dr inż. **Wiktor LASOTA**
Komendant Zakładowej Straży Pożarnej Odcinka Wschodniego
Przedsiębiorstwo Eksploatacji Rurociągów Naftowych „Przyjaźń" S.A.

SKUTECZNOŚĆ ZABEZPIECZENIA PRZECIWPOŻAROWEGO ZBIORNIKÓW STALOWYCH NA PALIWA PŁYNNE.

Streszczenie

Pożary zbiorników z ropą naftową lub z produktami naftowymi z całą odpowiedzialnością można określić jako kataklizm w skali lokalnej. Z opisów pożarów, które maiły miejsce w Polsce i za granicą wiadomo, że są to zdarzenia powodujące ofiary w ludziach, ogromne straty materialne, zanieczyszczenia środowiska oraz przeważnie całkowite lub znaczne uszkodzenie zbiorników objętych pożarem i zbiorników sąsiednich. Bardzo ważnym spostrzeżeniem decydującym o bezpieczeństwie pożarowym zbiorników jest fakt, że instalacje przeciwpożarowe montowane do górnej krawędzi zbiornika ulegają zniszczeniu w początkowej fazie pożaru w wyniku deformacji płaszcza. W zdecydowanej większości przypadków instalacje te nie spełniają, więc roli ani funkcji, do jakiej zostały zaprojektowane i przeznaczone. W artykule przedstawiono dobór optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych oraz dobór trwałych i skutecznych zabezpieczeń przeciwpożarowych, zapewniających maksymalnie długie utrzymanie nieuszkodzonej instalacji gaśniczej zbiornika w czasie pożaru.

Summary

Tanks' fire with crude oil or oil products with full responsibility can be described as a local disaster. Looking at the description that had been in Poland and abroad it's known that these are events cause victims in human being, huge material loses, environmental pollution and mostly total or huge damages of tanks' in fire and tanks in neighborhood. It's very important remark deciding about tanks fire security it's a fact that fire – extinguishing installation fitted to the upper edge of tank are destroyed in the very beginning part of fire due to deformation of a tank shell. In the most majority of events these installations don't do neither a function and play a part that they were designed and planned. In the article there were shown a selection of a constant and an effective fire – extinguishing protection, giving an assurance that the tank's fire installation will be maximal not to damage during the fire.

Ropa naftowa jest jednym z najważniejszych surowców energetycznych i chemicznych wykorzystywanych przez różne gałęzie gospodarki światowej. Produkowane z ropy naftowej paliwa płynne są stosowane powszechnie, a zapotrzebowanie na nie ciągle rośnie. Ropa naftowa i wytwarzane z niej produkty są magazynowane w zbiornikach, niemal wyłącznie stalowych jedno- i dwupłaszczowych z dachami pływającymi. W zbiornikach z dachami stałymi magazynuje się obecnie tylko oleje napędowe i opałowe oraz asfalty. W przemyśle naftowym występuje tendencja do budowy zbiorników o coraz większych

pojemnościach. Jest to podyktowane względami ekonomicznymi (zmniejszonym zużyciem stali na metr sześcienny magazynowanej cieczy). W Polsce istnieją już zbiorniki o pojemności 100 000 m^3, średnicy około 90,0 m i wysokości około 20,0 m. Budowanie tak dużych zbiorników jest jak najbardziej zasadne, gdyż oprócz magazynowania w nich paliw do bieżącego zużycia służą one do gromadzenia zapasów strategicznych zapewniających bezpieczeństwo energetyczne kraju. Niestety, jak wskazują doświadczenia czasami w zbiornikach tych powstają pożary. Dzieje się to ze szkodą dla przemysłu, środowiska, ale przede wszystkim ze szkodą dla życia i zdrowia ludzkiego. Pożary zbiorników z ropą naftową lub z produktami naftowymi, a szczególnie ich najbardziej niekorzystny wariant, gdy pali się ciecz na całej powierzchni zbiornika, z całą odpowiedzialnością można określić jako kataklizm w skali lokalnej. Z opisu pożarów, które miały miejsce w Polsce i za granicą wiadomo, że są to zdarzenia powodujące ofiary w ludziach, ogromne straty materialne, zanieczyszczenie środowiska oraz przeważnie całkowite lub znaczne uszkodzenia zbiorników objętych pożarem i zbiorników sąsiednich. W pożarach zbiorników magazynowych ropy naftowej i produktów naftowych w Polsce od 1971 roku zginęło 40 osób, co jest największą tragedią tych zdarzeń. W pożarach zbiorników w USA w ostatnich 45 latach zginęło 68 osób.

Aby przybliżyć skalę zagrożenia przedstawię podsumowanie pięciu największych pożarów w przemyśle naftowym na świecie od 1977 roku.

- 25 listopada 1990. Denver, Colorado USA, straty 32 mln USD
- 21 grudnia 1983. Neapol, Włochy, straty 42 mln USD
- 30 sierpnia 1983. Milford Haven, UK, straty 11 mln USD
- 07 lipca 1983. Newark, New Jersey, USA, straty 35 mln USD
- 24 września 1977. Romeville, Illinois, USA, straty 8 mln USD

Uwaga: Wszystkie sumy strat podane są w wartościach naliczonych po zdarzeniu i nie zostały przeliczone do obecnej wartości dolara.

Z analizy 238 dużych pożarów zbiorników z ropą naftową i z produktami naftowymi, które miały miejsce w ostatnich 20 latach w Rosji i na terytorium byłych republik ZSRR wynikają następujące spostrzeżenia:

- Co czwarty pożar ugaszono z trudnościami i komplikacjami, których konsekwencją było całkowite wypalenie się palnej masy produktu.
- Stałe instalacje gaśnicze z punktami podawania piany gaśniczej od góry zbiornika okazały się zawodne. Skuteczne gaszenie zapewniały dopiero jednostki straży pożarnej z przewoźnym sprzętem gaśniczym.

- Duże promieniowanie cieplne i wyrzuty palącej się ropy naftowej występujące, w co czwartym pożarze zbiornika powodowały pożar grupowy większej liczby zbiorników.

Moc strumienia cieplnego podczas pożaru całkowitego zbiornika z ropą naftową o objętości V = 100 000 m^3, średnicy d = 90 m.

Lp.	Odległość od centrum pożaru, od osi pionowej zbiornika w metrach.	Odległość od płaszcza zbiornika w metrach.	Moc strumienia cieplnego w KW/sm^2
1.	50	5	57
2.	60	15	39,7
3.	70	25	29
4.	80	35	22,3
5.	90	45	17,6
6.	100	55	14,3
7.	110	65	11,8
8.	120	75	9.9
9.	190	145	3,9
10.	350	305	1,17

W czasie pożaru takiego zbiornika moc strumienia cieplnego w odległości 15 m od płaszcza zbiornika wynosi 39,7 KW/sm^2, powoduje to zniszczenie wszelkich instalacji przemysłowych znajdujących się w tej odległości. W odległości około 60 metrów od płaszcza zbiornika moc strumienia cieplnego wynosi około 12,5 KW/sm^2 , co powoduje uszkodzenie powłokowych konstrukcji stalowych (uszkodzeniu ulegają sąsiednie zbiorniki jeśli nie są schładzane). W odległości około 140 metrów od zbiornika moc strumienia cieplnego wynosi około 4 KW/sm^2, co uznawane jest za wartość dopuszczalną dla pracy strażaków wyposażonych w podstawowe środki ochrony indywidualnej (w ubraniach żaroodpornych można przebywać bliżej). I wreszcie w odległości około 300 metrów od zbiornika moc strumienia cieplnego wynosi około 1,2 KW/sm^2, taka moc strumienia cieplnego nie stwarza dyskomfortu przy długotrwałej ekspozycji.

