

---

st. kpt. mgr inż. Tomasz Wiśniewski  
Wykładowca w Szkole Aspirantów PSP w Poznaniu  
Biegły sądowy w zakresie pożarnictwa  
z listy SO w Poznaniu  
Rzecznawca SITP (49/2007)  
w zakresie ustalania przyczyn pożarów (7)

## **Pożar magazynu wysokiego składowania dezodorantów i wózków widłowych z butlami propanu - butanu**

Jednym z największych niebezpieczeństw dla społeczeństwa są pożary. Zniszczeniu ulega mienie prywatne, często dorobek całego życia. Zdarza się również, że w płomieniach pożarów giną bądź odnoszą obrażenia ludzie. Dynamiczne tempo rozwoju wszystkich dziedzin gospodarki narodowej i życia społecznego-kulturalnego związane jest ze stałym wzrostem ilości niebezpiecznych pożarowo urządzeń. Bezpośrednio niszczą one mienie, przynosząc w ten sposób straty sięgające wielu milionów złotych.

W dniu 2 sierpnia 2008 r. o godz. 10<sup>42</sup> na telefon alarmowy straży pożarnej 998 zgłosił się portier z terenu zakładu przy ul. Mogileńskiej 50 w Poznaniu z informacją, że pali się w magazynie. Po dwóch minutach od odebranej informacji przyjęto kolejne zgłoszenia. Na miejsce akcji zostają zadysponowane siły i środki straży pożarnej z terenu miasta i powiatu.



*Widok pożaru<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Materiał zdjęciowy wykonany podczas akcji gaśniczej. Materiał udostępniony przez zespół prasowy KW PSP w Poznaniu



*Widok zniszczonego budynku od strony wschodniej<sup>2</sup>*



*Widok zniszczonego budynku od strony zachodniej<sup>3</sup>*

<sup>2</sup> Materiał zdjęciowy wykonany podczas akcji gaśniczej. Materiał udostępniony przez zespół prasowy KW PSP w Poznaniu

---

Pierwsze chwile prowadzonej akcji gaśniczej związane były z ustaleniem ilości i rodzaju palącego się towaru przy jednoczesnym budowaniu stanowisk gaśniczych. **W tym czasie cała hala magazynowa objęta była pożarem**, co trwało zaledwie kilkanaście minut. W wyniku wysokiej temperatury zawalił się dach hali o konstrukcji stalowej. W czasie pożaru występowały **gwałtowne wybuchy i wystrzały pojemników typu „spray” z zawartością lakierów i pianek do pielęgnacji włosów.**



*Widok zbiorników po dezodorantach<sup>4</sup>*

Około godziny 13<sup>10</sup> Kierujący Działaniami Ratowniczymi zgłosił fakt zlokalizowania pożaru. Działania gaśnicze prowadzone były bez przerwy, również w godzinach nocnych. W dniu 4 sierpnia 2008 r. o godzinie 15<sup>00</sup> Kierujący Działaniami Ratowniczymi wydał postanowienie o przekazaniu miejsca objętego działaniem ratowniczym. Tego samego dnia na miejsce akcji przybył prokurator, który określił skład personalny osób funkcyjnych tworzących komisję dochodzeniowo-śledczą. Zadaniem komisji jest ustalanie przyczyn i okoliczności powstania pożaru. Skład komisji stanowili m.in.: biegli sądowi z zakresu ochrony przeciwpożarowej, budownictwa oraz innych dziedzin kryminalistyki, a także przedstawiciele Policji. Dodatkowo działania komisji wspierali: przedstawiciel Powiatowego Inspektoratu Nadzoru Budowlanego oraz funkcjonariusze z KM PSP w Poznaniu.

---

<sup>3</sup> Materiał zdjęciowy wykonany podczas akcji gaśniczej. Materiał udostępniony przez zespół prasowy KW PSP w Poznaniu

<sup>4</sup> Materiał zdjęciowy KWP w Poznaniu udostępniony za zgodą Prokuratora wykonany podczas prowadzenia czynności procesowych.



*Widok zniszczonego budynku<sup>5</sup>*

Rozważymy możliwość gaszenia pożarów obiektów handlowych i dużych przedsiębiorstw handlowych, zajmujących specjalnie przystosowane do tej formy działalności budynki. Występuje tutaj olbrzymia różnorodność rodzajów i typów tychże obiektów, a zarazem znaczne zróżnicowanie zagrożenia pożarowego. Największe niebezpieczeństwo stwierdzamy w obiektach z artykułami chemicznymi, w których podczas pożaru wystąpi intensywny proces palenia się. Wraz z dużym zadymieniem wywiążą się lotne substancje toksyczne. Podobną sytuację odnotujemy we wszystkich obiektach wielokubaturowych, gdzie występuje znaczne obciążenie ogniowe. Zauważyć trzeba, że często są to obiekty wieloasortymentowe bez przegrodzeń przeciwpożarowych. Sytuację utrudniają lokowane na zapleczach składy podręczne i magazyny opakowań. W dużych obszarach regały zajmują całą przestrzeń magazynową, co może utrudniać orientację w otoczeniu i dotarcie do ogniska pożaru. Duże przestrzenie powietrzne sprawiają, że zaistniały pożar rozwija się intensywnie, czemu sprzyja nagromadzenie dużej ilości materiałów palnych. **Spalaniu towarzyszy zazwyczaj wydzielenie gęstego, gryzącego dymu oraz wysoka temperatura. Jeżeli w obiekcie znajdują się produkty chemiczne mogą wystąpić także wybuchy oraz pojawiające się i trujące pary i gazy.**

---

<sup>5</sup> Materiał zdjęciowy KWP w Poznaniu udostępniony za zgodą Prokuratora wykonany podczas prowadzenia czynności procesowych.



*Widok zbiorników po dezodorantach<sup>6</sup>*



*Widok zbiorników propan-butan przeznaczonych do zasilania wózków widłowych<sup>7</sup>*

<sup>6</sup> Materiał zdjęciowy KWP w Poznaniu udostępniony za zgodą Prokuratora wykonany podczas prowadzenia czynności procesowych.

<sup>7</sup> Materiał zdjęciowy KWP w Poznaniu udostępniony za zgodą Prokuratora wykonany podczas prowadzenia czynności procesowych.



*Widok spalonej hali magazynowej<sup>8</sup>*

Każdy pożar w magazynie pociąga za sobą poważne skutki z uwagi na możliwość wystąpienia wysokich strat. Mimo przeciwpożarowego zabezpieczenia tychże obiektów często dochodzi do pożarów dużych, a straty wielokrotnia akcja gaśnicza oraz oddziaływanie gorących mas powietrza i dymów. Opanowanie pożaru jest trudne wobec szybkiego pionowego rozprzestrzeniania się w dobrze wentylowanej przestrzeni między regałami rusztowania magazynowego. Intensywność pożaru wynika z nagromadzenia dużych ilości materiałów palnych (w magazynach wysokiego składowania z wykorzystania przestrzeni w pionie), w poważnym stopniu podwyższających gęstość obciążenia ogniowego.

