznaczyć, że zjawiska fizyczne - przede wszystkim te skomplikowane, z dziedziny na przykład termodynamiki - cechuje nieprzewidywalność. W teorii można je modelować w zakresie rządzących nimi równań. Natomiast w rzeczywistości ulegają poważnym odchyleniom i wymagają weryfikacji. Reasumując, nieznaczna zmiana - zakłócenie - warunków reakcji chemicznej (temperatura, ciśnienie) może skutkować nieodwracalnym efektem, na przykład wybuchem.

Czas apokalipsy, czyli wybuch zbiorników z propanem-butanem

30 kwietnia 1997 roku na terenie bazy paliw płynnych koło Tomaszowa Mazowieckiego znajdowały się cztery cysterny kolejowe napełnione propanem-butanem o łącznej pojemności 118 ton. Do rozładunku wykorzystywano system rurociągów połączonych z rozlewnią gazu i zbiornikami naziemnymi. Przed południem, jak co dzień, nalewano gaz do butli o pojemności 11 kilogramów i napełniano naziemny zbiornik na stacji autogazu. Praca czterech osób obecnych na terenie bazy spowodowała się do opróżniania cystern kolejowych stojących na boczniczy.

W pewnym momencie instalacja przeładunkowa stanęła w płomieniach. Chwilę później zniszczona została siłą wybuchu. Rozerwana została jedna ze stojących na boczniczy cystern o pojemności 22 ton. Następnie siła eksplozji wyrzuciła najbliższą sąsiadującą cysternę z torowiska na odległość około 10 metrów i obróciła o około 130 stopni. Kolejno wybuchały butle z gazem składowane w pobliżu torów kolejowych. Całość dopełniła eksplozja zbiornika z propanem-butanem do tankowania samochodów o pojemności 2,5 tony.



Zakład dosłownie przestał istnieć. Pozostały po nim tory kolejowe pozwijane pod wpływem wysokiej temperatury niczym spaghetti, porzucane elementy stalowe zbiorników i instalacji. Metalowe szczątki zbiorników znajdowano w odległości nawet ponad 1.000 metrów od bazy paliw. Siła wybuchu była na tyle duża, że w odległym o dwa kilometry Tomaszowie Mazowieckim w niektórych budynkach powylały szyby z okien. Z obiektu rozlewni nie został nawet przysłowiowy „kamień na kamieniu”. Spaliły się drzewa w okolicznym lesie.



Dochodzenie wykazało między innymi, że projekty instalacji oraz urządzeń do przeładunku propanu-butanu nie były konsultowane z fachowcami znającymi zasady bezpieczeństwa pożarowego w tego typu obiektach. Znamienne było niezabezpieczenie cystern przed przesuwaniem podczas procesów przeładunkowych. Rozładunek prowadzony był bez właściwego uziemienia. Prawdopodobnie doprowadziło to do gromadzenia się ładunków elektryczności statycznej, a w konsekwencji - wyładowania iskrowego. Zabezpieczenie przed skutkami przeskoków iskrowych spowodowanych elektrycznością statyczną jest jednym z najważniejszych elementów ochrony przeciwpożarowej przy transporcie substancji palnych. A tego niestety zabrakło. Dodatkowo pracownicy nie byli przeszkoleni w zakresie istniejących zagrożeń. Słowem, mało kto przejmował się jakimikolwiek zabezpieczeniami w trakcie wykonywania prac w strefach zagrożenia wybuchem. Na szczęście nikomu nic się nie stało.

W oku cyklonu - eksplodująca chmura

Do znacznie groźniejszego w skutkach wybuchu doszło w zakładach petrochemicznych w Pasadenie (USA)

w 1989 roku, który doprowadził do całkowitego zniszczenia instalacji wytwarzającej polietylen. Siła jego oddziaływania była porównywalna z eksplozją prawie 17 ton trotylu. 23 października 1989 roku firma zewnętrzna wykonywała prace polegające na usuwaniu zanieczyszczeń w rurociągach reaktorów działającej aparatury do produkcji polietyleny. Stwierdzono, że część instalacji jest zapychana, co z kolei wpływało negatywnie na jakość otrzymywanego produktu. W czasie normalnej produkcji rurociągami reaktorów płynął etylen - gaz palny i wybuchowy. Z powodu oszczędności prace wykonywano na czynnej instalacji!