Przyczyny pożarów zbiorników są różne, najczęściej powstają one na skutek błędów w działaniu ludzi lub wyładowań atmosferycznych.

Przyczyny pożarów zbiorników:

- Prace remontowe z otwartym ogniem - 33,5 %
- Iskrzenie urządzeń elektrycznych - 14,6 %
- Wyładowania atmosferyczne - 9,2 %
- Wyładowania od ładunków elektryczności statycznej - 9,7 %
- Samozapalenie palnych pozostałości w zbiornikach,
- nieostrożne obchodzenie się z ogniem, podpalenia - 33 %

Zbiorniki magazynowe ropy naftowej i produktów naftowych mają najczęściej kształt powłoki obrotowej.

Projektując takie zbiorniki bierze się pod uwagę przede wszystkim następujące obciążenia:

1. parcie magazynowanej cieczy i masa własna konstrukcji,
2. nadciśnienie, związane z parowaniem magazynowanej cieczy,
3. podciśnienie – obciążenie awaryjne występujące podczas nieprawidłowego opróżniania zbiornika,
4. oddziaływanie wiatru,
5. oddziaływania sejsmiczne.

Na etapie projektowania pomija się lub traktuje w sposób bardzo uproszczony obciążenie zbiorników polem temperatury. W warunkach pożaru jest to bardzo istotne obciążenie generujące, porównywalne z mechanicznymi, a w niektórych przypadkach nawet większe od mechanicznych naprężenia i odkształcenia konstrukcji.

Zagadnienie jest ważne dla projektowania zbiorników, ponieważ od trwałości, niezawodności i skuteczności systemu zabezpieczenia przeciwpożarowego zależy zdrowie i życie osób uczestniczących w akcji gaśniczej oraz mienie dużej wartości.

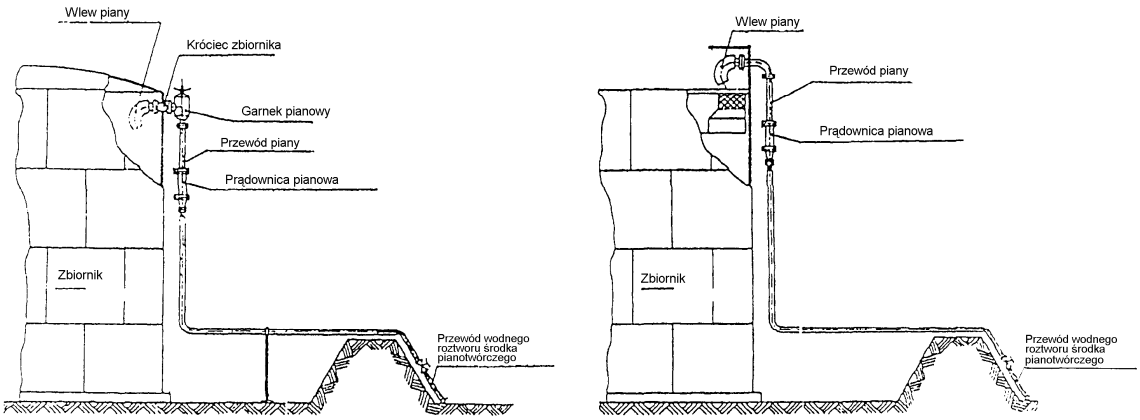
Ropa naftowa i jej produkty są cieczami łatwopalnymi i stwarzają duże zagrożenia pożarowe, dlatego w walce z zagrożeniem pożarowym zbiorników magazynowych można mówić o zmniejszeniu prawdopodobieństwa powstania pożaru i doskonaleniu urządzeń gaśniczych. Nie da się całkowicie wyeliminować zagrożenia pożarowego stwarzanego przez zbiorniki magazynowe ropy naftowej i jej produktów.

Sposób i instrukcje gaszenia pożarów zbiorników.

Pożary zbiorników ropy naftowej i otrzymywanych z niej produktów gasi się przez pokrycie zwierciadła palącej się cieczy warstwą piany, która odcina dostęp powietrza niezbędnego do kontynuowania pożaru. Do zbiornika tłoczy się rurociągami wodny roztwór

środka pianotwórczego, który w końcowym odcinku instalacji, w prądownicach (rys. 1) zasysa powietrze i tworzy pianę. Dotychczas piana była podawana do zbiornika z poziomu górnej krawędzi płaszcza. Powodowało to małą skuteczność systemu gaśniczego, gdyż podczas pożaru płaszcz dość szybko, pod wpływem wysokiej temperatury, ulegał deformacjom w strefie zwierciadła palącej się cieczy. Zdeformowany, sfałdowany po obwodzie płaszcz jest obciążony od góry chłodniejszą jego częścią znajdującą się poza strefą pożaru, co doprowadza do załamywania się górnej części płaszcza do wnętrza zbiornika. Pociąga on za sobą przymocowaną do niego instalację gaśniczą i niszczy ją. Od tego momentu gaszenie pożaru odbywało się tylko przy użyciu przewoźnego sprzętu straży pożarnych (samochody gaśnicze, pompy działka wodno-pianowe). Powtarzająca się przy kolejnych pożarach nieskuteczność stałej instalacji gaśniczej wskazuje na konieczność innego jej rozwiązania.

Zbiornik z dachem stałym Zbiornik z dachem pływającym



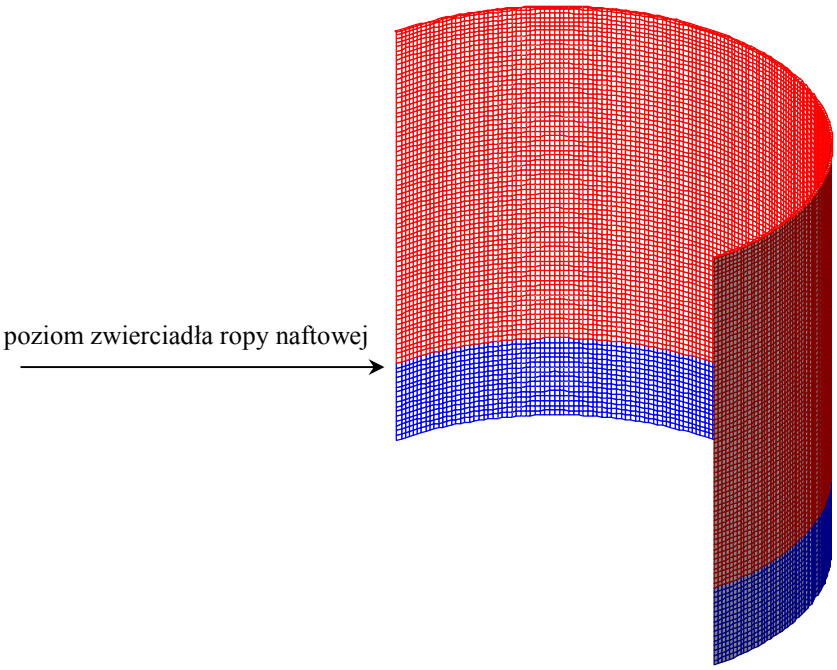
Ryc. 1. Urządzenia gaśnicze pianowe z punktami podawania piany w górnej części zbiornika.