Niewielki odstęp między paletami ułatwia rozprzestrzenianie się pożaru, a przestrzenie między ładunkami tworzą typowe kominny pionowe rozprzestrzeniania się pożaru. Efekt ten odgrywa szczególną rolę w przypadku materiałów wolno spalających się z uwagi na dłuższe działanie kominów, gdzie szybkość pożaru może osiągać prędkość 10-40m/min. Spalaniu towarzyszy silne zadymienie, nie tylko utrudniające lub nawet uniemożliwiające akcję straży pożarnych, ale też powodujące niszczenie składowanych materiałów. Należy w tym momencie zwrócić uwagę na warunki budowlane, jako że w momencie powstania pożaru

---

<sup>8</sup> Materiał zdjęciowy KWP w Poznaniu udostępniony za zgodą Prokuratora wykonany podczas prowadzenia czynności procesowych.

---

niewiele da się zrobić. My rozważamy jednak takie rozwiązania, które zapewniają szybkie wykrycie pożaru, przeciwdziałanie oraz ograniczenie rozprzestrzeniania się.



*Widok pogorzelniska oraz regalów wysokiego składowania<sup>9</sup>*

Analizując wymagania bezpieczeństwa pożarowego zawarte w obowiązujących przepisach techniczno-budowlanych, nietrudno zauważyć, że są one ukierunkowane przede wszystkim na zapewnienie bezpieczeństwa ludziom. Poziom akceptowalnego ryzyka wyznaczają tutaj ubezpieczyciele. Jak natomiast ustalić odpowiedni stopień ochrony mienia? Można przyjąć (z pewnym uproszczeniem), iż wybór poziomu ryzyka pozostawiono w tym wypadku właścicielowi budynku, dla niego zaś podstawowym kryterium jest **rachunek ekonomiczny**. Zmiany w przepisach techniczno-budowlanych dokonywane na przestrzeni ostatnich 30 lat stopniowo umacniały taką tendencję. Jest ona zresztą zgodna z ogólną strategią rządu, zakładającą ograniczenie do niezbędnego minimum jakichkolwiek barier w rozwoju gospodarczym. Dobitnie wskazują na to obecne uregulowania Prawa budowlanego dotyczące przekazywania obiektów do użytku, w których budynki PM praktycznie wyłączono z obowiązku uzyskania pozwolenia na użytkowanie<sup>10</sup>. Oznacza to jednocześnie, iż

---

<sup>9</sup> Materiał zdjęciowy wykonany przez autora podczas czynności oględzinowych.

<sup>10</sup> **Art.55.** Przed przystąpieniem do użytkowania obiektu budowlanego należy uzyskać ostateczną decyzję o pozwoleniu na użytkowanie, jeżeli:

1) na wzniesienie obiektu budowlanego jest wymagane pozwolenie na budowę i jest on zaliczony do kategorii V, IX-XVIII, XX, XXII, XXIV, XXVII-XXX, o których mowa w załączniku do ustawy;

2) zachodzą okoliczności, o których mowa w art. 49 ust. 5 albo art. 51 ust. 4;

---

w obiektach tych organ Państwowej Straży Pożarnej nie dokonuje sprawdzenia zgodności wykonania z projektem budowlanym<sup>11</sup>.

Mając na uwadze powyższe należy rozpatrzeć zapis §215 „warunków technicznych”<sup>12</sup>, ponieważ pozwala on na „znaczną swobodę” traktowania obiektów lub stref pożarowych o powierzchni nie przekraczającej 1000m<sup>2</sup>, co zwalnia również z obowiązku stosowania samoczynnych urządzeń oddymiających w strefie pożarowej przy zachowaniu wymagań w zakresie zastosowania wszystkich elementów budynku nierozprzestrzeniających ognia. Oczywistym jest, że obniżenie klasy odporności pożarowej budynku stosując powyższą przesłankę, w przypadkach wymienionych w ust. 1 oraz w § 214<sup>13</sup>, nie zwalnia z zachowania wymaganej pierwotnie klasy odporności ogniowej elementów oddzielenia przeciwpożarowego, określonej w § 232 w stosunku do wydzielenia z strefami zaliczanymi do kategorii ZL III zagrożenia ludzi.

Każdy obiekt budowlany wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając szereg szczegółowych wymagań podlegających indywidualnej korelacji z danym obiektem. Przepisy rozporządzenia, zwanego powszechnie „warunkami technicznymi”, stosuje się przy projektowaniu i budowie, w tym także odbudowie, rozbudowie, nadbudowie, przebudowie i przy zmianie sposobu użytkowania budynków oraz budowli nadziemnych i podziemnych spełniających funkcje użytkowe budynków, a także do związanych z nimi urządzeń budowlanych.

**Przepisy techniczno-budowlane mają charakter obligatoryjny i wymagają ścisłego przestrzegania zawartych w nich wymagań.** Prawo budowlane w szczególnie uzasadnionych przypadkach dopuszcza odstępstwo od tej zasady, jednak pod warunkiem, iż nie spowoduje ono zagrożenia życia ludzi lub bezpieczeństwa mienia. Taki stan prawny poprzez umiejętne zastosowanie mógłby zapewnić właściwy poziom zabezpieczenia przed skutkami pożaru. Niestety w większości przypadków rachunek ekonomiczny powoduje ograniczanie się do obszaru tzw. „minimum wymagań” pozwalających do „maksimum wykorzystać” walory obiektu.

Hala magazynowa użytkowana przez wiodącą w Europie firmę kosmetyczną oraz dystrybutora i serwis wózków widłowych była obiektem budowlanym jednokondygnacyjnym

---

3) przystąpienie do użytkowania obiektu budowlanego ma nastąpić przed wykonaniem wszystkich robót budowlanych.

<sup>11</sup> A. Biczyski – Wymagania przepisów, a bezpieczeństwo mienia, Ochrona Przeciwożarowa” 3/2005.

<sup>12</sup> Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2002 Nr 75, poz. 690 r. ze zmianami.).

<sup>13</sup> Tamże.

o wysokości do 12,0 m, zakwalifikowana ze względu na przeznaczenie i sposób użytkowania do grupy PM (produkcyjno-magazynowych) oraz w części do kategorii ZL III zagrożenia ludzi. Biura o zróżnicowanej powierzchni użytkowania zajmowały w sumie cztery podmioty. Powierzchnia użytkowa hali wynosiła 11 984 m<sup>2</sup>, z czego 1 184 m<sup>2</sup> zajmowała antresola o przeznaczeniu socjalno-biurowym. Z powierzchni magazynowej wydzielona była pożarowo kotłownia gazowa i komora transformatorowa oraz rozdzielnia NN.



*Widok wydzielonej kotłowni gazowej. Brak śladów oddziaływania środowiska pożaru<sup>14</sup>*

Pozostała część magazynu o powierzchni użytkowej około 10 500 m<sup>2</sup> podzielona była na dwie części. Jak ustalono podczas czynności śledczych nie była to ściana oddzielenia przeciwpożarowego. Nie spełniono wymagań zawartych w §235 „warunków technicznych”.

