

NIESTANDARDOWE ZAGROŻENIA W EKSPLOATACJI INSTALACJI GAZOWYCH

dr inż. Jacek GAJ, dr inż. Marian SOBIECH
Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

Streszczenie

W referacie przedstawione zostały zagadnienia związane z bezpieczeństwem eksploatacji systemów gazowych z omówieniem przykładu zdarzenia krytycznego – wybuchu gazu, skutkującego katastrofą budowlaną.

Abstract

In this paper there are presented issues related to safety operation of gas systems with an overview of critical event example – gas explosion, which caused building disaster.

The article presents the historical process of formation of quality problems in the technology.

1. Systemy gazowe na potrzeby ludności

Bezpieczeństwo eksploatacji systemów gazowych w obiektach użytkowych jest wbrew pozorom zagadnieniem skomplikowanym, a przy tym niezmiernie odpowiedzialnym.

Obecnie osiągnięta, wysoka jakość techniczno-funkcyjna oraz energetyczna systemów gazowych, a zwłaszcza w dziedzinie grzewczej, istotnie rzutuje na jakość egzystencji współczesnych ludzi. Jednak stopień skomplikowania tych systemów, a szczególnie potrzeba bezpiecznej eksploatacji, stawia bardzo wysokie wymagania nie tylko odnośnie do prawidłowej ich eksploatacji, ale przede wszystkim wobec prawidłowej i przemyślanej ich konstrukcji.

Przeznaczenie i cele istnienia współczesnych systemów gazowych są oczywiste:

- a) gazowe systemy grzewcze mają za zadanie: uzyskiwanie czynnika grzewczego (wody grzejnej) służącego do celów ogrzewania obiektów budowlanych,
- b) gazowe urządzenia do podgrzewania ciepłej wody użytkowej mają za zadanie uzyskiwanie ciepłej wody użytkowej dla potrzeb bytowych ludzi lub do celów technologicznych,
- c) systemy gazowe służą potrzebom technologicznym w przemyśle chemicznym, energetyce, transporcie itp. zastosowaniach szeroko pojętych potrzeb człowieka.

Uwarunkowania te wymagają szczególnie przemyślanego postępowania, zwłaszcza na początkowym etapie ich powstawania, tzn. już w fazie projektowania rozwiązań technicznych. Również na podstawie cech charakterystycznych urządzeń oraz paliw gazowych można zidentyfikować zagrożenia, które mogą być dla nich niebezpieczne i którym powinny one sprostać, w celu niezakłóconego, a przede wszystkim bezpiecznego funkcjonowania.

Wynikająca stąd potrzeba bezpieczeństwa użytkownika wymusza specyficzne postępowanie już przy projektowaniu czy budowie, ale także w trakcie eksploatacji systemów gazowych, z uwagi na ich znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa człowieka.

2. Bezpieczeństwo funkcjonowania systemów gazowych

Przykładem dobrze ilustrującym sytuacje awaryjne występujące podczas eksploatacji instalacji gazowych jest przypadek wybuchu gazu, który miał miejsce w dniu 31.05.2011 r. w Kazimierzu Dolnym (woj. lubelskie), doprowadzając do katastrofy budowlanej.

Eksplozja gazu w zapleczu kuchennym w przyziemiu budynku Gminnego Zespołu Szkół w Kazimierzu Dolnym, w wyniku którego zawaleniu uległa część budynku tejże placówki, spowodowana była awarią instalacji gazowej, do której doszło na skutek rozszczelnienia instalacji, a następnie zainicjowania wybuchu uwolnionego gazu.

Zgromadzony, bardzo obszerny materiał postępowania prokuratorskiego (8 tomów, 1558 stron) pozwolił na wyciągnięcie wniosków odnośnie ustalenia prawdopodobnych przyczyn zdarzenia, co prowadziło do interesujących spostrzeżeń.

Skutkiem tego wybuchu było zawalenie połowy skrzydła budynku, następnie rozbiórka pozostałej części tego skrzydła i perspektywa wyburzenia całego obiektu, jak również kosztowne i uciążliwe korzystanie z kontenerów, tymczasowo wykorzystywanych na potrzeby edukacyjne, a w perspektywie: konieczność wzniesienia nowego obiektu – inwestycja przerastająca możliwości finansowe samorządu.

Jak widać z przytoczonych wyżej powodów, proste zdawałoby się systemy gazowe, odgrywają ogromną rolę w funkcjonowaniu społecznym, ale także są istotnym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo życia i zdrowia.