Przed przystąpieniem do usuwania zanieczyszczeń zamknięto dopływ etylenu w rurociągach poddawanych konserwacji. Początkowo prace przebiegały bez większych problemów. Około godziny 13:00 robotnicy udali się na przerwę obiadową, a chwilę później nastąpił wybuch.

Śledztwo wykazało, że z instalacji wyciekło około 38 ton mieszaniny gazów palnych (między innymi etylenu, izobutanu, wodoru) tworząc z powietrzem obłok o wymiarach około 182 metrów długości i 60 metrów szerokości (większy niż płyta stadionu Chelsea w Londynie). Wybuch spowodowała prawdopodobnie iskra. Na skutek eksplozji chmury mieszaniny palnych gazów z powietrzem zniszczona została całkowicie instalacja polietyleny.

Siła wybuchu była odczuwalna w odległości ponad 9 kilometrów od zakładu. Wartość szkód materialnych i utraty zysku osiągnęła kwotę prawie 1,7 mld dolarów (według wartości dolara w 1993 roku). Nastąpiło „tąpnięcie” na światowym rynku produkcji polietyleny, ponieważ zakład wytwarzał 10% globalnej produkcji. Do dzisiaj wybuch w Pasadenie uznany jest za zdarzenie, które spowodowało największe szkody finansowe wśród przedsiębiorstw przetwarzających ropę naftową i jej produkty.

W trakcie dochodzenia prowadzonego przez FBI okazało się, że zawór odcinający dopływ polietyleny był prawdopodobnie otwarty. Sterowany był pneumatycznie, a pracownicy udający się na posiłek ustawiając go w pozycji „zamknięty” nie odłączyli przewodów ze sprężonym powietrzem, mimo iż standardy bezpieczeństwa obowiązujące w zakładzie przewidywały taką czynność. Prawdopodobnie jeszcze ktoś ze sterowni uruchomił zawór w celu przedmuchiwanie zapchanych rurociągów. Teza ta nie została w pełni udowodniona ponieważ w katastrofie zginęli pracownicy obsługujący sterownię. Jednakże wcześniej praktyka „przedmuchiwanie” była stosowana.

Akcji gaśniczej nie można było prowadzić w sposób ciągły, ponieważ silnik Diesla napędzający pompy pożarowe nie był okresowo sprawdzany i wyłączył się na początkowym etapie gaszenia pożaru z powodu braku paliwa w zbiorniku. Błędem technicznym było zasilanie liniami napowietrznymi niektórych pomp napędzanych silnikami elektrycznymi. Wybuch uszkodził większość z linii. Jednym słowem brakowało wody do gaszenia pożarów.

Jednak co najistotniejsze, nie zachowano procedur bezpieczeństwa związanych z robotami na pracującej instalacji. Dopełnieniem wszystkiego był brak odpowiedniego

nadzoru ze strony zakładu. Zdarzenie, porównywalne jedynie z kataklizmem, było następstwem błędu człowieka związanego z oszczędnościami (czynności wykonywano na pracującej instalacji) i całkowitą niefrasobliwością (brak pewności co do prawidłowego odłączenia dopływu palnego gazu).

Katastrofy w bazie paliw koło Tomaszowa Mazowieckiego i w zakładzie produkcji polietylenu w Pasadenie bezpośrednio były zatem efektem dwóch zupełnie różnych reakcji:

BLEVE	z języka angielskiego: <i>Boiling Liquid Expanding Vapour Explosions</i> , rozumianego jako wybuchy wrzących par cieczy - w pierwszym przypadku
VCE	z języka angielskiego: <i>Vapour Cloud Explosion</i> , tłumaczonego jako wybuch obłoku par - w trakcie drugiego zdarzenia