Analizując budynki magazynowe należy poddać ocenie wszystkie możliwe scenariusze, w których wyznaczona zostanie gęstość obciążenia ogniowego przy dynamicznie zmieniającym się asortymencie. **Uwzględnić przy tym należy możliwość dążenia do wydzielania mniejszych obszarów poprzez które przewidziane w skutkach straty pożarowe będą zmniejszane.**

Na tym etapie rozpatruje się potencjalne źródła zagrożenia oraz możliwe przyczyny ich realizacji. Źródła zagrożenia tkwią przede wszystkim we właściwościach fizykochemicznych

<sup>14</sup> Materiał zdjęciowy wykonany przez autora podczas czynności oględzinowych – foto autor

---

materiałów i substancji (palność, wybuchowość, właściwości toksyczne) oraz warunkach użytkowania (wysokie ciśnienia, temperatura itp.). Wśród potencjalnych przyczyn **rozpatruje się zazwyczaj możliwość błędu człowieka**, nieostrożność, wady instalacji lub urządzeń, działanie sił natury, działalność umyślną i inne. Na tym etapie nie ocenia się prawdopodobieństwa, ani skali potencjalnych konsekwencji możliwych zagrożeń. Stosując różnego rodzaju modele obliczeniowe lub wyniki testów, dokonuje się prognozy możliwego rozwoju zdarzeń niebezpiecznych (np. prognozę rozprzestrzeniania się pożaru w budynku, wielkość promieniowania cieplnego, **przewidywany zasięg wybuchu**, czy zasięg stężeń niebezpiecznych w przypadku uwolnienia do środowiska substancji toksycznych). Na tym etapie, jak również na etapie oceny prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia uwzględnia się wpływ stosowanych w zakładzie systemów zabezpieczeń technicznych i organizacyjnych.

W wypadkach z gazem płynnym można wyróżnić trzy podstawowe zagrożenia:

1. Wybuchy i pożary powstałe wskutek niekontrolowanego wypływu gazu spowodowanego utratą szczelności instalacji.
2. Zagrożenia wynikające z przepełnienia lub przegrzania butli w wyniku czego może dojść do wybuchu zbiornika gazu wskutek nadmiernego wzrostu ciśnienia gazu.
3. BLEVE czyli wybuch rozprężających się par cieczy-gazów węglowodorowych.

W przypadku pierwszym może powstać mieszanina wybuchowa, co przy niskiej dolnej granicy wybuchowości gazu płynnego jest bardzo niebezpieczne, ponieważ prowadzi do szybko przebiegającej reakcji utleniania par węglowodorów w mieszaninie z powietrzem w wyniku reakcji utleniania. Wypływający w fazie ciekłej gaz odparowuje natychmiast, przy czym 1 kg cieczy o objętości 1,96 dm<sup>3</sup> daje około 500 dm<sup>3</sup> gazu. Mimo, że gaz miesza się z powietrzem opornie, to jego wypływ pod ciśnieniem powoduje szybkie wymieszanie z powietrzem, co wobec dolnej granicy wybuchowości wynoszącej ok. 2,0% stwarza znaczne zagrożenie wybuchowe i pożarowe.

Lokalne sieci gazowe zasilane gazem płynnym, w przypadku ich nieszczelności, stanowią głównie ze względu na większą od powietrza gęstość gazu płynnego znacznie większe zagrożenie dla otoczenia niż sieci zasilane gazem ziemnym. Uchodzący gaz płynny rozprzestrzenia się po powierzchni gruntu, gromadzi się w zagłębieniach terenu. Wynika stąd konieczność lokalizowania przewodów gazu płynnego w większej odległości od budynków mieszkalnych i piwnic. Konieczne jest również niedopuszczenie do migracji gazu spowodowanej nieszczelnościami w przypadku lokalizacji przewodów gazowych wzdłuż przewodów kanalizacyjnych, kanałów sieci ciepłej, kanałów kablowych i innych posiadających połączenie z pomieszczeniami mieszkalnymi. Nie jest więc zalecane

---

budowanie sieci zasilanych gazem płynnym w gęsto zabudowanych rejonach i aglomeracjach miejskich.

W przypadku drugim szczególnie ważnym zagadnieniem przy napełnianiu zbiorników, z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkownika gazu płynnego jest zależność jego objętości od temperatury. W czasie magazynowania gazu w butlach i zbiornikach, przy wzroście temperatury otoczenia, następuje wzrost jego objętości. Należy podkreślić, że rozszerzalność ciekłego propanu i butanu oraz ich mieszanin w porównaniu z innymi cieczami jest szczególnie duża.



*Widok zbiorników propan-butan przeznaczonych do zasilania wózków widłowych<sup>15</sup>*

Przypadek trzeci dotyczący zjawiska BLEVE został zdefiniowany i wprowadzony jako obowiązujący przez Amerykańskie Stowarzyszenie Ochrony Przeciwożarowej (NFPA). BLEVE to z angielskiego Boiling Liquids Expanding Vapours Explosions oznacza wybuchy par wrzących cieczy. BLEVE jest wybuchem spowodowanym nagłym wyciekem łatwo zapalnej cieczy o temperaturze wyższej od jej temperatury wrzenia przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym. Ten nagły wyciek może powstać w wyniku dużego uszkodzenia zbiornika z gazem płynnym. Przyczyny lub też zdarzenia doprowadzające do wybuchu mogą być różne. **Najczęściej jest to samonagrzewanie się cieczy, ogrzanie cieczy w zbiorniku lub instalacji**

---

<sup>15</sup> Materiał zdjęciowy KWP w Poznaniu udostępniony za zgodą Prokuratora wykonany podczas prowadzenia czynności procesowych.

---

**wskutek oddziaływania pożaru oraz gwałtowny wyciek podczas wypadków komunikacyjnych.** Powstaniu BLEVE towarzyszą zwykle trzy efekty: rozpryskiwanie się spalającej się cieczy, powstawanie fali uderzeniowej oraz wystąpienie zjawiska fireball, czyli płomienia o kształcie kuli. Strefa zagrożenia wybuchem BLEVE, przy której może dojść do poważnych poparzeń wynosi ok. 15 m dla puszkii aerozolu, 75 m dla małych butli oraz od 150 do 250 m dla cystern i dużych zbiorników.



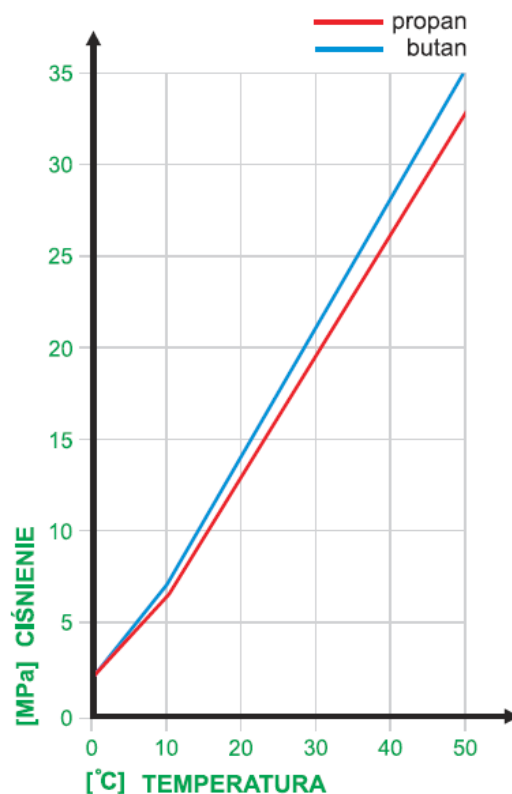
*Widok zbiorników po dezodorantach<sup>16</sup>*

Rozpatrując wpływ rozszerzalności na warunki magazynowania zauważmy, że tak długo jak nad zwierciadłem znajduje się poduszka gazowa, ciśnienie panujące w butli odpowiada wartości ciśnienia nasycenia dla danej temperatury. Przy wzroście temperatury wzrasta również ciśnienie i równocześnie następuje wzrost objętości cieczy.