Wrażliwość funkcjonowania systemów gazowych obejmuje:

- uszkodzenia mechaniczne sieci gazowych (powstałe wskutek np. nieskutecznego zabezpieczenia przed intensywnym ruchem komunikacyjnym, ale także na skutek prowadzenia nieprzemysłanych robót ziemnych; osunięcia gruntu na skutek ulew i powodzi);
- utrata szczelności sieci i instalacji gazowych skutkująca ulotem gazu, który zagraża bezpieczeństwu nawet na

stosunkowo dużej odległości od miejsca rozszczelnienia;

- awarie sieci i instalacji gazowych powstałe na skutek błędów eksploatacyjnych, niewłaściwie prowadzonych prac remontowych i awarii technicznych, ale także działań terrorystycznych.

3. Istniejące rozwiązanie konstrukcyjne

Przytoczony przykład awarii i katastrofy budowlanej w Kazimierzu Dolnym posłużył tu do przedstawienia stanu przed wybuchem oraz wniosków wynikających z tego zdarzenia.

3.1. Przyłącze gazu

Konstrukcja zastosowanych rozwiązań technicznych była tradycyjna:

Gazociąg średniego ciśnienia ułożony w ulicy wykonany był z przewodu stalowego o średnicy \varnothing 100 mm. Przyłącze gazowe po stronie średniego ciśnienia wykonano z przewodu stalowego o średnicy \varnothing 32 mm i długości ok. 10 m do punktu redukcyjno-pomiarowego umieszczonego w skrzynce zabudowanej w ogrodzeniu i dostępnego od strony dziedzińca szkoły, a doziemny odcinek przyłącza gazowego niskiego ciśnienia, od punktu redukcyjno-pomiarowego do budynku, wykonano z przewodu stalowego o średnicy \varnothing 80 mm i długości ok. 5 m, z kurkiem głównym wyprowadzonym nad powierzchnię terenu w skrzynce gazowej umieszczonej na elewacji południowej wschodniego skrzydła budynku szkoły. Kurek odcinający zainstalowany w skrzynce gazowej na ścianie budynku stanowił dodatkowo punkt odcinający dopływ gazu, poza zaworem odcinającym w punkcie redukcyjno-pomiarowym umieszczonym w ogrodzeniu szkoły.

Dalej stalowy, główny przewód zasilający o średnicy \varnothing 80 mm poprowadzono pod sufitem pomieszczeń parteru tego skrzydła budynku w kierunku kotłowni wbudowanej i zaplecza kuchennego. W korytarzu na wysokości kuchni wykonano odejście przewodu gazowego o średnicy \varnothing 32 mm (wspawane w przewód główny) do zasilania kuchennych urządzeń gazowych.

3.2. Wyposażenie w urządzenia gazowe

Przewody gazowe podlegały próbie szczelności na ciśnienie (maksymalne dopuszczalne ciśnienie pracy) o wartości 50,0 kPa, a przybory gazowe podlegały próbie szczelności na ciśnienie o wartości 0,6 kPa.

Urządzenia gazowe i armatura zespołu redukcyjno-pomiarowego obejmowało: reduktor średniego ciśnienia; zawór szybkozamykający z filtrem gazu; zawór bezpieczeństwa; manometr tarczowy o zakresie pomiarowym: 0÷6,0 kPa; gazomierz miechowy; rejestrator impulsów z iskrobezpiecznym nadajnikiem impulsów; kurki gazowe kulowe.

W chwili wybuchu funkcjonującymi urządzeniami gazowymi były wszystkie powyżej wymienione, przy czym

– jak wykazały późniejsze badania – zawór szybkozamykający wykazał wadę – nie zamknął się, jednak wada ta nie miała wpływu na przebieg zdarzeń.

Na podstawie późniejszych badań można było stwierdzić, że urządzenia te (poza zaworem szybkozamykającym) były sprawne, bez śladów ingerencji osób postronnych, oraz że nie było możliwości przepływu gazu o wartości średniego ciśnienia do instalacji o niskim ciśnieniu. Gazomierz wykazał nadmierne odchyłki od poprawnych wskazań pomiaru zużycia gazu, a zawór szybkozamykający był wadliwy i nie zadziałał na ciśnienie próbne. Nieprawidłowości te nie miały wpływu na zaistniałe zdarzenie.

Projekt instalacji gazu przewidywał wykonanie w pomieszczeniu kuchni instalacji gazowej składającej się z przewodów stalowych czarnych bez szwu łączonych przez spawanie (z wyjątkiem podejść pod urządzenia gazowe, które miały być wykonane za pomocą połączeń gwintowanych). Przewód zasilający urządzenia gazowe w pomieszczeniu kuchni był wykonany z rury o średnicy \varnothing 32 mm, natomiast podejście do kuchni gazowej z przewodu o średnicy \varnothing 25 mm, a podejścia pod dwa taborety gazowe z przewodów o średnicach \varnothing 20 mm.