Deformacje płaszcza zbiornika występujące podczas pożaru w strefie palącego się zwierciadła cieczy były analizowane w pracy doktorskiej [1]. Przyjęto w niej uproszczone założenia obliczeniowe uzasadniając to faktem, że każdy pożar jest inny: działanie wiatru chłodzi część płaszcza powodując, że jest on nierównomiernie nagrzewany na obwodzie, imperfekcje kształtu płaszcza występują w różnej postaci i w różnych jego miejscach, płaszcz jest w różny sposób schładzany środkami stosowanymi przez straż pożarną. Przy tych i innych jeszcze zmiennych wpływach, powodujących małą precyzję założeń obliczeniowych,

dokładna analiza numeryczna była niecelowa. Ograniczono się do analizy poglądowej, która miała dać potwierdzenia sposobu niszczenia płaszcza zbiornika, jaki stwierdza się po ugaszeniu pożaru. Analizę statyczną przeprowadzono przy użyciu programu MSC Visual Nastran for Windows 2002, który jest aplikacją metody elementów skończonych.

Głównym celem analizy numerycznej było określenie, przy jakiej temperaturze płaszcz zbiornika traci nośność pod wpływem działania ciężaru własnego. W modelu obliczeniowym przyjęto moduł sprężystości E=205 Gpa w części dolnej płaszcza mającej kontakt z ropą. Założono, że płaszcz jest schładzany przez magazynowany produkt. Nad powierzchnią palącej się ropy redukowano moduł sprężystości E_T, jako wynik występowania wysokich temperatur, aż do momentu utraty nośności przez płaszcz zbiornika.

Model obliczeniowy.



kolor niebieski – moduł sprężystości E=205 GPa , T<70°C
kolor czerwony – strefa redukcji modułu sprężystości E_T , T>>70°

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

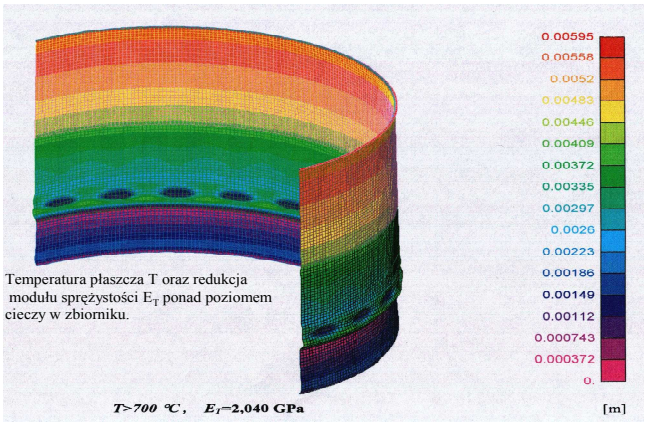
1. Model obliczeniowy MES obejmuje jedynie płaszcz zbiornika. Nie modelowano ani dna, ani podłoża gruntowego, na którym spoczywa zbiornik. Wynika to z faktu, że w pożarze na oddziaływanie wysokich temperatur narażona jest

głównie górna część powłoki płaszcza, znajdująca się ponad zwierciadłem palącej się ropy.

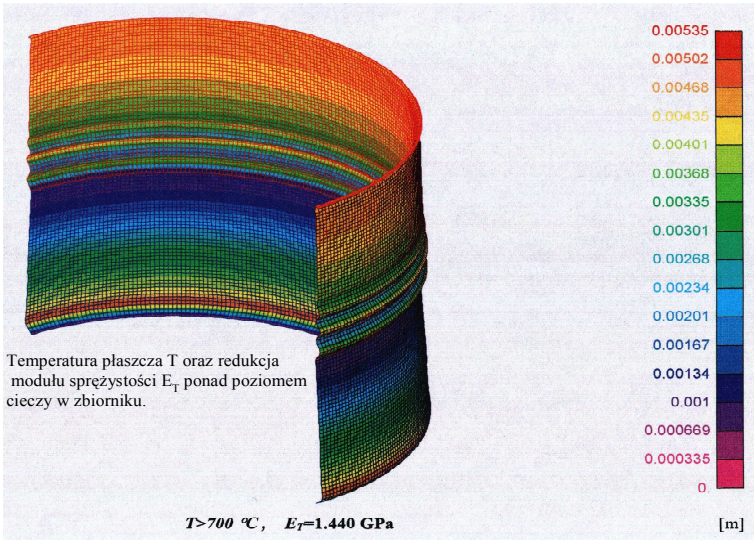
2. W modelu obliczeniowym nie uwzględniono imperfekcji geometrycznych i materiałowych płaszcza. Przyjęto idealną geometrię płaszcza i wykorzystano jedną płaszczyznę symetrii układu. W takim przypadku postacie utraty stateczności płaszcza nie są ograniczone przez warunki brzegowe, wynikające z symetrii.
3. Pominięto fakt wpływu rozszerzalności termicznej stali na geometrię układu. W każdym rzeczywistym zbiorniku występują imperfekcje geometryczne. Działanie wysokich temperatur z reguły pogłębia te efekty i nie wywołuje jednorodnego rozszerzania się powłoki płaszcza. Rozkład temperatury na płaszczu palącego się zbiornika jest także nierównomierny i w dużej mierze zależy od zewnętrznych warunków, takich jak kierunek wiejącego wiatru, schładzanie płaszcza przez instalację przeciwpożarową, jak i w wyniku działania sekcji ratowniczych straży pożarnej.
4. Każdy pożar ma inny przebieg. Różne są przyczyny jego powstania, inaczej też przebiega akcja gaszenia. Ponieważ w warunkach pożaru działa wiele różnorodnych czynników, celowym działaniem stało się „wyizolowanie" problemu redukcji nośności płaszcza, w wyniku działania wysokiej temperatury (redukcja modułu sprężystości stali). Analiza ma charakter poglądowy, jej celem jest określenie temperatury, przy której płaszcz zbiornika ulega zniszczeniu pod wpływem ciężaru własnego.

Pokazana na rys. 2, 3 i 4 mapa deformacji jest typowa w odniesieniu do dwunastu przeanalizowanych przykładów zbiorników pojemności 10 000 i 50 000 m^3, wypełnionych w momencie rozgorzenia pożaru do trzech poziomów: 4,0; 10,0 i 16,0 m.