Może się zdarzyć, w przypadku zbyt małej objętości poduszki gazowej (co może mieć miejsce w trakcie napełniania butli na stacjach autogazu), że faza ciekła wypełni całkowicie wnętrze butli. Od tej chwili wzrost ciśnienia cieczy przy wzrastającej temperaturze jest znacznie szybszy niż wynikałoby to z krzywej parowania. Najlepiej zjawisko to obrazuje wykres Dittmara i Emschermanna.

---

<sup>16</sup> Materiał zdjęciowy KWP w Poznaniu udostępniony za zgodą Prokuratora wykonany podczas prowadzenia czynności procesowych.



Zależność ciśnienia gazu od temperatury w butli

Z analizy wykresu wynika, że w przypadku, gdy przepełniony zbiornik osiągnie temperaturę 40°C ciśnienie w zbiorniku wyniesie ponad 30MPa i w konsekwencji musi dojść do rozerwania butli. Przy wzroście temperatury o 1°C, przyrost ciśnienia wynosi 0,7-0,8 MPa, i tak np. jeżeli butla została napełniona całkowicie propanem-butanem w fazie ciekłej przy temperaturze 5°C, a następnie zostaje wstawiona do pomieszczenia o temperaturze 25°C, to rzeczywiste ciśnienie jakie może wystąpić obliczymy ze wzoru:

$$P = P_0 + \alpha \Delta T$$

$$P = 0,75 \cdot 20 = 15 \text{ MPa}$$

gdzie:  
 $\alpha$  - współczynnik wzrostu ciśnienia w odniesieniu do 1°C (dla mieszaniny propanu-butanu można przyjąć 0,75 MPa),  
 $\Delta T$  - rzeczywisty przyrost temperatury.

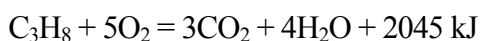
W analizowanym przypadku, rzeczywiste ciśnienie w butli może wynieść 15 MPa. W tego typu zbiornikach (zaprojektowanych zgodnie z wymaganiami UDT) rozerwanie butli następuje przy ciśnieniu powyżej 9 MPa dla butli o pojemności 27 dm<sup>3</sup> i 11 MPa dla butli turystycznych.

Podstawowymi składnikami gazu skroplonego są propan C<sub>3</sub> i butan C<sub>4</sub> oraz węglowodory nienasycone. Skład chemiczny mieszanin gazu węglowodorowego będącego

---

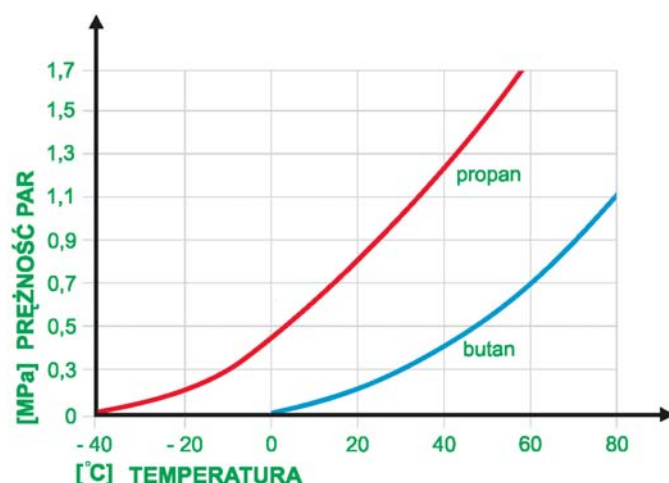
w dystrybucji na naszym rynku podaje polska norma PN-C-96008:1998 „Przetwory naftowe. Gazy węglowodorowe. Gazy skroplone C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub>”. Propan i butan należą do grupy lekkich węglowodorów nasyconych. W stanie gazowym wydobywa się je bezpośrednio z odwiertów ropy naftowej (o ile wydobywaniu ropy naftowej towarzyszy gaz) lub ze specjalnych odwiertów gazu ziemnego. Wydobyte w ten sposób gazy mogą być skroplone pod niewielkim ciśnieniem. Jednak największe ilości gazu płynnego otrzymuje się w czasie przeróbki ropy naftowej. Głównym dostawcą gazu płynnego są rafinerie ropy naftowej. Powstaje on w procesie krakowania i uwodornienia ropy. Ilości otrzymywanego gazu płynnego w skomplikowanych procesach przeróbki ropy nie można określić jednoznacznie. Wydajności gazu płynnego mogą się zmieniać w zależności od rodzaju surowca i sposobu prowadzonej przeróbki, która nastawiona jest głównie na otrzymywanie benzyny i oleju napędowego.

Podczas zupełnego spalania paliw gazowych wszystkie zawarte w nich gazy palne ulegają całkowitemu utlenieniu tlenem zawartym w powietrzu, przy czym wywiązują się określone ilości ciepła odpowiadające wartościom opałowym spalanych gazów. Główne składniki palne paliw gazowych zmieniają się przy spalaniu w dwutlenek węgla i parę wodną, a składniki niepalne - głównie azot - przechodzą do gazów spalinowych w stanie chemicznym niezmiennym. Przy spalaniu paliw gazowych mamy najczęściej do czynienia z następującymi reakcjami chemicznymi:



Jeżeli do spalania w sposób zamierzony lub nie zamierzony doprowadza się zbyt mało powietrza lub jeżeli doprowadzone w dostatecznej ilości nie zostanie należycie zmieszane z paliwem gazowym, w spalinach pojawiają się dodatkowo nie spalone lub tylko częściowo spalone gazy takie jak tlenek węgla i sadza.

Jedną z ważniejszych wielkości charakteryzujących gaz płynny jest ciśnienie nasycenia. Jest to ciśnienie, przy którym następuje zmiana fazy gazowej w ciekłą i odwrotnie. Ciśnienie nasycenia jest wielkością charakterystyczną substancji zależną od temperatury i punktu wrzenia. Jeżeli gaz płynny zostanie ogrzany w zbiorniku, w którym utrzymana jest poduszka gazowa wówczas ciśnienie w butli wzrasta i punkt wrzenia przesuwają się w kierunku wyższej temperatury. W obszarze ponad krzywą wrzenia, gaz płynny znajduje się w stanie ciekłym, a poniżej w stanie gazowym.



*Krzywe nasycenia propanu i butanu*

Przejście fazy ciekłej w gazową wymaga dostarczenia tzw. ciepła parowania. Jeżeli ciepło nie jest doprowadzane z zewnątrz, wówczas jest ono pobierane od parującej cieczy. Wskutek tego ciecz ochładza się, a skłonność do parowania maleje. Takie parowanie, bez dodatkowego doprowadzenia ciepła z zewnątrz, powoduje obniżenie temperatury fazy ciekłej do tego stopnia, że ustaje proces parowania. W przypadku propanu przy ciśnieniu 101325 Pa parowanie ustaje w temperaturze  $-42,1^{\circ}\text{C}$ , a dla butanu w temperaturze  $-0,5^{\circ}\text{C}$ .