Urządzenia gazowe zainstalowane w pomieszczeniu kuchni: kuchnia gazowa 4-palnikowa z piekarnikiem gazowym; taboret podgrzewczy gazowy, tzw. „nowy”; taboret podgrzewczy gazowy tzw. „stary”.

Można przyjąć, że w chwili wybuchu w pomieszczeniu kuchni najprawdopodobniej nie funkcjonowało żadne urządzenie gazowe. Przy czym nie można jednoznacznie wykluczyć ani potwierdzić utrzymywania płomieni „dyżurnych” (tzw. „świeczek”) na palnikach zapalających w 2 przyborach, które posiadały takie palniki.

Urządzenia gazowe zainstalowane w kotłowni wbudowanej – dwa kotły gazowe, które służyły do wytwarzania ciepła na potrzeby grzewcze. W chwili wybuchu funkcjonującymi urządzeniami gazowymi w kotłowni był jeden kocioł gazowy, służący do podgrzewania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) zgromadzonej w 2 zasobnikach zlokalizowanych w pomieszczeniu kotłowni.

Nominalne zużycie gazu przez poszczególne urządzenia gazowe wynosiło:

- a) kuchnia gazowa 4-palnikowa z piekarnikiem: 2,75 m³/h,
- b) oba gazowe taborety podgrzewcze: po ok.1,00 m³/h każdy,
- c) oba kotły gazowe: po ok.33,00 m³/h każdy.

W związku z zakończeniem sezonu grzewczego żaden z dwóch zainstalowanych w kotłowni kotłów gazowych nie funkcjonował na potrzeby centralnego ogrzewania (c.o.) – w kotłowni wytwarzane było tylko ciepło na potrzeby c.w.u.

3.3. Wyposażenie w urządzenia elektryczne

Zainstalowane w pomieszczeniach zaplecza kuchennego urządzenia elektryczne nie miały wpływu na awarię (rozszczelnienie) instalacji gazowej, ale były prawdopodobnie przyczyną zainicjowania impulsu, który spowodował wy-

buch gazu. Były to: oprawy świetlówkowe hermetyczne; oprawy żarówkowe porcelanowe; patelnia elektryczna; zespół zapalacza elektrycznego kuchni gazowej; układ zapalacza elektrycznego „nowszej” taboretu gazowego; zmywarka naczyń; lodówka; obieraczka ziemniaków; lampa UV; lodówki; zamrażarka; pralka automatyczna; centrala wentylacyjna nawiewna (silnik elektryczny wentylatora, nagrzewnica elektryczna, silnik pompy zasilającej w czynnik grzewczy + automatyka); drobne urządzenia elektryczne – m.in. kuchenka mikrofalowa.

W chwili wybuchu funkcjonującymi urządzeniami elektrycznymi mogły być: lodówki i zamrażarka (których uruchomienie następowało poprzez włącznik termostatyczny) oraz lampa UV i ewentualnie oświetlenie, o ile zostały załączone ręcznie, automatycznie albo zdalnie (manualne załączenie oświetlenia w pomieszczeniu kuchni – wykluczono, układu automatycznego lub zdalnego – nie było). Grzewcze elektryczne urządzenia kuchenne były najprawdopodobniej przyłączone do instalacji elektrycznej, ale wyłączone z pracy.

3.4. Wyposażenie w urządzenia wentylacyjne

Pomieszczenia zaplecza kuchennego były wyposażone w mурowany przewód wentylacji grawitacyjnej (o przekroju poprzecznym 14x14 cm i wysokości ok. 7 m, który mógł mieć wydajność ok. 20 m³/h), oraz dwa układy wentylacji mechanicznej: nawiewny o wydajności 2500 m³/h oraz wyciągowy o wydajności 2850 m³/h.

4. Wybuch gazu

4.1. Warunki konieczne do zaistnienia wybuchu gazu

Do wybuchu mieszanki paliwowo-powietrznej utworzonej z gazu uwolnionego z instalacji gazowej do zamkniętej kubatury pomieszczeń zaplecza kuchennego musiały zaistnieć jednocześnie wszystkie trzy niezbędne przesłanki:

- musiała występować mieszanka paliwowo-powietrzna (paliwo gazowe: gaz ziemny, wymieszane z utleniaczem: tlenem zawartym w powietrzu atmosferycznym),
- stężenie paliwa gazowego w mieszanke paliwowo-powietrznej musiało się zawierać w przedziale granicy wybuchowości gazu ziemnego, tj. w zakresie od 4,8% do 13,5%,
- musiała zaistnieć energia inicjująca wybuch o wartości przewyższającej minimalną energię zapłonu.