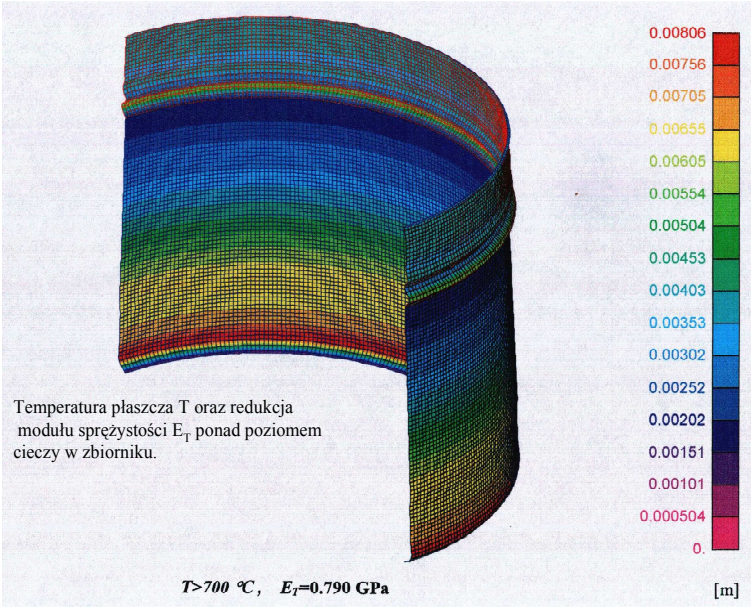
Wyniki obliczeń.



Ryc.2. Deformacja płaszcza zbiornika o pojemności V=10000 m^3 – *stan napełnienia ropą naftową h=4m.*



Ryc.3. Deformacja płaszcza zbiornika o pojemności V=10000 m^3 – *stan napełnienia ropą naftową h=10m.*



Ryc. 4. Deformacja płaszcza zbiornika o pojemności V=10000 m^3 – *stan napełnienia ropą naftową h=16m.*

Dopiero redukcja modułu sprężystości stali do wartości około 1% E powoduje utratę nośności płaszcza. Temperatura stali musi przekroczyć wtedy 700^{0}C. W pierwszej fazie powstają osiowosymetryczne pofałdowania w rejonie skokowej zmiany sztywności, a przy dalszej redukcji sztywności powstają lokalne wybrzuszenia powodujące utratę nośności. Naprężenia zredukowane wg hipotezy Hubera-Misesa-Hencky nie przekraczają 3 Mpa. Ponieważ redukcja granicy plastyczności i wytrzymałości obliczeniowej stali postępuje wolniej niż redukcja modułu sprężystości, zniszczenie płaszcza będzie wynikiem utraty jego stateczności, a nie uplastycznienia. Koliste deformacje płaszcza obliczeniowo występują zawsze w strefie palącego się zwierciadła ropy naftowej. Te koliste deformacje można traktować jako impuls do załamania się górnej części płaszcza do wnętrza zbiornika.

Wnioski z analizy numerycznej.

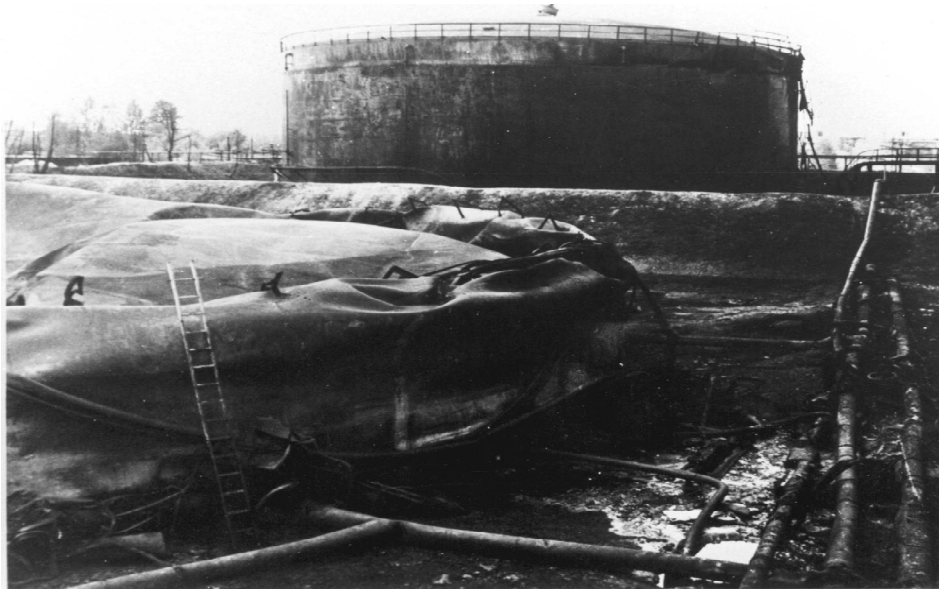
1. Płaszcze zbiorników o pojemności V=10000 m^3 jak i V=50000 m^3 tracą nośność w temperaturze około 700^0 C.
2. Deformacje płaszczy zbiorników określone na drodze numerycznej potwierdzają spostrzeżenia zniszczeń zbiorników wywołanych w czasie pożaru.

3. Poziom napełnienia zbiornika ropą w trakcie trwania pożaru ma wpływ na zachowanie nośności płaszcza zbiornika. Przy niskim stanie napełnienia traci on nośność szybciej niż przy wysokim stanie napełnienia.
4. Analiza dokumentacji fotograficznej konstrukcji zbiorników, które uległy zniszczeniu w pożarze wykazuje tendencje załamywania się powłoki płaszcza do środka zbiornika.

Analizując pożary zbiorników z ropą naftową lub produktami naftowymi dochodzi się do następujących spostrzeżeń; w czasie pożaru płaszcz zbiornika jest narażony na oddziaływanie temperatury pożaru wewnątrz zbiornika lub pożaru zbiornika sąsiedniego. Im mniejszy jest poziom cieczy znajdującej się w zbiorniku objętym pożarem, tym większe jest prawdopodobieństwo zniszczenia płaszcza zbiornika wystawionego na oddziaływanie wysokiej temperatury i strumienia cieplnego o dużej mocy. Jeśli poziom cieczy w zbiorniku jest wysoki, a płaszcz zbiornika ma bezpośredni kontakt z magazynowanym wewnątrz produktem, to nie ma natychmiastowego zagrożenia zniszczenia konstrukcji płaszcza zbiornika. Niszczącemu oddziaływaniu cieplnemu w tym przypadku poddana będzie tylko górna część konstrukcji zbiornika. Ciepło poprzez przewodzenie w stalowym płaszczu będzie przechodziło w dół, a ciecz wewnątrz zbiornika poniżej palącej się powierzchni będzie odbierała ciepło z płaszcza. Jednak część płaszcza zbiornika nad poziomem cieczy wystawiona na oddziaływanie cieplne (bez chłodzenia) w początkowej fazie pożaru ulega deformacji. Wysoka temperatura powoduje bowiem utratę właściwości wytrzymałościowych stali i w konsekwencji doprowadza do „złożenia się" konstrukcji. Na podstawie analizy dużych pożarów stalowych zbiorników magazynowych można stwierdzić, że w zdecydowanej większości przypadków „złożenie się" zbiornika następuje „do wewnątrz". W zbiornikach z dachem stałym istotny jest wpływ ciężaru własnego dachu. Powoduje on obciążenie pionowe osłabionego w pożarze płaszcza i doprowadza do jego deformacji.

