

dr inż. Szymon Kaźmierczak¹⁾

Projektowanie zbiorników z betonu do magazynowania skroplonych gazów na podstawie PN-EN 14620

Design of concrete containment tanks for the storage of liquefied gases in accordance with PN-EN 14620

DOI: 10.15199/33.2015.09.16

(Artykuł przeglądowy)

Streszczenie. Artykuł przedstawia ogólne koncepcje i zasady projektowania zewnętrznych, walcowych zbiorników z betonu, do magazynowania skroplonych gazów o temperaturach pomiędzy 0 °C i -165 °C.

Słowa kluczowe: beton sprężony, zbiorniki cylindryczne, skroplone gazy, niska temperatura.

Abstract. This paper is devoted to general concepts and design considerations for the secondary cylindrical, concrete containers for storage of refrigerated, liquefied gases with temperatures between 0 °C and -165 °C

Keywords: prestressed concrete, cylindrical storage tanks, liquefied gases, low temperature.

Norma PN-EN 14620 [1] zawiera wymagania dotyczące materiałów, projektowania, konstruowania i instalowania naziemnych zbiorników na gaz skroplony. Schłodzenie gazu do temperatury równej lub niższej od temperatury wrzenia pod ciśnieniem atmosferycznym pozwala zachować równowagę między fazą ciekłą i gazową. W zbiorniku utrzymuje się niewielkie nadciśnienie, którego maksymalną wartość ograniczono do 0,5 bara. Projektowanie zbiorników o ciśnieniu wewnętrznym powyżej 0,5 bara ujęto w normie PN-EN 13445 [2]. Typowe produkty magazynowane w zbiornikach izotermicznych, których temperatura robocza wynosi od 0 °C do -165 °C, przedstawiono w tabeli 1. Z zakresu normy wyłączono zbiorniki do magazynowania skroplonego tlenu, azotu i argonu.

Koncepcje zbiorników

Naziemne zbiorniki do magazynowania skroplonych gazów można podzielić na cztery typy:

- **jednokomorowe** (rysunek a), w których stosuje się wewnętrzny zbiornik stalowy służący do magazynowania cieczy i zewnętrzny zbiornik stalowy, którego zadaniem jest podtrzymywanie i zabezpieczenie izolacji cieplnej przed dopływem pary wodnej oraz utrzymywanie par produktu, w przypadku gdy zbiornik wewnętrzny jest otwarty. Zbiornik zewnętrzny nie spełnia funkcji dodatkowego zabezpieczenia na wypadek wycieku produktu ze zbiornika wewnętrznego. W celu ograniczenia skutków wycieku należy go otoczyć ścianą ochronną (wałem);

- **dwukomorowe** (rysunek b), które składają się ze zbiornika wewnętrznego odpornego na parę i ciecz oraz zewnętrznego (stalowego lub betonowego) szczelnego na ciecz. Objętość zbiornika zewnętrznego musi umożliwić składowanie całej zawartości zbiornika wewnętrznego. Odległość w świetle pomiędzy ścianami obu zbiorników nie powinna być większa niż 6,0 m. Przestrzeń ta powinna być także zadaszona w celu ochrony przed deszczem, śniegiem i pyłem;

- **podwójne** (rysunek c). Samonośny zbiornik wewnętrzny należy tak zaprojektować, aby gromadził skroplony gaz. W przypad-

Tabela 1. Fizyczne właściwości gazów [1.1]

Table 1. Physical properties of pure gases [1.1]