Możliwe przyczyny rozszczelnienia instalacji gazowej:

- Ruch skarpy gruntowej, na której jest posadowiony budynek.
- Korozja stalowych przewodów, armatury i/lub urządzeń.
- Urwanie gwintu połączenia skręcane go przewodu.
- Prowadzone uprzednio prace remontowe instalacji gazowej.
- Inne przyczyny.

Na podstawie zgromadzonego materiału dowodowego trudno jednoznacznie wykluczyć lub potwierdzić którąś z w/w przyczyn rozszczelnienia instalacji gazowej.

Przedostawanie się gazu palnego z innych źródeł np. z kanalizacji sanitarnej albo z ciągów ciepłowniczych lub innych kanałów technologicznych do pomieszczeń zaplecza kuchennego – jako prawdopodobnego miejsca wybuchu, należało raczej wykluczyć.

Wykluczyć należało również działanie terrorystyczne, które mogłoby spowodować wybuch gazu z uwagi na czas wybuchu i prawdopodobnie zamierzone inne niż zaistniałe skutki wybuchu (inne niż tylko zniszczenie zabytkowego budynku szkoły).

Niedostateczna nośność gruntu (powodująca osiadanie budynku) raczej nie miała wpływu na rozszczelnienie instalacji gazowej w kuchni (a w tym pomieszczeniu najpewniej doszło do uwolnienia gazu z instalacji), gdyż główny przewód gazowy był wykonany z odcinków stalowych łączonych metodą spawania, odgałęzienie przewodu gazowego poprowadzone do kuchni było wspawane do przewodu głównego i dopiero podejścia pod urządzenia gazowe były łączone metodą skręcania. Jakikolwiek wcześniejsze przemieszczenie części budynku względem podłoża gruntowego, które skutkowałoby np. pękaniem ścian, nie mogło pozostać nie zauważone, a ponadto sposób mocowania przewodów nie spowodowałoby powstania naprężeń niszczących spoiny. Zastosowana do łączenia przewodów gazowych technologia spawania oraz mocowanie przewodów do konstrukcji budynku na podporach przesuwnych powinny zapewnić zachowanie szczelności instalacji gazowej przy tak małych, ewentualnych przemieszczeniach.

Nieszczelność instalacji gazowej, skutkująca ulatnianiem się (wypływem) gazu mogła powstać w: urządzeniach gazowych, w przewodach gazowych, a zwłaszcza w miejscach ich połączeń (spawanych lub skręcanych – zgodnie z przepisami, istnieje wymóg, aby nie prowadzić przewodów gazowych przez pomieszczenia mieszkalne¹, a zwłaszcza przewodów łączonych z zastosowaniem połączeń gwintowanych²). Nieszczelność korozyjna mogła być spowodowana śladowymi ilościami siarkowodoru zawartego w gazie ziemnym, który w połączeniu z wodą działa korozyjnie na stalowe przewody instalacji gazowej, armaturę urządzeń gazowych i połączenia gwintowane – jednak może to dotyczyć starych, wyeksploatowanych instalacji gazowych.

Gaz ziemny jest szczególnie niebezpieczny, gdy jego stężenie w powietrzu atmosferycznym osiągnie wartość z zakresu 4,8÷13,5%, tworząc wtedy mieszaninę wybuchową. Do zapłonu wystarczy wtedy niewielka iskra o minimalnej energii zapłonu mniejszej niż 1 mJ – co odpowiada np. włączeniu światła w oprawie oświetleniowej czy latarki albo uruchomienie urządzenia elektrycznego (np. lodówki) przez termostat niezabezpieczony iskrowo od atmosfery

¹ § 164 ust. 1 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

² § 164 ust. 2 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

wewnętrznej pomieszczenia. Do wybuchu mieszanki paliwowo-powietrznej nie doszłoby, gdyby stężenie paliwa gazowego w powietrzu pomieszczenia nie osiągnęło dolnej granicy wybuchowości (4,8%), albo przekroczyłyby górną granicę wybuchowości (13,5%).