BLEVE - prawie jak tornado

Zjawisko wybuchu BLEVE nie jest do końca rozpoznane. Samo pojęcie funkcjonuje jako obowiązujące ponad 50 lat. W 1957 roku zostało wprowadzone do terminologii pożarowej przez *National Fire Protection Association* (NFPA). BLEVE polega na gwałtownym wycieku łatwo zapalnej cieczy ze zbiornika. Jednak, aby powstał wybuch, spełnione muszą być określone warunki:

- 1) substancją (materiałem) musi być ciecz lub gaz w stanie skroplonym,
- 2) ciecz musi być magazynowana w szczelnie zamkniętym zbiorniku,
- 3) temperatura cieczy w zbiorniku musi być wyższa niż normalna temperatura tej cieczy przy ciśnieniu atmosferycznym.

Koniecznym elementem jest także takie podgrzanie zbiornika od zewnątrz (na przykład przez pożar), by nastąpił znaczny wzrost ciśnienia wywołującego efekt BLEVE. W samym zjawisku BLEVE wyróżnia się dwa etapy:

- 1) wybuch fizyczny - rozerwanie zbiornika w efekcie wzrostu ciśnienia,
- 2) wybuch chemiczny - powstanie zjawiska *fireball*, zapalenie się chmury mieszaniny substancji palnej i powietrza.

Wszystkie te warunki zostały spełnione podczas zdarzenia w bazie paliw koło Tomaszowa Mazowieckiego w 1997 roku. Najpierw był pożar gazu, przez co zbiorniki napełnione skroplonym propanem-butanem zostały ogrzane do takiego stanu, w którym nastąpiło ich rozerwanie. Później był gwałtowny wypływ cieczy i jej zapalenie.

VCE - wybuch wywołujący trzęsienie ziemi

Trochę inny charakter z punktu widzenia zachodzących zjawisk ma przebieg wybuchu VCE. Chmura powstaje podczas rozproszenia w powietrzu znacznych ilości palnych gazów lub par. Zapaleniu mieszaniny towarzyszy wybuch.

Zniszczenia wywołane są przede wszystkim falą uderzeniową (ciśnieniową), która niesie ze sobą energię cieplną. Szybkość przemieszczania się fali może osiągać prędkość ponad 100 metrów na sekundę. Efekty zniszczeń dokonane przez wybuch VCE można obliczyć, stosując model trójnitoluenu (TNT - trotyl), to znaczy wyznacza się energię fali wybuchowej powstałej w efekcie VCE i przelicza na równoważną masę TNT, która uległaby wybuchowi.

Zasięgi zniszczeń wskutek największych na świecie wybuchów VCE.

Miejsce wybuchu, rok	Zasięg całkowitych zniszczeń	Równoważna ilość eksplodującego TNT (trotylu) w tonach
Zakłady petrochemiczne w Pasadenie, 1989 rok	915 m	17
Zakład produkcji kwasu octowego w Teksasie, 1987 rok	300 m	11
Zakład produkcji kaprolaktamu w Flixborough, 1974 roku	250 m	16
Rurociąg na Syberii, Ufa, 1989 roku	14 km	10.000 największy nieatomowy wybuch na świecie

Źródło: FM Global 7 - 42: *Guidelines for evaluating the effects of vapor cloud explosions using a TNT equivalency method.*

Dlaczego TNT? Przeprowadzone liczne badania z eksplozjami trotylu są bardzo dobrze udokumentowane i pokazują skutki oddziaływania fali nadciśnieniowej. Dla przykładu, podczas wybuchu w zakładzie petrochemicznym w Pasadenie seismografy odnotowały trzęsienie ziemi bliskie 3,5 stopnia w skali Richtera.

W praktyce obliczenia skali zniszczeń przeprowadza się według gotowych reguł zawartych w normach, zasadach praktyki itp. Dokonuje się ich w ramach oceny ryzyka wykonywanej do najróżniejszych celów, na przykład w branży ubezpieczeniowej - do określenia prawdopodobnej maksymalnej szkody (PML), czyli wskaźnika wyrażającego wielkość ryzyka.