Nazwa	Wzór chemiczny	Masa molowa [g/mol]	Temperatura wrzenia [°C]	Utajone ciepło parowania w temperaturze wrzenia [kJ/kg]	Gęstość cieczy w temperaturze wrzenia [kg/m ³]	Gęstość gazu w temperaturze wrzenia [kg/m ³ · 10 ⁻³]	Objętość gazu uwalnianego z 1 m ³ cieczy (w 15 °C przy ciśnieniu 1 bara) [m ³]
N-Butan	C ₄ H ₁₀	58 123	- 0,5	385	601	270	239
Izo-Butan	C ₄ H ₁₀	58 123	- 11,7	366	593	282	236
Amoniak	NH ₃	17 030	- 33,3	1367	682	905	910
Butadien	C ₄ H ₆	54 091	- 4,5	417	650	255	279
Propan	C ₃ H ₈	44 096	- 42,0	425	582	242	311
Propylen	C ₃ H ₆	42 080	- 47,7	437	613	236	388
Etan	C ₂ H ₆	30 069	- 88,6	487	546	205	432
Etylen	C ₂ H ₄	28 054	-103,7	482	567	208	482
Metan	CH ₄	16 043	-161,5	509	422	181	630

Uwaga 1: handlowy butan jest mieszaniną N-Butanu i Izo-butanu z niewielką zawartością propanu i pentanu.

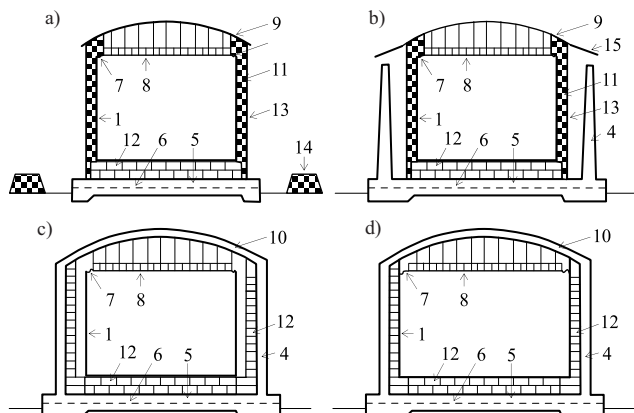
Uwaga 2: handlowy propan zawiera niewielką ilość etanu i butanu.

ku zastosowania kopuły stalowej (nie jest to wymagane) zbiornik wewnętrzny może być także gazoszczelny. Zadaniem zbiornika zewnętrznego (stalowego lub betonowego), wyposażonego w dach kopułowy jest gromadzenie par produktu (w normalnych warunkach pracy, w przypadku otwartego zbiornika wewnętrznego oraz w sytuacji awarii i wycieku do zbiornika zewnętrznego), a także utrzymanie całego produktu w przypadku wycieku. Przestrzeń pierścieniowa między wewnętrznym i zewnętrznym zbiornikiem nie powinna być większa niż 2,0 m;

- **membranowe** (rysunek d), w których zbiornik wewnętrzny składa się z cienkiej stalowej membrany, zintegrowanej z izolacją cieplną. Wszystkie obciążenia działające na membranę są przekazywane, za pośrednictwem izolacji, na zewnętrzny zbiornik z betonu. Zbiornik zewnętrzny musi być szczelny na ciecz i pary magazynowanego produktu. Typ zbiornika należy wybrać po przeprowadzeniu oceny ryzyka.

¹⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej; e-mail: skazmierczak@pk.edu.pl

ZBIORNIKI NA MATERIAŁY SYPKIE I CIECZE



Przykłady zbiornika: a) jednokomorowego; b) dwukomorowego; c) podwójnego; d) membranowego; 1 – zbiornik wewnętrzny (stalowy); 2 – zbiornik wewnętrzny (membrana); 3 – zbiornik zewnętrzny (stalowy); 4 – zbiornik zewnętrzny (z betonu sprężonego); 5 – fundament; 6 – układ grzewczy fundamentu; 7 – elastyczne uszczelnienie izolujące; 8 – dach podwieszony (izolowany); 9 – kopuła stalowa; 10 – kopuła betonowa; 11 – izolacja (sypka); 12 – izolacja (plyty); 13 – zewnętrzny płaszcz stalowy, niezdolny do gromadzenia cieczy; 14 – ściana ochronna; 15 – przekrycie (ochrona przed deszczem)