Możliwe przyczyny zainicjowania wybuchu mieszanki paliwowo-powietrznej:

1. Pozostawienie bez nadzoru płomienia zapalającego/dyżurnego, (tzw. „świeczki”) w piekarniku kuchni gazowej lub w „starym” taborecie gazowym.
2. Załączenie: oświetlenia lub elektrycznych urządzeń kuchennych (lodówka, zamrażarka).
3. Przegrzewanie się połączeń elektrycznych w elektrycznych puszkach wtynkowych.
4. Niekontrolowane iskrzenie urządzeń elektrycznych przyłączonych do instalacji elektrycznej, ale wyłączonych z pracy.
5. Prądy błędzące przenoszone ze stalowych przewodów gazowych.
6. Inne przyczyny.

Przedmiotowa instalacja gazowa najprawdopodobniej nie była wyposażona we wstawkę izolacyjną, która jest wymagana prawem³.

Na podstawie zgromadzonego materiału dowodowego trudno było jednoznacznie wykluczyć lub potwierdzić którąś z w/w przyczyn zainicjowania wybuchu gazu. Raczej należało wykluczyć załączenie oświetlenia (włączniki światła były wewnątrz pomieszczeń kuchennych) – gdyż sprawca tego zostałby znaleziony pod gruzami zawalonego budynku. Nie można było wykluczyć ani potwierdzić pozostawienia płomienia zapalającego w piekarniku kuchni gazowej lub „starym” taborecie gazowym (gdyż tak minimalne zużycie gazu mogło nie zostać zarejestrowane przez układ pomiarowy). Mało prawdopodobnymi byłyby przegrzewanie się połączeń kabli w instalacji elektrycznej lub iskrzenie tej instalacji (brak poboru prądu przez wyłączone z pracy urządzenia). Za równie mało prawdopodobne, choć nie wykluczone, można uznać prądy błędzące, które mogły być przenoszone po stalowych przewodach gazowych z sieci gazowej przy braku wstawki izolacyjnej.

Najbardziej prawdopodobną przyczyną wytworzenia iskry mogło być załączenie pracy któregoś z urządzeń chłodniczych.

4.2. Przebieg zdarzenia

4.2.1. Rozszczelnienie instalacji gazowej

Założeniem wstępnym do analizy przyczyn zainicjowania wybuchu był brak bezpośredniego udziału osób w miejscu zdarzenia, co potwierdza brak ofiar śmiertelnych w miejscu zagruzowania części wschodniego skrzydła budynku.

Uznając za prawdziwe i wiarygodne zeznania personelu kuchennego o wyłączeniu wszystkich odbiorników gazu

oraz prawdopodobny brak obecności osób postronnych w pomieszczeniach zaplecza kuchennego po zakończeniu pracy kuchni w dniu 30.05.2011 r. skłaniało do wniosku o samoistnym zajściu przesłanek do wybuchu (rozszczelnienie instalacji, wypływ gazu, powstanie mieszanki paliwowo-powietrznej i iskry inicjującej wybuch) – bez bezpośredniego udziału sprawczego czynnika ludzkiego.

Zgodnie z ustaleniami, po zakończeniu pracy kuchni w dniu 30.05.2011 r. ok. godz. 15:00 nie zostało pozostawione w kuchni jako działające żadne urządzenie gazowe.

4.2.2. Napelnianie kubatury wybuchu uwolnionym gazem

Gaz uwolniony prawdopodobnie w pomieszczeniu kuchni rozprzestrzenił się samoistnie do kubatury, do której miał swobodny dostęp.

Uwolnienie gazu, które nastąpiło prawdopodobnie przy urządzeniach gazowych w kuchni, spowodowało w pierwszej kolejności napelnienie gazem kubatury kuchni, a następnie były wypełniane gazem pomieszczenia przyległe, do których były drożne otwory wewnętrzne (drzwi i okna wewnętrzne). Jednocześnie gaz (wraz z powietrzem) był usuwany poza pomieszczenie kuchni przewodami wentylacyjnymi: wentylacji grawitacyjnej (kanał wywiewny) i częściowo przewodami wentylacji mechanicznej (kanałem nawiewnym i kanałem wywiewnym).

Nie znaleziono informacji na temat zamknięcia lub otwarcia drzwi wewnętrznych, która pozwoliłaby na stwierdzenie o swobodnym napelnieniu gazem wszystkich pomieszczeń zaplecza kuchennego. Ograniczony obszar zawalenia w obrębie jadalni pozwala przypuszczać, że okienka podawcze z kuchni i zmywalni do jadalni nie były wystarczająco drożne dla uwolnionego gazu, co ograniczyło kubaturę wybuchu. Natomiast nieznany jest stan zamknięcia/otwarcia pozostałych drzwi wewnętrznych w obszarze pomieszczeń zaplecza kuchennego.