Dla gazu płynnego, uwzględniając, że jest to mieszanina propanu i butanu, przyjmuje się średnią wartość ciepła parowania 418 kJ/kg. Chcąc odparować 1 kg gazu płynnego, należy więc doprowadzić 418 kJ ciepła z zewnątrz, jeżeli warunku tego się nie spełni, to nastąpi obniżenie temperatury gazu płynnego, co spowoduje zmniejszenie jego odparowania. Obniżenie temperatury fazy ciekłej zależne jest od ciepła właściwego cieczy czyli ilości ciepła przy której następuje wzrost lub spadek temperatury o  $1^{\circ}\text{C}$ . Ciepło właściwe dla gazu płynnego wynosi średnio  $2,3 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

TEMPERATURA	CIEPŁO PAROWANIA			
	PROPAN		BUTAN	
°C	Wh/kg	kJ/kg	Wh/kg	kJ/kg
-30	114,93	413,73	114,79	413,23
-20	112,06	403,39	112,23	404,02
-10	108,97	392,30	109,32	393,55
0	105,18	378,65	106,65	383,92
10	101,16	364,16	103,74	373,46
20	96,82	348,55	100,48	361,73
30	91,92	330,92	97,69	351,69
40	86,31	310,70	94,20	339,12

Ciepło parowania propan-butanu

---

Gęstość właściwa gazu płynnego i jego składników jest znacznie większa od powietrza. Poniżej podano wartości poszczególnych gęstości.

kg/m <sup>3</sup>	POWIETRZE	PROPAN	BUTAN	PROPAN-BUTAN
Gęstość właściwa	1,293	2,019	2,703	2,360
Gęstość względna	1,00	1,56	2,09	1,82

Gęstość właściwa oraz względna gazu płynnego i jego składników

Jak widać z powyższej tabeli gaz płynny niezależnie od jego składu jest zawsze cięższy od powietrza. W fazie gazowej sływa on szybko ku ziemi i wypiera powietrze. Wypełnia on każde wgłębienie terenu. Zakres wybuchowości gazu płynnego mieszaninie z tlenem lub powietrzem jest znacznie wyższy niż dla innych gazów palnych, jednakże niska dolna granica wybuchowości propanu-butanu powoduje, że jest to paliwo niebezpieczne podczas niekontrolowanego wypływu. Wypływający w fazie ciekłej gaz odparowuje natychmiast, przy czym 1 kg cieczy o objętości 1,96 dm<sup>3</sup> daje około 500 dm<sup>3</sup> gazu. Mimo, że gaz miesza się z powietrzem opornie, to jego wypływ pod ciśnieniem powoduje szybkie wymieszanie z powietrzem, co wobec dolnej granicy wybuchowości wynoszącej zaledwie 2,1% stwarza znaczne zagrożenie wybuchowe i pożarowe.

Przy porównaniu objętości (w dm<sup>3</sup>) gazów o tej samej wydajności cieplnej 1 kg ciekłego propanu oraz 1 kg gazowego propanu widać, że do szczególnych zalet gazu płynnego należy możliwość gromadzenia dużej ilości energii w małej objętości. Ciśnienie jest przy tym niewielkie i przyjmuje wartości 0,4-0,8 MPa zależnie od temperatury. Tak niskie ciśnienie wystarcza do magazynowania gazu płynnego w cienkościennych, a tym samym lekkich butlach i zbiornikach.

Gaz płynny jest bezwonny i dla zapewnienia bezpieczeństwa instalacji zasilanych tym paliwem prowadzi się jego nawanianie. Umożliwia to lokalizację nieszczelności i sygnalizuje o powstałych stanach awarii.

Poza gęstością gazów płynnych węglowodorowych w fazie gazowej bardzo ważnym parametrem jest również objętość właściwa (objętość, którą zajmuje 1 kg gazu w temperaturze 0°C i przy ciśnieniu 1013 hPa) fazy ciekłej i gazowej. Dla propanu w fazie ciekłej objętość właściwa wynosi 1,887 dm<sup>3</sup>/kg, natomiast dla fazy gazowej 0,495 m<sup>3</sup>/kg.

Zmianę objętości fazy gazowej gazów płynnych węglowodorowych pod wpływem ciśnienia można obliczyć na podstawie praw gazowych Boyla-Mariotte'a.

Właściwości energetyczne paliw gazowych określa ich kaloryczność. Rozróżnia się przy tym wartość opałową i ciepło spalania. Wartości energetyczne wybranych paliw gazowych

przedstawiają się następująco:

RODZAJ GAZU	CIEPŁO SPALANIA		GĘSTOŚĆ WZGLĘDNA	GRANICE WYBUCHOWOŚCI MIESZNYNIE Z POWIETRZEM	TEMPERATURA PŁOMIENIA
	[MJ/m <sup>2</sup> ]			[%]	[°C]
Gaz ziemny wysokometanowy	41,8	37,6	0,551	5,0-14,0	1950
Gaz ziemny zaazotowany	22,0	19,8	0,780	-	-
Propan	102,16	92,88	1,562	3,0-14,0	2190
Butan	132,72	128,48	2,091	2,1-9,5	2160

Wartości energetyczne wybranych paliw

Ponadto poniżej przedstawiono wartości temperatury zapłonu, normalnej szybkości spalania oraz granice wybuchowości mieszanin różnych gazów z powietrzem i z tlenem. Dla oceny właściwości palnych paliw gazowych istotne znaczenie mają temperatura zapłonu i prędkość spalania.

RODZAJ GAZU	TEMPERATURA ZAPŁONU [°C]		MAX. NORMALNA WARTOŚĆ SPALANIA [cm/s]		GRANICA WYBUCHOWOŚCI W 5 OBJ. GAZU W MIESZNYNIE	
	Z POWIETRZEM	Z TLNEM	Z POWIETRZEM	Z TLNEM	Z POWIETRZEM	Z TLNEM
Metan	973	911	49	530	5,0-15,0	5,4-59,2
Propan	510	490	42	450	2,1-1,5	2,0-48,0
Butan	490	460	42	370	1,5-8,5	1,3-47,0

Właściwości palne wybranych paliw gazowych

Gaz płynny podczas transportu i magazynowania poddawany jest działaniu temperatury otoczenia. Zakres temperatur waha się od -30°C do 50°C.

W czasie magazynowania gazu w butlach i zbiornikach, przy wzroście temperatury otoczenia, następuje wzrost jego objętości. Należy podkreślić, że rozszerzalność cieplego propanu i butanu oraz ich mieszanin w porównaniu z innymi cieczami jest szczególnie duża.