Examples of containment tank: a) single; b) double; c) full; d) membrane

Sytuacje obliczeniowe

Sytuacje obliczeniowe rozpatrywane w przypadku projektowania zewnętrznego zbiornika z betonu sprężonego przedstawiono w tabeli 2 na podstawie zaleceń normy brytyjskiej BS 777-3:1993 [5]. Aktualna wersja normy PN-EN 14620 [1] odwołuje się do zaleceń PN-EN 1992-1-1 [3]. Proponowane wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa w przypadku oddziaływań w sytuacji wyjątkowej podano w tabeli 3. Brakuje bezpośredniego na-

Tabela 2. Sytuacje obliczeniowe w przypadku zewnętrznego zbiornika z betonu sprężonego [5]

Table 2. Design situations for prestressed concrete secondary containment [5]

Przypadek	Oddziaływania „normalne”										Oddziaływania „wyjątkowe”							
	budowa		próby wodne		schłodzenie		eksploatacja		konserwacja		wyciek		wybuch		trzęsienie		pożar	
	ściana	dno	ściana	dno	ściana	dno	ściana	dno	ściana	dno	ściana	dno	ściana	dno	ściana	dno	ściana	dno
Ciążar własny konstrukcji betonowej	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ciążar własny zbiornika stalowego		X		X		X		X		X		X		X		X		X
Obciążenia użytkowe	(X)	X					X	X		X								
Parcie hydrostatyczne				X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Wiatr	X		X		X		X		X		X		(X)		(X)		X	
Sprężenie	X	(X)	X	(X)	X	(X)	X	(X)	X	(X)	X	(X)	X	(X)	X	(X)	X	(X)
Skurcz betonu	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pełzanie betonu	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
Temperatura					(X)	X	(X)	X			X	X		X		X	X	X
Wyciek											X	X						
Wybuch													X	(X)				
Trzęsienie ziemi															X	X		
Pożar																		X

X – stosować; (X) – stosować, ale nie w każdym przypadku

Tabela 3. Częściowy współczynnik bezpieczeństwa w przypadku obciążeń w sytuacjach wyjątkowych [1.3]

Table 3. Partial load factors for accidental actions [1.3]

Kombinacja obciążeń	Częściowy współczynnik bezpieczeństwa					
	oddziaływanie stałe		oddziaływanie wymuszone		oddziaływanie wyjątkowe	wiatr
	niekorzystne	korzystne	niekorzystne	korzystne		
Oddziaływania normalne + jedno oddziaływanie wyjątkowe	1,05	1,0	1,05	0	1,0	0,3

Przez wyjątkowe rozumie się oddziaływania związane z: trzęsieniem ziemi, wybuchem, uderzeniem, pożarem lub wyciekami do zbiornika zewnętrznego

wiązania do zaleceń PN-EN 1991-4 [6] w zakresie pozostałych kombinacji obciążeń, wartości współczynników do kombinacji i współczynników częściowych.

Literatura

- [1] PN-EN 14620:2010 Projektowanie i budowa na miejscu użytkowania pionowych, walcowych zbiorników stalowych o płaskim dnie do magazynowania oziębionych, skroplonych gazów o temperaturach roboczych pomiędzy 0 °C i -165 °C. [1.1] Część 1: Postanowienia ogólne; [1.2] Część 2: Metalowe części składowe; [1.3] Część 3: Betonowe części składowe; [1.4] Część 4: Części składowe izolacji; [1.5] Część 5: Badanie, suszenie, przedmuchiwanie i oziębianie.
- [2] PN-EN 13445 Nieogrzewane płomieniem zbiorniki ciśnieniowe.
- [3] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [4] PN-EN 1992-3:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecze.
- [5] BS 7777-3:1993 Flat-bottomed, vertical, cylindrical storage tanks for low temperature service. Part 3: Recommendations for the design and construction of prestressed and reinforced concrete tanks and tank foundations, and for the design and installation of tank insulation, tank liners and tank coatings.
- [6] PN-EN 1991-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 4: Silosy i zbiorniki.

Przyjęto do druku: 22.07.2015 r.