4.2.3. Działanie wentylacji

Istnienie układów wentylacji grawitacyjnej oraz kanałów wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z całą pewnością miało wpływ na rozwój zjawisk zachodzących przed wybuchem. Przewód wentylacji grawitacyjnej, jak również blaszane kanały dwóch układów wentylacji mechanicznej: nawiewnej i wywiewnej, raczej na pewno umożliwiły wydostanie się części uwolnionego z instalacji paliwa gazowego poza budynek przed wybuchem.

Z uwagi na nieznane parametry ciśnienia i temperatury powietrza atmosferycznego w godzinach poprzedzających wybuch, a szczególnie z uwagi na nieznane parametry powietrza w pomieszczeniach zaplecza kuchennego – trudno było precyzyjnie określić ilość usuniętego powietrza (i paliwa gazowego) poza kubaturę pomieszczeń zaplecza kuchennego poprzez przewody wentylacyjne. Jednak z całą pewnością trzeba przyjąć, że zjawisko usuwania powietrza, a potem mieszanki paliwowo-powietrznej, miało miejsce w rzeczywistości w godzinach poprzedzających wybuch.

³ § 158 ust. 7 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Można przyjąć, że kanały wentylacyjne (głównie grawitacyjny, ale także oba kanały wentylacji mechanicznej) usuwały z kuchni do czasu wybuchu powietrze wentylacyjne z wydajnością szacowaną na około 20 m³/h. W miarę przyrostu ilości gazu ziemnego w pomieszczeniu kuchni (który jako lżejszy od powietrza zbierał się w górnej części pomieszczenia kuchni i był usuwany w pierwszej kolejności) prawdopodobnie rósł udział gazu w usuwanej mieszance paliwowo-powietrznej, osiągając udział nawet ok.85%.

W przedstawionym mechanizmie uwalniania gazu i działania wentylacji szacuje się w przybliżeniu, że w kubaturze pomieszczeń zaplecza kuchennego mogło pozostać ok. 34 m³ gazu z ok. 100 m³ uwolnionego gazu ziemnego, co odpowiadało zakresowi granicy wybuchowości gazu ziemnego dla kubatury wybuchu (13,2÷37,2 m³ gazu ziemnego pozostającego w kubaturze ok.275 m³) oraz przy nieznanym uwarstwieniu stężenia gazu w przekroju pionowym w pomieszczeniach kubatury wybuchu.

4.2.4. Zainicjowanie wybuchu mieszanki palnej

Wszystkie elektryczne urządzenia grzejne oraz wentylacja mechaniczna, które były zainstalowane w kuchni, zostały wyłączone przez personel kuchenny przed opuszczeniem pomieszczeń zaplecza kuchennego po zakończeniu pracy w dniu poprzednim. Przyłączone do instalacji elektrycznej i włączone w trybie pracy mogły być: 3 lodówki, zamrażarka i lampa UV, a pozostałe urządzenia kuchenne mogły być przyłączone do instalacji elektrycznej, ale nie funkcjonowały.

Należy stwierdzić, że mieszanka paliwowo-powietrzna nie była jednorodna w całej swej objętości. Z uwagi na różnicę gęstości gazu ziemnego ($\rho_g = 0,75 \text{ kg/m}^3$) i powietrza atmosferycznego ($\rho_p = 1,29 \text{ kg/m}^3$) – w takich samych warunkach ciśnienia i temperatury – należy stwierdzić, że w górnej części pomieszczenia z uwolnionym paliwem gazowym było wyższe stężenie gazu, natomiast przy podłodze było ono niższe – zachodziło pionowe uwarstwienie stężenia gazu ziemnego. Uwzględniając, że lokalizacja termostatu załączającego pracę sprężarki w lodówce lub szafie chłodniczej (jako potencjalnych wytwórców iskry inicjującej wybuch) mogła być na wysokości ok. 0,5÷1,0 m nad poziomem podłogi oraz istniejące pionowe uwarstwienie stężenia gazu – można przyjąć, że na wysokości zainicjowania wybuchu stężenie gazu ziemnego w mieszance paliwowo-powietrznej musiało osiągnąć zakres granicy wybuchowości (4,8÷13,5%). W związku z tymi uwarunkowaniami zasadne jest stwierdzenie, że zapłon mógł nastąpić na wysokości bliższej podłogi niż sufitu.