Rozpatrując wpływ rozszerzalności na warunki magazynowania zauważmy, że tak długo jak nad zwierciadłem znajduje się poduszka gazowa, ciśnienie panujące w butli odpowiada wartości ciśnienia nasycenia dla danej temperatury. Zgodnie z zasadami bezpieczeństwa, aby utrzymać poduszkę gazową, wypełnienie cieczą zbiorników przy temperaturze 40°C nie może przekraczać 85%. Warunek ten spełniony jest wówczas, gdy objętość butli wynosi odpowiednio dla:

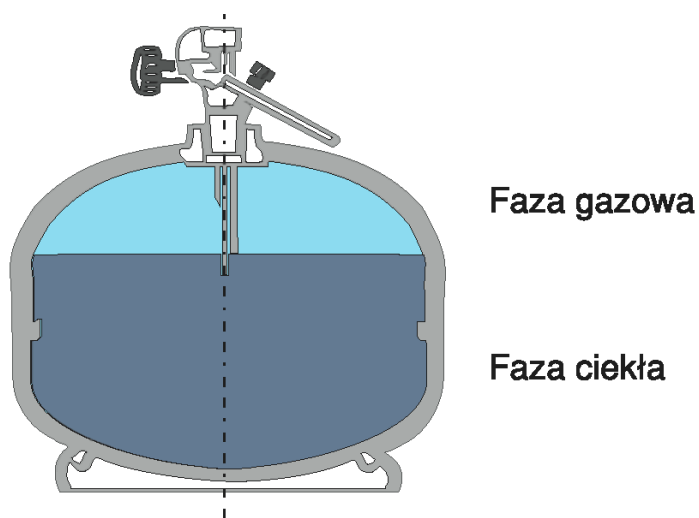
- 1kg propanu o objętości 1,96 dm<sup>3</sup> - co najmniej 2,35 dm<sup>3</sup>,
- 1kg butanu o objętości 1,72 dm<sup>3</sup> - co najmniej 2,05 dm<sup>3</sup>.

---

Niebezpieczeństwo wypełnienia i przegrzania małych butli gazu dla domowego użytku jest większe niż dla dużych zbiorników. W związku z tym, przy wprowadzeniu do użytkowania małych butli, wymagane jest dodatkowe zabezpieczenie objętości, a mianowicie:

- 1kg propanu - objętość butli - co najmniej  $2,47 \text{ dm}^3$ ,
- 1kg butanu - objętość butli - co najmniej  $2,12 \text{ dm}^3$ .

Dla mieszaniny propanu i butanu należy przyjmować wartości większe, a więc takie jak dla propanu. Przy objętości  $2,35 \text{ dm}^3$  1kg propanu wypełnia ją całkowicie przy temperaturze  $64^\circ\text{C}$ . W praktyce napełnienie butli fazą ciekłą nie może przekraczać 80%.

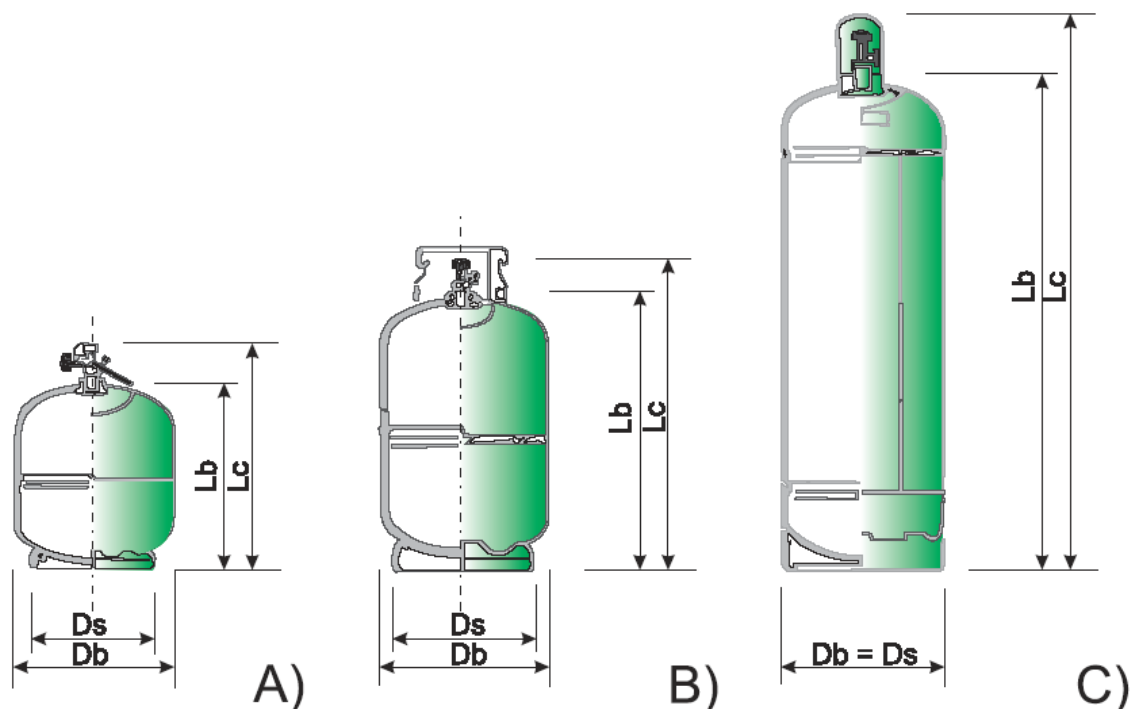


*Prawidłowe napełnienie butli gazem*

Może się zdarzyć, w przypadku zbyt małej objętości poduszki gazowej, że faza ciekła wypełni całkowicie wnętrze butli. Od tej chwili wzrost ciśnienia cieczy przy wzrastającej temperaturze jest znacznie szybszy niż wynikałoby to z krzywej parowania.

Ciśnienie płynu w przepelnionych butlach gazowych podlega innym prawom fizycznym; jest odzwierciedleniem wzajemnego oddziaływania ściśliwości płynu i jego termicznego rozszerzania.

W Polsce produkuje się kilka podstawowych typów butli na gaz płynny propan-butan o różnym przeznaczeniu, które wykorzystywane są głównie w gospodarce komunalnej, przemyśle i turystyce. Butle na gaz płynny propan-butan podlegają przepisom Urzędu Dozoru Technicznego DT-UC-90/ZP „Zbiorniki ciśnieniowe. Zbiorniki przenośne (transportowe)”, które definiują je jako jednoprzestrzenne naczynia ciśnieniowe wykonane z blachy stalowej służące do przechowywania, transportu oraz zasilania urządzeń gazowych. Wymagania dotyczące głównych wymiarów butli oraz sposobu oznakowania określa Polska Norma PN-79/M-69221.



Konstrukcje butli na gazy płynne węglowodorowe stosowane w Polsce: A) w turystyce, B) w gospodarce komunalnej, C) w przemyśle.

POJEMNOŚĆ BUTLI dm <sup>3</sup>	ŚREDNICE		DLUGOŚĆ	WYSOKOŚĆ Z WYPOSAŻENIEM	MASA GAZU kg	ZASTOSOWANIE BUTLI
	Db / Dsmin.		Lb	Lcmax.		
	mm					
0,85	100	0,9Db	160	210	0,6	Turystyka gwint szyjki butli St. 19,2
1,20	140	0,9Db	205	255	0,8	
1,80	140	0,9Db	175	225	1,2	
2,40	140	0,9Db	215	265	1,3	
4,80	220	0,7Db	195	245	2,5	
12,30	230	0,9Db	405	530	6,5	Gospodarka komunalna gwint szyjki butli St. 19,2
27,00	300	0,8Db	485	600	11,5	
79,00	318	Db=Ds	1290	1430	33,0	Przemysł gwint szyjki butli St. 27,8
			1155	1300	35,0	

Butla na gaz płynny składa się z następujących elementów:

- korpusu wykonanego z dwóch wytłoczek (dennic górnej i dolnej). W górnej dennicy wykonany jest otwór, do którego przyspawany jest kołnierz przeznaczony do wkręcania zaworu; do dolnej dennicy przyspawana jest stopa butli. W przypadku butli mających zastosowanie w gospodarce komunalnej do dennicy górnej przyspawana jest osłona,
- szyjki, do której wkręcany jest zawór,

- 
- stopy butli,
  - zaworu butlowego.