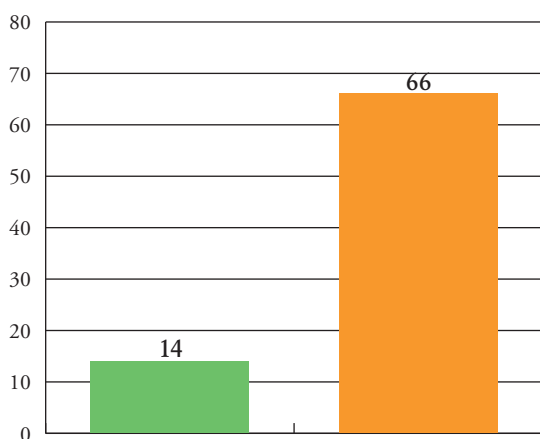
Skutki wybuchów w wyniku wzrostu nadciśnienia (fali uderzeniowej).

Nadciśnienie [bar]	Skutki
0,006	bardzo silny podmuch (12 stopni w skali Beauforta)
0,02	zniszczenia 10% powierzchni okien
0,20	całkowicie zniszczone konstrukcje stalowe budynków
0,50	przewrócone cysterny
0,70	całkowite zniszczenie budynków

Doświadczenia pokazują, że najwięcej wybuchów (50%) jest następstwem wycieku substancji palnej z instalacji technologicznych. Jednocześnie statystyki dowodzą, że skutki eksplozji tychże chmur są największe. Tak się składa, że instalacje chemiczne są bardzo złożonymi urządzeniami, a ich wartość jest zawsze ogromna. Stąd uszkodzenia lub, co gorsza, zniszczenia zawsze będą generowały znaczne straty.

Miejsca wybuchów VCE - 80 udokumentowanych przypadków wybuchów VCE.

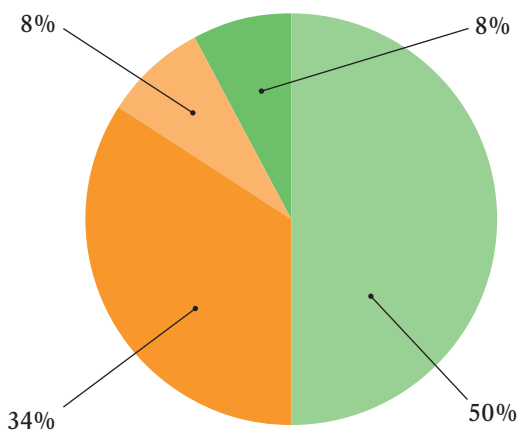
- 66 wybuchów na terenie zakładów chemicznych
- 14 wybuchów poza terenem zakładów chemicznych



Źródło: FM Global 7 - 42: *Guidelines for evaluating the effects of vapor cloud explosions using a TNT equivalency method.*

Miejsca uwalniania substancji palnych i wybuchowych - 66 udokumentowanych przypadków wybuchów VCE na terenie zakładów chemicznych.

- wyciek substancji z instalacji technologicznych 50%
- wyciek substancji z rurociągów wysokociśnieniowych (powyżej 18 bar) 34%
- wyciek ze zbiorników 8%
- wyciek z cystern kolejowych i autocystern 8%



Źródło: FM Global 7 - 42: *Guidelines for evaluating the effects of vapor cloud explosions using a TNT equivalency method.*

A jednak błąd człowieka...

Wymienioną listę katastrof można wydłużyć o kolejne zdarzenia. Wielkość strat będących następstwem wybuchów VCE oraz BLEVE jest zawsze znacząca. Istotne jest, że w większości przypadków przyczyną katastrof był błąd ludzki.