4.2.5. Niszczenie konstrukcji budowlanej

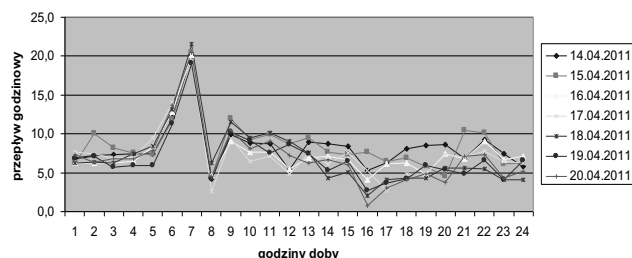
Wybuchowe spalanie paliwa gazowego wymieszane z powietrzem atmosferycznym wewnątrz kubatury pomieszczeń zaplecza kuchennego spowodowało gwałtowny wzrost ciśnienia wewnątrz pomieszczeń kubatury wybuchu. Skutkowało to uszkodzeniem konstrukcji nośnej tej

części budynku (utrata nośności) i w efekcie zawaleniem pod ciężarem wyższych kondygnacji użytkowych i dachu.

Działanie ciśnienia wybuchu zostało osłabione poprzez wyrwanie stolarki okiennej i drzwiowej, co umożliwiło ujęcie części fali uderzeniowej wybuchu przez otwory okienne i drzwiowe na zewnątrz pomieszczeń zaplecza kuchennego i na zewnątrz budynku. Wyrwanie z mocowania ram okiennych wraz z ciśnieniowym wypchnięciem szyb oraz wyrwanie/otworzenie drzwi od pomieszczeń, w których nastąpił wybuch, spowodowało „ujście/ulot” nadciśnienia gazowych produktów wybuchu.

4.3. Analiza zdarzenia

Kubatura pomieszczeń (kuchnia, zmywalnia, obieralnia, magazyn, korytarz, WC, pokój socjalny), w których nastąpił zainicjowany i rozprzestrzeniony wybuch mieszanki paliwowo-powietrznej mogła wynosić ok. 275 m³.

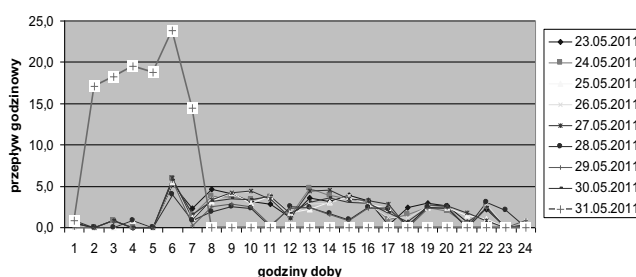


Wykres 1: Zużycie gazu w tygodniu trwania sezonu grzewczego.

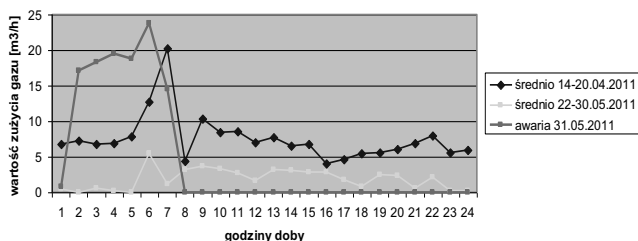
Zarejestrowany przez układ pomiarowy przepływ gazu w okresie poprzedzającym wybuch gazu (w końcówce okresu sezonu grzewczego, a to znaczy, że występowało znacznie wyższe zużycie gazu – funkcjonowały ciągle urządzenia gazowe kuchni + kotły gazowe na potrzeby c.o. i c.w.u.) pozwala określić, że zużycie gazu w tym okresie wyniosło:

- w trakcie końcówki sezonu grzewczego zużyto 152,9 m³/dobę, a średnie godzinowe zużycie gazu wyniosło ok.6,37 m³/h;
- po sezonie grzewczym średnie dobowe zużycie gazu wyniosło 47,1 m³/dobę, a średnie godzinowe zużycie gazu ok.1,96 m³/h.

Wykres 2: Przepływ gazu w tygodniu poprzedzającym zdarzenie.



Kolorem czerwonym podkreślono wielkość przepływu gazu w stanie awaryjnym.



Wykres 3: Analiza przepływu gazu przed zaistnieniem zdarzenia:

Kolorem czerwonym podkreślono wielkość przepływu gazu w dniu awarii.

Wielkości zużycia gazu w trakcie sezonu grzewczego (wykres 3: kolor niebieski) są wyraźnie wyższe niż w tygodniu poprzedzającym zdarzenie (wykres 3: kolor zielony), tj. po zakończeniu sezonu grzewczego (praca kotła/ów gazowego/ych na potrzeby c.o. powodowała średnie godzinowe zużycie gazu o wielkości 7,52 m³/h, w porównaniu do ostatniego tygodnia przed zdarzeniem, gdzie wynosiło średnio 1,89 m³/h).