Ponadto poszczególne pierścienie płaszcza mają zmienną grubość dostosowaną do zmieniającego się parcia hydrostatycznego w zbiorniku. Pierścienie o różnej grubości licowane są podczas montażu na wewnętrzną krawędź płaszcza ze względu na uproszczenie montażu a głównie ze względu na przemieszczanie się w płaszczu dachu pływającego. Tak więc, mimośrodowe obciążenie zdeformowanego płaszcza na poziomie palącej się cieczy sprzyja jego załamywaniu się do wewnątrz. Dalszym teoretycznym uzasadnieniem takiego mechanizmu niszczenia płaszcza jest wyższa jego temperatura na jego powierzchni wewnętrznej niż na powierzchni zewnętrznej.

Porównanie wyników przeprowadzonej analizy deformacji elementów konstrukcji zbiornika na podstawie komputerowych obliczeń z opisem zachowania się zbiorników stalowych na produkty naftowe w czasie pożarów (Rys. 5 i 6) wskazuje na niemal dokładną zgodność.



Ryc. 5. Zbiornik po pożarze w rafinerii nafty Czechowice – Dziedzice.

Ryc. 6. Zbiornik po pozarze w Rafinerii Trzebinia.

Bardzo ważnym spostrzeżeniem decydującym o bezpieczeństwie pożarowym zbiorników magazynowych ropy naftowej i produktów naftowych jest fakt, że instalacje przeciwpożarowe, montowane do górnej krawędzi zbiornika w czasie pożaru ulegają zniszczeniu w wyniku deformacji jego płaszcza w początkowej fazie pożaru. W zdecydowanej większości przypadków instalacje te nie spełniają więc ani roli, ani funkcji, do której zostały zaprojektowane i przeznaczone. W przypadku powstania pożaru, kiedy zachodzi potrzeba uruchomienia akcji gaśniczej i użycia instalacji przeciwpożarowych montowanych do górnej krawędzi zbiornika okazuje się, że w większości przypadków uległy już one zniszczeniu. Z tego wynika wniosek, że aby instalacja gaśnicza była skuteczna, musi być oddzielona od górnej części płaszcza.

Idea podawania piany gaśniczej od dna zbiornika powstała już dawno, ale nie można było jej zastosować w praktyce, ponieważ nie dysponowano pianą, która nie ulega zniszczeniu przebijając się przez kilku- czy kilkunastometrową warstwę ropy naftowej. Przed kilku laty pianę taką wyprodukowano w USA i obecnie jest możliwe oddzielenie instalacji gaśniczej od górnej części płaszcza zbiornika.

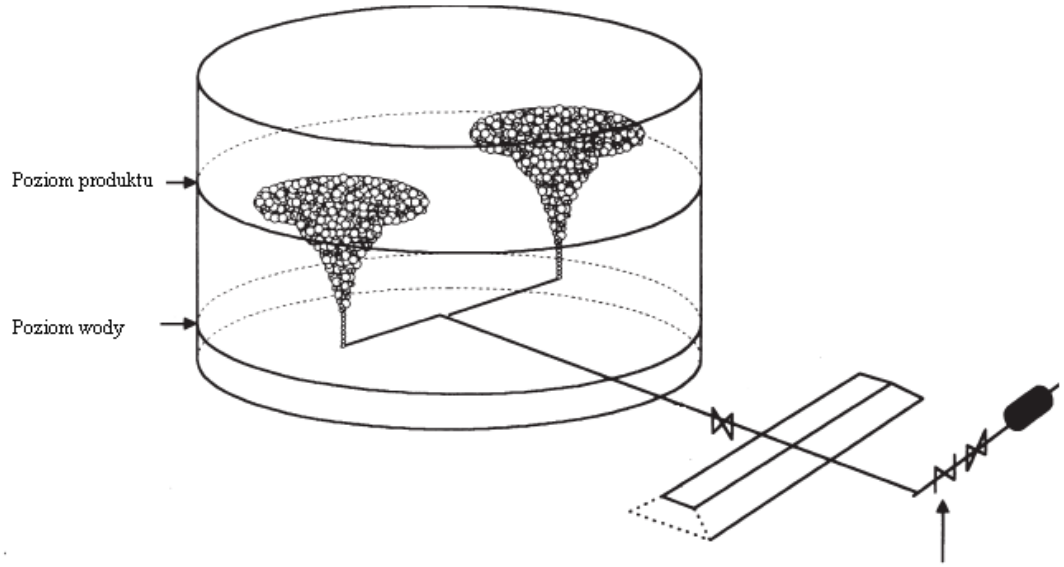
Urządzenia podające pianę do zbiornika u jego podstawy działają na zasadzie wtrysku podpowierzchniowego. W tym systemie piana gaśnicza wtryskiwana jest do paliwa u podstawy zbiornika, następnie przez paliwo unosi się do góry, gdzie nad powierzchnią paliwa tworzy gaśniczą i ochronną warstwę pianową. Może być ona wprowadzona do zbiornika przez rurociągi do transportu piany równomiernie rozmieszczone nad dnem zbiornika lub przez kolektory technologiczne napełniające zbiornik. W systemie tym ważne jest, aby piana gaśnicza podawana była do zbiornika nad powierzchnią wody podproduktowej, która często znajduje się na dnie zbiornika (dotyczy to zbiorników z ropą naftową). Przechodzenie piany przez warstwę wody powoduje jej niszczenie.

Do tego rodzaju urządzeń gaśniczych należy stosować środki gaśnicze wytwarzające pianę, która nie jest zwilżana przez paliwa, np. fluoro-proteinowa lub AFFF. Systemy tego rodzaju nie mogą być stosowane do paliw tzw. przekształconych, zawierających alkohole lub inne ciecze polarne, gdyż spowodują one zniszczenie piany podczas przechodzenia jej przez warstwę paliwa. Nie mogą być również stosowane do cieczy o dużej lepkości, np. asfaltu i paliw podgrzanych do temperatury powyżej 100°C, z powodu możliwości wrzenia wody wchodzącej w skład piany gaśniczej.

Główne zalety tego systemu:

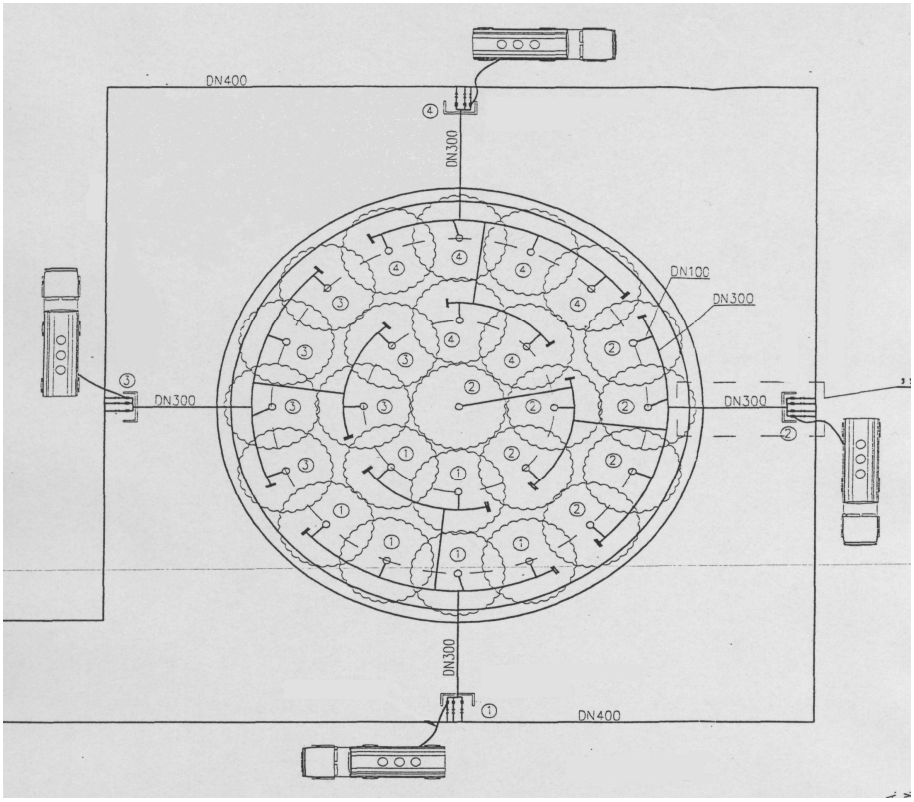
- Piana gaśnicza może być skutecznie podawana do zbiornika, nie napotykając prądów konwekcyjnych powietrza, powstających w czasie pożaru. Nie jest też narażona na warunki atmosferyczne np. silny wiatr, intensywne opady deszczu, niskie temperatury.
- Piana gaśnicza nie jest podawana bezpośrednio w strefę, w której występuje wysoka temperatura.
- Występuje tu znacznie mniejsze prawdopodobieństwo uszkodzenia instalacji przy wybuchu w początkowej fazie pożaru oraz przez deformację płaszcza zbiornika, która postępuje od góry.
- Piana podawana przy podstawie zbiornika, wypływając przez ciecz palną na powierzchnię, powoduje mieszanie palnej cieczy, wskutek czego zmniejsza się temperatura górnych warstw cieczy w palącym się zbiorniku i tym samym zmniejsza się intensywność palenia. Redukuje to również w znaczący sposób możliwość powstania wykipienia i wyrzutu palącej się ropy naftowej.
- Są to urządzenia bardzo prostej konstrukcji, łatwe w utrzymaniu i konserwacji.
- Potrzebują znacznie mniejsze ilości piany do ugaszenia pożaru zbiornika w porównaniu z urządzeniami, w których piana podawana jest od góry (przy podawaniu od góry piana trafia w płomienie o temperaturze około 1 100 °C, dlatego znaczna jej część ulega rozkładowi).
- Są to urządzenia tańsze w porównaniu z urządzeniami podającymi pianę od góry.

Schemat ideowy urządzenia podającego pianę do zbiornika u jego podstawy pokazano na rys. 7.



Ryc. 7. Schemat ideowy urządzenia gaśniczego podającego pianę z poziomu dna zbiornika.

W Polsce po raz pierwszy taki system gaszenia pożaru zastosowano (na wniosek autora pracy [1]) w 2004 roku podczas budowy dwóch zbiorników, każdy pojemności 100 000 m^3. Instalacja przeciwpożarowa składa się z czterech sekcji rur i wylewów piany zainstalowanych nad dnem zbiornika (Rys. 8). Sekcja nr 2 ma siedem wylewów piany, a pozostałe trzy sekcje po sześć wylewów, a więc razem jest 25 wylewów, które podają pianę gaśniczą równomiernie na całą powierzchnię ropy naftowej w zbiorniku. Zasada działania omawianej instalacji pianowej, podobnie jak w przypadku instalacji pianowych odgórnych, polega na dostarczeniu do generatorów pianowych wodnego roztworu środka pianotwórczego pod odpowiednim ciśnieniem. Jak przedstawiono na rysunku 8 zasilanie instalacji wodą realizowane jest z przeciwpożarowej pompowni wodnej rurociągami wodnymi DN 400. Środek pianotwórczy dostarczany jest do przeciwpożarowych stanowisk rozdzielczych z czterech cystern przewoźnych. Piana gaśnicza wytwarzana jest w generatorach pianowych zamontowanych w przeciwpożarowych stanowiskach rozdzielczych i dalej rurociągami DN 300 dostarczana do oddolnej instalacji gaśniczej.



Ryc. 8. Urządzenia gaśnicze pianowe podające pianę do zbiornika u jego podstawy zastosowane w Stacji Pomp w Adamowie rurociągu "Przyjaźń".

Wnioski:

1. Cechą charakterystyczną zniszczeń podczas pożarów stalowych zbiorników walcowych jest załamywanie się płaszcza zbiornika do wewnątrz. Taki mechanizm zniszczenia zbiornika występuje najczęściej mimo różnorodności przyczyn powstania pożaru, różnic w sposobie jego gaszenia i długości trwania.
2. Instalacje gaśnicze pianowe podające pianę od góry zbiornika i związane z górną częścią płaszcza zbiornika w warunkach pożaru szybko ulegają zniszczeniu.
3. Zbiorniki magazynowe ropy naftowej i produktów naftowych należy wyposażać w trwalsze, w warunkach pożaru i skuteczniejsze, instalacje gaśnicze pianowe, działające na zasadzie wtrysku podpowierzchniowego, podające pianę do zbiornika z rejonu jego podstawy.

Literatura :

1. Abramowicz M., Adamski R.: Bezpieczeństwo pożarowe budynków: część 1, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa 2002.
2. Abramowicz M., Adamski R.: Produkty z wełny mineralnej jako izolacja ogniochronne elementów konstrukcji stalowych, II Międzynarodowa Konferencja Bezpieczeństwo Pożarowe Budowli, 22 – 24 października 1997, SGSP Warszawa 1997.
3. Banasinsky V.: Vedouci zaměstnanec a požárni ochrona, RoVS, Rožnov pod Radhoštěm 2001.
4. Baum H. R.: Large eddy simulations of fires – from concepts to computations, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA 2000.
5. Baum H. R., McGrattan K. B.: Simulation of oil tank fires, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA 1999.
6. Bednarek Z.: Charakter i mechanizm niszczenia metali w warunkach podwyższonych i wysokich temperatur, Zeszyty naukowe SGSP 7/1990.
7. Bednarek Z., Dec L., Szlubowska E.: Badania popożarowe własności wytrzymałościowych elementów stalowych, Biuletyn Nauka i Technika Pożarnicza nr 4/1988.
8. Bednarek Z.: O wyznaczaniu odkształceń i naprężeń termicznych w warunkach pożaru, Inżynieria i Budownictwo 10/1994.
9. Bednarek Z.: Określenie parametrów wytrzymałościowych materiałów konstrukcyjnych w nieustalonym polu temperatury, Konferencja, Badanie pożarów, Warszawa 26 kwiecień 1989.
10. Bednarek Z.: Zmiany wytrzymałościowe i strukturalne stali budowlanych spowodowane oddziaływaniem temperatur pożarowych, SGSP Warszawa 1988-1989.
11. Bednarski T.: Mechanika plastycznego płynięcia w zarysie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995.
12. Bogucki W.: Budownictwo Stalowe, część 1, wydanie czwarte znowelizowane, Arkady, Warszawa 1976.
13. Бордовский А. М., Медник Б. М., Фомик В. И., Цвигун А. А.: Предупреждение аварий на объектах магистрального транспорта нефти, Киев 2000.