Podczas dochodzenia bezpośredniej przyczyny wycieku gazu w Pasadenie oprócz niewłaściwego nadzoru ze strony zakładu petrochemicznego, nieinformowania pracowników sterowni o robotach prowadzonych na działającej instalacji, wyszły na jaw jeszcze inne nieprawidłowości. Dowiedziono, że „standardem” firmy zewnętrznej wykonującej prace związane z usuwaniem zanieczyszczeń w rurociągach było stosowanie odstępstw od obowiązujących na terenie przedsiębiorstw procedur bezpieczeństwa. Potwierdzeniem niech będzie chociażby brak odpowiedniego zamknięcia rurociągów. Śledztwo wykazało, że już wcześniej - zaledwie dwa miesiące przed zdarzeniem - w amerykańskim sądzie procesowali się z tą firmą remontową robotnicy poszkodowani w wyniku oszczędności w zakresie, ogólnie rzecz ujmując, nieprzestrzegania prawa pracy. Okazało się także, że problemy z reaktorem nr 6 odnotowano tydzień przed zdarzeniem. Po prostu etylen zanieczyszczony był acetylenem, co miało ogromny wpływ na jakość produktu końcowego. Mimo to, aby nie ograniczać produkcji, zwiększono ilość przepływającego etylenu, doprowadzając do jeszcze większych zanieczyszczeń rurociągów. Gdyby po pierwszych oznakach zaczynających się problemów wezwano by firmę zewnętrzną, wówczas wszelkie prace można było przeprowadzić w miarę szybko i bez większych kłopotów. Stąd też podejmowane próby przedmuchiwania rurociągów gazem palnym z poziomu sterowni.

Analogiczne podejście do zasad bezpieczeństwa można zauważyć w bazie paliw koło Tomaszowa Mazowieckiego. Rozładunek cystern kolejowych prowadzony był bez uziemienia, co stworzyło idealne warunki do gromadzenia się ładunków elektryczności statycznej, a to doprowadziło prawdopodobnie do wyładowania iskrowego i zapalenia się mieszaniny gazu z powietrzem. A mogłoby się wydawać, że elementem wręcz powszechnej kultury technicznej jest wiedza o stosowaniu uziemienia podczas przetłaczania paliw płynnych... Ponadto pracownicy mieli opracowane procedury przeciwpożarowe, które nie uwzględniały operacji technologicznych wykonywanych na terenie zakładu. Nie określono granicznych parametrów prowadzenia procesów oraz wymagań obsady osobowej dla wykonywania czynności w tym szczególnie zagrożonym pożarem i wybuchem przedsiębiorstwie. Przykładowo w dniu wybuchu tylko jeden pracownik obsługiwał rozładunek cystern kolejowych. Zgodnie z zasadami bezpieczeństwa powinno być ich dwóch.

Nie inaczej było podczas wybuchu butanu w instalacji do produkcji kwasu octowego w zakładach w Teksasie w 1987 roku. Nastąpiło zatrzymanie produkcji z powodu braku zasilania w energię elektryczną. Po włączeniu napięcia operator uruchamiał reaktor „do skutku”. Z instalacji wyciekło około 40 ton butanu, który w mieszaninie



z powietrzem utworzył chmurę. A ta natychmiast zapaliła się wybuchowo. Znowu nie przestrzegano procedur bezpieczeństwa przewidujących w przypadku zatrzymania instalacji przedmuchiwanie reaktorów azotem - gazem obojętnym, obniżającym stężenie tlenu.