Dobowa nierównomierność rozbioru gazu w trakcie przykładowo wybranego tygodnia przed zakończeniem sezonu grzewczego pozwala na stwierdzenie, że zarejestrowany przepływ gazu – średnie godzinowe wartości: 19,1÷21,5 m³/h były zbliżone do przepływu godzinowego w czasie awarii (wartości: 14,5÷23,8 m³/h).

Porównując wykresy dobowego zużycia gazu w trakcie sezonu grzewczego i po jego zakończeniu wyraźnie widać, że po sezonie grzewczym zmniejszyła się godzinowa wielkość zużywanego gazu, ale pozostała charakterystyka dobowej nierównomierności rozbioru gazu, z maksimum dobowego zużycia w godzinach porannych.

5. Wnioski wynikające ze zdarzenia

Ze zdarzenia tego można wyciągnąć następujące wnioski dotyczące konieczności stosowania specjalnych działań zapobiegawczych:

1. Zastosowania ochrony fizycznej wrażliwych obiektów punktowych (pompownie gazu, stacje redukcyjno-pomiarowe), która powinna obejmować:

- ogrodzenia utrudniające dostęp i penetrację obiektu,
- system kontroli dostępu osobowego,
- elementy monitoringu technicznego,
- rozwiązania projektowe utrudniające zniszczenie lub uszkodzenie jego elementów (np. wzmocnione drzwi, brak okien, specjalna konstrukcja dachu – np. „pływająca płyta detonacyjna”).

2. Dozorowanie obiektów liniowych, a zwłaszcza ich elementów uzbrojenia, dostępnych dla osób postronnych:

a) na co dzień:

- monitoring wizyjny,
- monitoring techniczny,
- techniczne bariery dostępowe (np. mikrofały, podczerwień, laser)

b) w razie zwiększenia zagrożenia:

- zapory inżynieryjne,
- patrolowanie obszaru.

3. Monitorowanie z wykorzystaniem środków technicznych:

- monitorowanie parametrów pracy urządzeń w celu zapobiegania awariom lub wczesne ich wykrywanie,
- monitorowanie dostępu.

Czynnikami sprzyjającymi podniesieniu stopnia bezpieczeństwa eksploatacji systemów gazowych są:

- bezpieczna konstrukcja urządzeń i przemyślane rozwiązania techniczne w celu bezpiecznego użytkowania systemów gazowych,
- stosowanie wysokiej jakości materiałów do budowy sieci i instalacji gazowych,
- stosowanie urządzeń do ciągłego monitoringu: zużycia gazu, podnoszącego bezpieczeństwo użytkownika (urządzenia służące do wykrywania gazu uwolnionego do atmosfery, zwłaszcza do wnętrza obiektów budowlanych oraz automatycznie reagujące na zaistnienie stanu awaryjnego).

6. Podsumowanie

Systemy gazowe, jak każde urządzenia techniczne, narażone są na działanie zewnętrznych czynników negatywnie oddziałujących na ich funkcjonowanie, przy czym skutki awarii mogą mieć daleko idące negatywne następstwa.

Wybór właściwego (tzn. często kosztownego) lub optymalnego rozwiązania technicznego ma za zadanie uodpornienie całego systemu na skutki nieprzewidzianych awarii.

Stopień niezawodności funkcjonowania urządzeń gazowych powinno się utrzymywać na optymalnie wysokim poziomie.

Skutki awarii systemów gazowych, jak można zaobserwować na przykładach z ostatniego czasu, mogą być wyjątkowo tragiczne i ...kosztowne.

Literatura

Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. *Prawo budowlane* (t.j. Dz. U. z 2010 r., nr 243, poz. 1623 z późn. zm.).

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75, poz. 690 z późn. zm.).

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26.04.2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie (Dz. U. z 04.06.2013 r. poz. 640)

Konrad Bąkowski: „Gazyfikacja. Gazociągi, stacje redukcyjne, instalacje i urządzenia gazowe”. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.

Baryłka A., Okresowe kontrole instalacji gazowych istotnym elementem inżynierii bezpieczeństwa budynku, Referat na XXVII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Inżynieria Bezpieczeństwa – Ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń, „Ekomilitaris 2013” Zakopane, 2013

Jacek Gaj: *Opinia techniczna* z dnia 05.12.2013 r. dla Prokuratury Rejonowej w Puławach.