14. Borysiewicz M., Furtek A., Potempski S.: Poradnik metod oceny ryzyka związanego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi, Instytut Energii Atomowej Otwock-Świerk 2000.

15. Borysiewicz M., Potempski S.: Metody oceny ryzyka przy sporządzaniu raportu bezpieczeństwa, I Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Główne Procedury Zapobiegania Poważnym Awariom Przemysłowym i Ograniczania Ich Skutków, Warszawa 13 marca 2001.

16. Borysiewicz M., Potempski S.: Obliczanie transportu w atmosferze i środowisku wodnym substancji niebezpiecznych uwolnionych w wyniku awarii, I Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Główne Procedury Zapobiegania Poważnym Awariom Przemysłowym i Ograniczania ich Skutków, Warszawa 13 marca 2001.

17. Borysiewicz M., Potempski S.: Szacowanie efektów oddziaływania na człowieka i środowisko niebezpiecznych substancji i energii, uwolnionych w wyniku awarii, I Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Główne Procedury Zapobiegania Poważnym Awariom Przemysłowym i Ograniczania Ich Skutków, Warszawa 13 marca 2001.

18. Centrala Produktów Naftowych „CPN" Warunki techniczne eksploatacji układów oddechowych zbiorników magazynowych, Biuro Wydawnictw „Libra" Warszawa 1975.

19. Центральный Научно-Исследовательский Институт Противопожарной Обороны ЦНИИПО. Новые способы и средства тушения пламени нефтепродуктов. сборник статей. гостоптехиздат. Москва. 1960.

20. Cote A. E., Linville J. L.: Industrial Fire Hazards Handbook, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

21. Dutta P., Sivathanu Y. R., Gore J. P.: An investigation of oil and gas well fires and flares, School of Mechanical Engineering Purdue University West Lafayette, USA 1994.

22. Floating roof tank risks, Fire Prevention 305, December 1997.

23. Герасимов П. Н.: Тушение резервуаров подслойным методом, международная практическая конференция, Проектирование, строительство и ремонт резервуаров для нефти и нефтепродуктов, Алматы, 3-4 октября 2001.

24. Ginda G., Skowroński W.: Odkształcalność stali w podwyższonej temperaturze, XLII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica 1996.
25. GOST R 51858-2002, Ropa naftowa. Ogólne warunki techniczne.
26. Grantt H.: The Dark Side of Growth and Industrial Disasters Since the Second World War, Journal of Applied Fire Science, New York 1998.
27. Grosset R., Majka A., Zalewski B., Kubicki W.: Wymagania dotyczące planów operacyjno-ratowniczych z punktu widzenia Państwowej Straży Pożarnej, I Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Główne procedury zapobiegania poważnym awariom przemysłowym i ograniczania ich skutków, Warszawa 13 marca 2001.
28. Hildebrand M., Noll G.: Storage tank emergencies. Guidelines and procedures, Red Hat Publishing, Annapolis, Maryland 1997.
29. Janiak I.: Przydatność dotychczas stosowanych stali na rurociągi technologiczne i zbiorniki ciśnieniowe podlegające dyrektywie 97/23/WE, VII Konferencja Naukowo-Techniczna, Problemy Eksploatacyjne Baz Magazynowych Produktów Naftowych, Poznań 10-11 maja 2005.
30. Jędrzejczak B.: Statyka powłok obrotowych od wpływu temperatury, Praca doktorska, Politechnika Opolska, Opole 1997.
31. Kay R. T., Kirby B. R., Preston R. R.: Calculation of the Heating Rate of an Unprotected Steel Member in a Standard Fire Resistance Test, British Steel plc, UK 1996.
32. Kidde Fire Fighting, Storage Thank Protection, Product Catalog.
33. Kielawa J.: Urządzenia oddechowe niskociśnieniowych zbiorników na produkty naftowe, Konferencja, Problemy Eksploatacyjne Baz Magazynowych Produktów Naftowych, Poznań 11-12 maja 1999.
34. Komenda Główna Straży Pożarnych, Pożar Rafinerii Nafty w Czechowicach-Dziedzicach pow. Bielski-Biała, woj. katowickie, Warszawa, grudzień 1971.
35. Komenda Wojewódzka Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie, Przebieg akcji ratowniczo-gaśniczej. Pożar zbiornika nr T 46 z ropą naftową w Rafinerii Trzebinia S.A. w dniu 5 maja 2002 r., Kraków 2002.
36. Kosiorek M.: Charakterystyki mechaniczne stali budowlanych w podwyższonych temperaturach, Prace ITB nr 2/50, Warszawa 1984.

37. Kosiorek M., Pogorzelski J. A., Laskowska Z., Pilich K.: Odporność ogniowa konstrukcji budowlanych, Arkady, Warszawa 1988.
38. Kosiorek M.: Wytyczne projektowania konstrukcji stalowych z uwagi na odporność ogniową, Ministerstwo Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa, Instrukcja 291, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1990.
39. Kret J.: Warunki zagospodarowania terenu bazy paliw. Problemy przy projektowaniu wynikające z wymogów przepisów, Zarząd Główny oraz Zarząd Oddziału w Częstochowie Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa, Konferencja – Bezpieczeństwo Pożarowe Baz i Stacji Paliw, Częstochowa 22-23 październik 1998.
40. Król-Bogucki J.: Ropa naftowa – skład, wydobycie, przeróbka i znaczenie, Technologia chemiczna, Interaktywny Podręcznik Internetowy.
41. Куприн Г. Н.: Новое в технике пожаротушения, международная практическая конференция, Проектирование, строительство и ремонт резервуаров для нефти и нефтепродуктов, Алматы, 3-4 октября 2001.
42. Lasota W.: Urządzenia gaśnicze zbiorników w bazach paliw płynnych, Przegląd Pożarniczy Nr 6/1998
43. Lasota W.: Zabezpieczenie przeciwpożarowe baz paliw płynnych, Przegląd Pożarniczy Nr 2/1998.
44. Lasota W.: Zabezpieczenie przeciwpożarowe baz magazynowych produktów naftowych, Konferencja Naukowo-Techniczna, Problemy Eksploatacyjne Baz Magazynowych Produktów Naftowych, Poznań 11 – 12 maja 1999.
45. Lutze-Birk A.: Bezpieczeństwo w bazach paliw ropopochodnych, Konferencja Naukowo-Techniczna, Problemy Eksploatacyjne Baz Magazynowych Produktów Naftowych, Poznań 15-16 maja 2002.
46. Лузин С. В.: Защита резервуарных парков мобильной быстро развертывемой техникой пожаротушения, Международная практическая конференция, Проектирование, строительство и ремонт резервуаров для нефти и нефтепродуктов, Алматы, 3-4 октября 2001.
47. Maślak M., Siudut J.: Zagrożenie pożarem stalowych podziemnych zbiorników paliwowych o osi poziomej, VII Konferencja Naukowo-Techniczna, Problemy Eksploatacyjne Baz Magazynowych Produktów Naftowych, Poznań 10-11 maja 2005.
48. McGratton K. B., Baum H. R., Rehm R. G., Hamins A., Forney G. P.: Fire Dynamics Simulator – Technical Reference Guide, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA 2000.