Do produkcji butli stosuje się stal głęboko tłoczną zimnowalcowaną w gatunku St. 33-3 GK. Podstawowe wymagania techniczno-konstrukcyjne dla zaworów butlowych określone są przez Polskie Normy „PN-M-69227 Butle do gazów. Zawory do butli. Podział i główne wymiary” oraz „PN-M-69228 Butle do gazów. Zawory do butli. Wymagania i badania”. Wymagania zawarte w normach precyzyjnie określają warunki, jakie powinny spełniać konstrukcje zaworów do gazów węglowodorowych.

Wymagania techniczne dla reduktorów określa polska norma PN-M-40321:1971 „Reduktory do gazu propanowo-butanowego. Ogólne wymagania i badania”. W normie określony jest podział reduktorów ze względu na rodzaje, odmiany i wielkości.

W czasie oględzin stwierdzono nieprawidłowe pod względem technicznym użycie materiałów eksploatacyjnych instalacji oraz niewłaściwie wykonane połączenia przewodów instalacji. Użytkowany zbiornik gazowy posiada następujące parametry techniczne:

- objętość zbiornika 11 kg skroplonego gazu,
- przeznaczony do gazów: propan, mieszanka propan-butan,
- temperatura robocza: -20°C do + 50°C,
- elementy butli: zawór butlowy, zbiornik stalowy,
- cechy szczególne: zawór bezpieczeństwa,
- zastosowanie: gotowanie, pieczenie, smażenie, ogrzewanie wody i pomieszczeń, zasilanie kuchenek gazowych, piekarników, podgrzewaczy wody, kominków, dmuchaw i promienników,
- normy i aprobaty: PN-75/M-692210, wyposażenie w zawory wg PN-81/M-969228 zgodnej z DIN 477.

Każda butla powinna posiadać następujące oznaczenia trwałe:

- znak wytwórcy,
- numer fabryczny butli,
- pojemność zbiornika w dm<sup>3</sup>,
- nadciśnienie próbne w MPa,
- pełną nazwę gazu lub mieszaniny gazowej i wzór chemiczny,
- znak kontroli technicznej wytwórcy,
- datę przeprowadzonego i wyznaczonego następnego badania zbiornika oraz znak rzeczoznawcy dozoru technicznego,

- tarę w kg (masa próżnego zbiornika bez zaworu i kołpaka),
- masę brutto zbiornika (masa zbiornika z najwyższą dopuszczalną masą płynu - bez kołpaka),
- masę netto ładunku zbiornika (najwyższa dopuszczalna masa zawartego w zbiorniku płynu równa iloczynowi pojemności zbiornika w dm<sup>3</sup> przez dopuszczalne napełnianie właściwe).



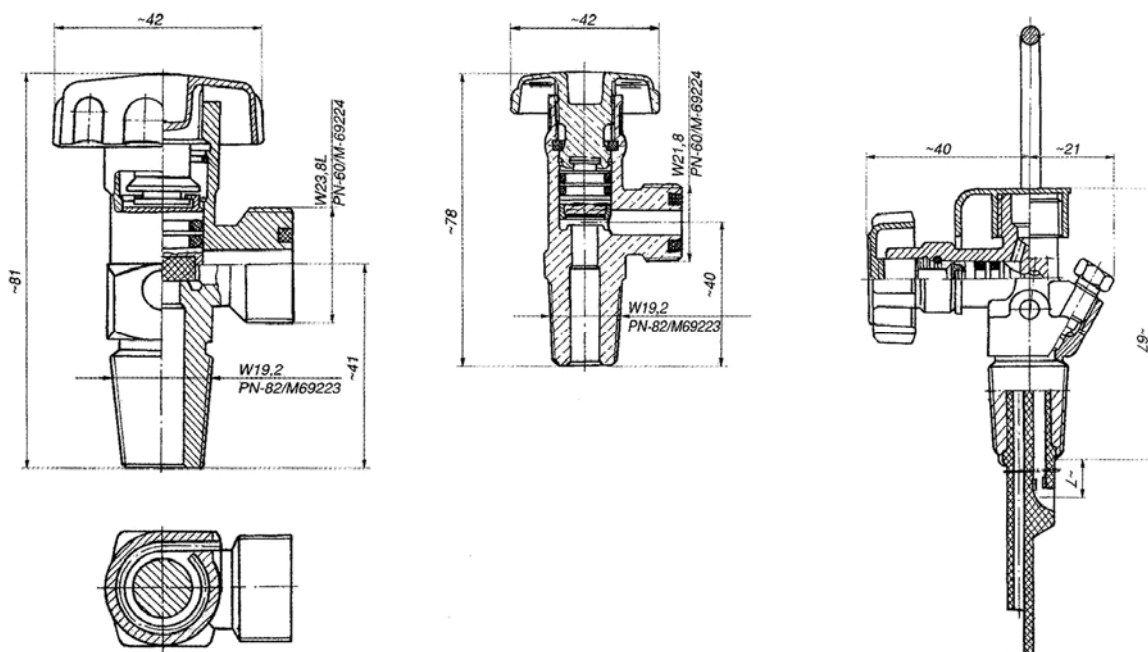
*Widok cechy badania technicznego*

W roku 1998 do normy PN-M-69210:1975 „Zbiorniki transportowe do gazów. Barwy rozpoznawcze i znakowanie” wprowadzono zmianę A4, definiującą barwę powłoki butli do gazu płynnego jako dowolną z wyjątkiem koloru czerwonego i żółtego.

FIRMA	KOLOR BUTLI	NUMER WG RAL
BP	Zielony	6029
Shell Gas	Niebieski	5012
Gaspol	Granatowy	5005
Bałtyk Gaz	Pomarańczowy	2003
Duwe Gaz	Pomarańczowy - jasny	1028
Petrogaz	Biały	9010
Saga	Szary	7001
Elektrim Eurogaz	Niebieski - morski	5017

Z technicznego punktu widzenia zawór jest urządzeniem do regulacji i zamykania przepływu cieczy i gazów z jednej przestrzeni do drugiej przy pomocy ruchomego organu zamykającego zwanego zawieradłem.

W przypadku butli na gaz płynny zawór służy do otwierania przepływu fazy gazowej propanu-butanu z butli do instalacji zasilającej odbiornik gazu, a także umożliwia napełnianie butli próżnej.



*Widok przekroju zaworu butli*



*Widok króciec śrubunkowy gwintowany z uszczelką*

---

Ze względu na przeznaczenie zawory dzielimy na trzy podstawowe rodzaje:

- zawór przelewowy do butli turystycznych,
- zawór butlowy do butli stosowanych w gospodarce komunalnej,
- zawór przeznaczony do butli przemysłowych.

Poszczególne rodzaje zaworów różnią się budową, głównymi wymiarami, a przede wszystkim rodzajami króćców przyłączeniowych.

Podstawowe wymagania techniczno-konstrukcyjne dla zaworów butlowych określone są przez Polskie Normy „PN-M-69227 Butle do gazów. Zawory do butli. Podział i główne wymiary” oraz „PN-M-69228 Butle do gazów. Zawory do butli. Wymagania i badania”. Wymagania zawarte w normach precyzyjnie określają warunki, jakie powinny spełniać konstrukcje zaworów do gazów węglowodorowych.