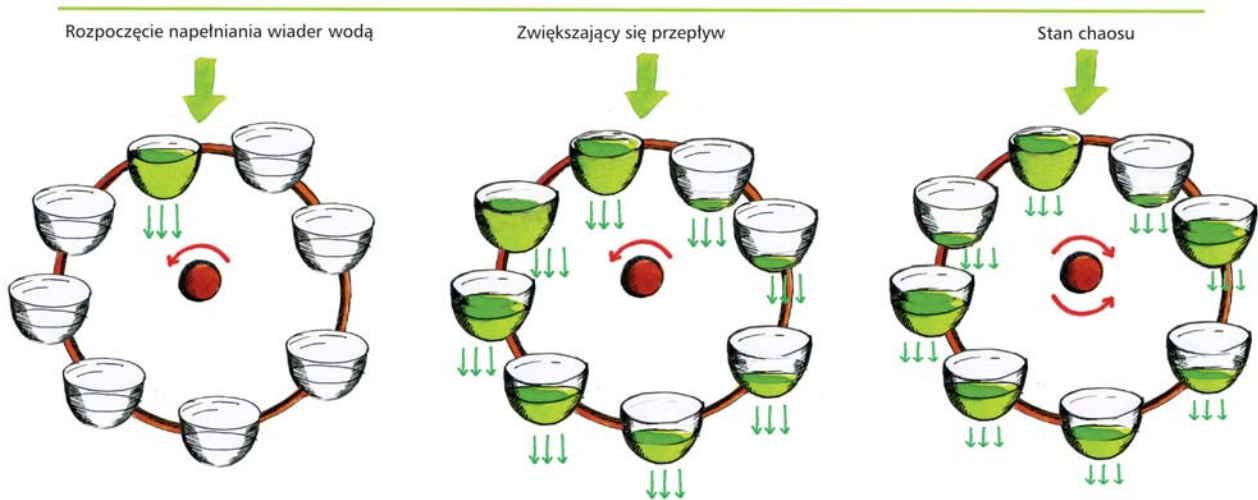
Znany jest w Polsce przypadek, do którego doszło w zupełnie innej branży (energetyka), gdy operator uruchamiał kocioł w systemie „do skutku”, czyli poprzez załączanie palników aż do pojawienia się zapłonu. Urządzenia automatyki uniemożliwiały jego włączenie. Jednak operator naciskał przełącznik „start” tak długo, aż palniki zadziały. Gdy zostały włączone, mieszanina w kotle zapaliła się wybuchowo i urządzenie uległo znacznemu uszkodzeniu.

Uciec przed chaosem

od góry woda, koło zaczyna się kręcić. Obracanie możliwe jest dzięki różnicy ciężaru wody z lewej i prawej strony - w odniesieniu do pionowej osi przechodzącej przez środek.

W miarę zwiększania przepływu wody prędkość poruszającego się koła wzrasta. Natomiast szybszy ruch obrotowy powoduje, że jest coraz mniej czasu na opróżnienie wiader bezpośrednio przed ich ponownym napełnieniem. W pewnym momencie koło przestaje obracać się w jednym kierunku.

Zachwiany zostaje stan równowagi, to znaczy koło raz obraca się w prawo, raz w lewo. Zupełnie chaotycznie. Stan ten jest rezultatem dużej prędkości obrotowej koła, uniemożliwiającej opróżnienie się wiader. Nieuporządkowany ruch wynika



W zakładzie chemicznym zagrożenie stwarzają nie tylko prowadzone tam procesy. Przede wszystkim poziom bezpieczeństwa wyraża się we wzajemnym oddziaływaniu układu: człowiek i złożone systemy technologiczne. Niewielkie nawet zachwianie stanu równowagi przez wydawałoby się całkowicie nieznaczący element, na przykład nieodpowiednie uszczelnienie rurociągu, na którym prowadzi się prace (Pasadena), brak uziemienia cystern kolejowych (baza paliw) może spowodować katastrofę i przejście przedsiębiorstwa w stan chaosu.

Najlepiej wyjaśnienie tego zjawiska ilustruje koło wodne wspomnianego już Edwarda Lorenza. Urządzenie składa się z wiader o jednakowej pojemności, zamontowanych na obwodzie koła. W ich dnach znajdują się otwory (jednakowa liczba i średnica). Gdy do wiader jest nalewana

ze zbyt dużej ilości przepływającej wody. Oczywiście określenie ilości wody wprowadzającej koło w stan chaosu jest wykonalne. Natomiast nieodwracalny jest jego nieuporządkowany ruch.

Podobnie dzieje się w zakładach branży chemicznej. Procesy, nawet te najbardziej złożone, są przewidywalne. Wystarczy jedno niewielkie zakłócenie reakcji, aby system wyszedł spod kontroli, doprowadzając do katastrofy. Dlatego w realizacji polityki bezpieczeństwa bardzo ważną rolę odgrywa świadomość istniejących zagrożeń, ale przede wszystkim znajomość i realizacja zasad bezpieczeństwa wśród wszystkich pracowników przedsiębiorstwa. Chaos niekoniecznie musi być ceną rozwoju cywilizacji.

Krzysztof Kowalczyk
krzysztof.kowalczyk@bestia.pl