49. Меркулов И. А.: Экономическая целесообразность применения фторсинтетических пленкообразующих пенообразователей, Международная практическая конференция, Проектирование, строительство и ремонт резервуаров для нефти и нефтепродуктов, Алматы, 3-4 октября 2001.
50. Michalik J. S.: Procedury przeciwdziałania poważnym awariom przemysłowym – regulacje Unii Europejskiej i nowe przepisy krajowe, I Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Główne Procedury Zapobiegania Poważnym Awariom Przemysłowym i Ograniczania Ich Skutków, Warszawa 13 marca 2001.
51. Międzynarodowe Stowarzyszenie Konstrukcji Powłokowych I Przestrzennych. Grupa Robocza Nr 1: Rurociągi i zbiorniki, Materiały pokonferencyjne, Przeglądy techniczne i remonty zbiorników magazynowych, Gdańsk 1994.
52. Milczarek A., Borysiewicz M.: Zasady sporządzania oraz wzorce planów operacyjno-ratowniczych przygotowywanych przez zakłady przemysłowe, I Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Główne Procedury Zapobiegania Poważnym Awariom Przemysłowym i Ograniczania Ich Skutków, Warszawa 13 marca 2001.
53. Mojzesowicz G., Ziółko J., Supernak E.: Skuteczność różnych typów uszczelnień dachów pływających zbiorników na ropę naftową, Konferencja, Problemy Eksploatacyjne Baz Magazynowych Produktów Naftowych, Poznań 11-12 maja 1999.
54. *MSC* Nastran for Windows, version 2002, MSC Software Corporation, Los Angeles US.
55. Norma API 650 Departament Rafinacji, Stalowe zbiorniki spawane na paliwa płynne, Wydanie ósme listopad 1988, Zatwierdzone przez American National Standards Institute.
56. Person H., Lönnermark.: Tank Fires, Review of fire incidents 1951 – 2003, SP Swedish National Testing and Research Institute, 2004.
57. Pietrow I. I.: Metodyka badania procesów palenia się paliw płynnych w zbiornikach oraz sposoby ich gaszenia, Inform. Sbornik 1966.
58. Planas-Cuchi E., Casal J.: Flame temperature distribution in a pool-fire, Department of Chemical Engineering, Universitat Politechnica de Catalunya – Institut, Barcelona Spain 1998.
59. PN-80/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
60. PN-B-03210 Konstrukcje stalowe, Zbiorniki walcowe pionowe na ciecze, Projektowanie i wykonanie, PKN październik 1997.

61. Podgórski M.: Bezpieczeństwo pożarowe istniejących baz ropy naftowej i produktów naftowych i stacji paliw płynnych, Zarząd Główny oraz Zarząd Oddziału w Częstochowie Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa, Konferencja – Bezpieczeństwo Pożarowe Baz i Stacji Paliw, Częstochowa 22-23 październik 1998.
62. Podgórski M.: Bezpieczeństwo pożarowe zbiorników ze stalowymi ścianami osłonowymi – Próba odpowiedzi, Zarząd Główny oraz Zarząd Oddziału w Częstochowie Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa, Konferencja – Bezpieczeństwo Pożarowe Baz i Stacji Paliw, Częstochowa 22-23 październik 1998.
63. Refining Safety Procedures, Fire Prevention 305, December 1997.
64. Ris J., Indason H.: Flame Heat Transfer in Storage Geometries, Fire Safety Journal – Edynburg 1998.
65. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 listopada 2005 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy i stacje paliw płynnych, rurociągi przesyłowe dalekosiężne służące do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie. Dziennik Ustaw z 2005 r. Nr 243 poz. 2063.
66. Seeger P. G.: On the combustion and heat transfer in fires of liquid fuels in tanks, Research Conducted at the Research Institute for Fire Prevention Techniques at the University of Karlsruhe.
67. Skaźnik M.: Zagrożenie wybuchem urządzeń i instalacji baz produktów naftowych, oraz stacji paliw płynnych, Zarząd Główny oraz Zarząd Oddziału w Częstochowie Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa, Konferencja – Bezpieczeństwo Pożarowe Baz i Stacji Paliw, Częstochowa 22-23 październik 1998.
68. Skibiński A.: Urządzenia elektryczne w stacjach i bazach paliw płynnych, Zarząd Główny oraz Zarząd Oddziału w Częstochowie Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa, Konferencja – Bezpieczeństwo Pożarowe Baz i Stacji Paliw, Częstochowa 22-23 październik 1998.
69. Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Badania zagrożenia i zabezpieczenia pól zbiorników z ropą naftową w PERN „Przyjaźń" S.A. i na podstawie wyników badań opracowanie instrukcji postępowania przy gaszeniu zbiorników z dachami pływającymi o pojemności od 12 000 m^3 do 50 000 m^3 przeznaczonych do magazynowania ropy naftowej w PERN „Przyjaźń" S.A. Warszawa 2000.
70. Świetnicki J.: Urządzenia gaśnicze dla baz paliw płynnych oraz nowe zasady certyfikacji w ochronie przeciwpożarowej, Zarząd Główny oraz Zarząd Oddziału

w Częstochowie Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa, Konferencja – Bezpieczeństwo Pożarowe Baz i Stacji Paliw, Częstochowa 22-23 październik 1998.

71. TRbF Technische Regelen für brennbare Flüssigkeiten, Taschenbuch-Ausgabe, 1996, Carl Heymanns Verlag KG, Köln, 1996.
72. Williams Fire & Hazard Control. INC, Storage Thank Protection, Product Catalog.
73. Woronko A.: Analiza czterech wariantów konstrukcji zbiornika magazynowego V = 50 000 m^3 , VII Konferencja Naukowo-Techniczna, Problemy Eksploatacyjne Baz Magazynowych Produktów Naftowych, Poznań 10-11 maja 2005.
74. Wytyczne projektowania zabezpieczeń ogniochronnych konstrukcji stalowych. Centralny Ośrodek Badawczo-Projektowy Konstrukcji Metalowych „Mostostal" Warszawa 1978.
75. Ziółko J.: Imperfekcje stalowych zbiorników walcowych , przyczyny ich powstawania, metody ograniczania, Inżynieria i Budownictwo nr 11/1999.
76. Ziółko J., Supernak E., Mikulski T.: Analiza stateczności wewnętrznej powłoki walcowego pionowego zbiornika dwupłaszczowego w warunkach próby wodnej, Konferencja Naukowo-Techniczna, Problemy Eksploatacyjne Baz Magazynowych Produktów Naftowych, Poznań 15-16 maja 2002.
77. Ziółko J., Supernak E.: Zbiorniki dwupłaszczowe na media gorące, VII Konferencja Naukowo-Techniczna, Problemy Eksploatacyjne Baz Magazynowych Produktów Naftowych, Poznań 10-11 maja 2005.
78. Ziółko J.: Utrzymanie i modernizacja konstrukcji stalowych, Arkady, Warszawa 1991.
79. [79] Ziółko J.: Zbiorniki metalowe na ciecze i gazy, Arkady, Warszawa 1986.
80. Żurek J., Borysiewicz M.: Zintegrowane oceny ryzyka i zarządzania bezpieczeństwem w obszarach przemysłowych, I Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Główne Procedury Zapobiegania Poważnym Awariom Przemysłowym i Ograniczania Ich Skutków, Warszawa 13 marca 2001.