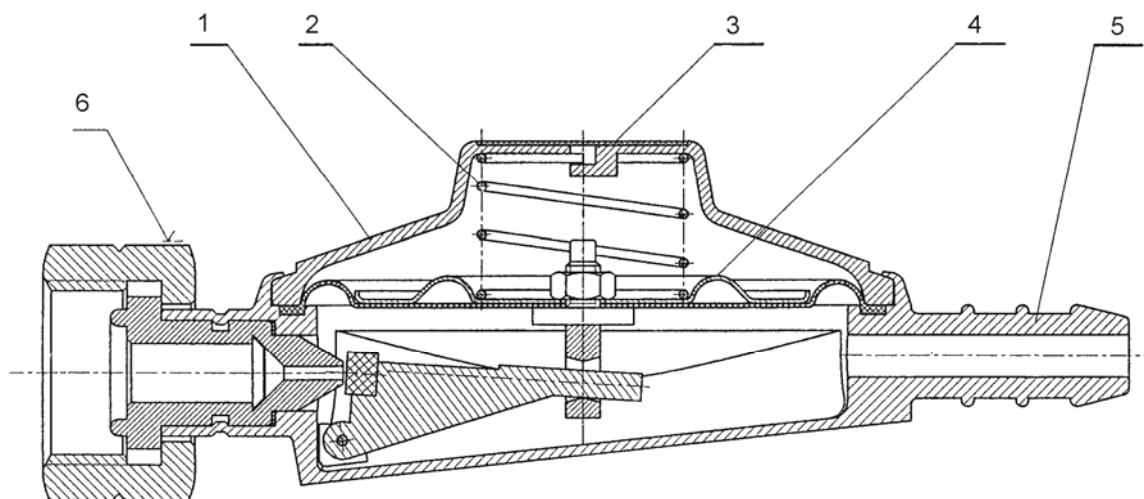
Obejmują one wymogi w zakresie:

- budowy zaworów,
- materiałów i zabezpieczeń,
- wymiarów czopów zaworów i króćców przyłączeniowych,
- przepustowości i minimalnego przelotu zaworu,
- zamykającego momentu obrotowego,
- wytrzymałości oraz szczelności,
- wyposażenia,
- trwałości działania zaworów,
- odporności na wstrząsy.

Polskie Normy precyzują również wymagania dotyczące czytelnego oznaczenia zaworu, które powinno zawierać:

- znak wytwórcy i typ zaworu,
- rodzaj gazu propan - butan lub propan,
- nadciśnienie próbne 3 MPa,
- datę produkcji i znak kontroli jakości.

Reduktory do przenośnych zbiorników gazu płynnego to jedno lub dwustopniowe regulatory ciśnienia gazu służące do obniżania ciśnienia gazu wypływającego z butli do niskiego i ustabilizowanego ciśnienia wylotowego i utrzymywanie wartości tego ciśnienia na stałym poziomie bez względu na stopień opróżnienia butli.



Reduktor ciśnienia gazu do butli o pojemności 27 dm<sup>3</sup>

- |                          |                                 |
|--------------------------|---------------------------------|
| 1 – pokrywa              | 4 – membrana                    |
| 2 – sprężyna             | 5 – króciec przyłączeniowy      |
| 3 – tabliczka znamionowa | 6 – króciec do zaworu butlowego |

*Widok przekroju reduktora*



*Widok reduktora i odcinka przewodu prawidłowo zabezpieczonego opaską*

Konieczność stosowania reduktorów w instalacjach gazu płynnego wynika ze specyficznych właściwości gazów węglowodorowych, które magazynowane są w zbiornikach i butlach pod prężnością par własnych. Zadaniem reduktora w komunalnych instalacjach gazu płynnego jest

---

obniżenie ciśnienia gazu wypływającego z butli do wartości nominalnej 3,6 kPa, przy którym eksploatowane są urządzenia na gaz płynny propan-butan.

Przewody przyłączeniowe wykonane są jako węże gumowe jedno- lub wielowarstwowe. Do propanu-butanu stosuje się węże wykonane z gumy nitylowej NBR, przy czym materiał na węże musi spełniać wymagania normy PN-EN 549:2000 „Materiały gumowe na uszczelnienia i membrany stosowane w urządzeniach gazowych i osprzęcie instalacji gazowej.” Szczegółowe wymagania dla węży przeznaczonych dla propanu-butanu określa norma ISO 1746. Każdy wąż do propan-butanu powinien posiadać odpowiednie oznakowanie obejmujące co najmniej: rodzaj gazu, nazwę producenta, średnicę wewnętrzną, ciśnienie robocze. Węże stosowane jako przyłącza powinny być zabezpieczone na króćcach przyłączeniowych opaskami metalowymi.

Pod względem bezpieczeństwa gazy węglowodorowe płynne nie są bardziej niebezpieczne niż inne paliwa gazowe stosowane w Polsce, co potwierdzają statystyki prowadzone przez Główny Urząd Nadzoru Budowlanego. Wypadki z gazem płynnym, w odniesieniu do innych wypadków, można uznać za rzadko występujące zdarzenia losowe.

Podsumowując należy stwierdzić, że zarządzanie ryzykiem wystąpienia szkód pożarowych polega na aktywnej roli ubezpieczyciela i współpracy z klientem przy jego aktywnej postawie. Ubezpieczyciel, rezygnując z wyższych składek na rzecz obniżek za zastosowane zabezpieczenia lub partycypując w kosztach zastosowanych zabezpieczeń, dokonuje transferu części ryzyka na klienta *de facto* w ogólnym rozrachunku zmniejszając je. Ale kiedy taki model zacznie powszechnie występować w Polsce? Czy losy magazynu przy ul. Mogileńskiej 50 w Poznaniu w dniu 2 sierpnia br. byłyby inne?

Brak dostatecznej wiedzy o możliwych przyczynach pożarów oraz możliwościach ich rozwoju i rozprzestrzeniania się będzie skutkować niewłaściwą oceną ryzyka, co może bowiem prowadzić do zbagatelizowania zagrożeń skutkujących występowaniem częstych szkód lub też nieuwzględnieniem scenariusza potencjalnej szkody mającej duży wymiar finansowy dla klienta i towarzystwa ubezpieczeniowego.

Znajomość przyczyn pożarów pozwala na rozpoznanie ryzyka, a w szczególności zagadnień takich, jak:

- istnienie i przestrzeganie procedur związanych z konserwacją, remontami urządzeń;
- istnienie i przestrzeganie procedur związanych z wykonywaniem prac pożarowo niebezpiecznych;
- filozofia rozpoznawania zagrożeń, analizy ryzyk i wdrażanie programów minimalizujących występowanie zagrożeń w prowadzonej działalności;

- 
- potencjał zagrożenia występujący w ubezpieczanym podmiocie i jego nasilenie, tendencja ilościowa (wzrost, spadek);
  - istnienie i przestrzeganie procedur związanych z zachowaniem porządku;
  - procedury związane z reakcją na zdarzenia, np. pożar;
  - wyposażenie w sprzęt do gaszenia pożarów;
  - wyszkolenie załogi dotyczące prewencji pożarowej, zachowania w sytuacji wystąpienia pożaru, ochrony mienia;
  - kontrola dostępu osób;
  - możliwość ugaszenia pożaru przez załogę, straż pożarną – znajomość zakładu przez najbliższą jednostkę straży pożarnej.