

Zasady projektowania instalacji gazów medycznych w szpitalach

Rules for designing medical gases pipelines in hospitals

KAZIMIERZ ŻARSKI

DOI 10.36119/15.2023.3.3

W artykule skupiono się na wybranych aspektach projektowania instalacji gazów medycznych w szpitalach. Są to następujące zagadnienia: bilans chwilowy zapotrzebowania na gazy medyczne oraz zasady projektowania systemu rurociągów rozprowadzających. Poruszono też kwestie rezerwowych systemów zasilających punkty poboru. W artykule pominięto kwestie konstrukcji urządzeń dostarczających gazy medyczne, skupiając się na prawidłowym doborze ich wydajności do wielkości zapotrzebowania. W artykule omówiono instalacje: tlenu (O_2), podtlenu azotu (N_2O), sprężonego powietrza do celów medycznych (MA4), sprężonego powietrza do celów chirurgicznych (SA7), próżni (VAC). Zasady projektowania systemów rozprowadzenia w przypadku innych mediów są podobne. Słowa kluczowe: instalacje gazów medycznych, projektowanie, szpitale

The article focuses on selected aspects of designing medical gas pipelines in hospitals. These are the following issues: momentary balance of demand for medical gases and the principles of designing the distribution pipeline system. The issues of backup systems supplying the collection points were also discussed. The article omits the issues of the construction of devices supplying medical gases, focusing on the correct selection of their capacity to the size of demand. The following installations are discussed in the article: oxygen (O_2), nitrous oxide (N_2O), compressed air for medical purposes (MA4), compressed air for surgical purposes (SA7), vacuum (VAC). The design principles for other media are similar.

Keywords: medical gas pipelines, designing, hospitals

Wstęp

Instalacje gazów medycznych w świetle Ustawy o wyrobach medycznych z dnia 7 kwietnia 2022 r. są wyrobem medycznym [10]. Z ustawy wynika konieczność dopuszczenia instalacji gazów medycznych do obrotu na terenie Unii Europejskiej, podobnie jak innych wyrobów medycznych, co jest równoznaczne z koniecznością uzyskania znaku CE. Traktowanie instalacji gazów medycznych jako gotowego wyrobu zmienia podejście do ich projektowania – proces inwestycyjny upraszcza się do dostawy gotowego wyrobu, przy pominięciu faz charakterystycznych dla procesu projektowania, między innymi uzgodnień z użytkownikiem i z podmiotami zewnętrznymi oraz ujawnienie obliczeń projektowych. Stwarza to sytuację, gdy projekt instalacji gazów medycznych nie jest „widoczny” w procesie inwestycyjnym, a przyszły użytkownik instalacji ma niewielki wpływ na założenia projektowe. Procedura uzyskania znaku CE dotyczy w głównej mierze jakości wyrobu i bezpieczeństwa użytkowania, nie

gwarantując odpowiednich parametrów projektowych (autorowi jest znany przypadek, gdy instalacja gazów medycznych oznaczona znakiem CE nie osiągnęła wymaganej wydajności). Systemy zarządzania jakością omawia norma PN-EN ISO 13485:2016-04: Wyroby Medyczne. Systemy Zarządzania Jakością. Wymagania do celów przepisów prawnych [12].

System projektowania obiektów prowadzących działalność leczniczą w przeszłości (do lat 90. XX w.) bazował na wyspecjalizowanych biurach projektów, które skupiały grupę projektantów o dużym doświadczeniu w projektowaniu obiektów służby zdrowia. Projektowanie wówczas miało charakter kompleksowy, stąd była możliwa ścisła współpraca projektantów o różnych specjalnościach. Można było mówić o koordynacji wszystkich branż. Instalacje gazów medycznych były jednym z opracowań kompleksowego projektu. Obecny system dostawy wyrobu, jakim są instalacje gazów medycznych, wyłączył tę część spoza procesu projektowania. W dzisiejszym modelu projektowania nie ma obowiązku kompleksowości, ale

w przypadku szpitala jest to wymóg konieczny. Branża architektoniczna jest wiążąca – inne projekty powinny być z nią koordynowane. Dlatego też wyłączenie projektu gazów medycznych z kompleksowego opracowania nie jest zjawiskiem korzystnym. Problematykę wymagań, jakie powinny spełniać pomieszczenia i urządzenia szpitali reguluje rozporządzenie [11]. Kwestię o zasadniczym znaczeniu jest utrzymanie w całym obiekcie, a szczególnie w jego częściach, warunków zapewniających odpowiednie parametry czystości powietrza i bezpieczeństwa mikrobiologicznego [2]. Te wymagania decydują o rozwiązaniach architektonicznych, ale także rozwiązaniach w projektach innych branż. Zagadnienia te nabrały dodatkowo znaczenia w aspekcie sytuacji epidemicznej w ostatnich latach [6]. Stąd, zdaniem autora, zmiany w podejściu do projektowania instalacji gazów medycznych, niezależnie od aspektów prawnych i bezpieczeństwa, nie są korzystne z punktu widzenia użytkownika obiektu leczniczego. Majewski w artykule „Zmiany potrzebne jak tlen” [3] zwraca

uwagę, że zaledwie w 25% polskich szpitali instalacje gazów medycznych odpowiadają współczesnym standardom. Znaczenie prawidłowego projektowania instalacji gazów medycznych jest podkreślane w publikacjach o charakterze medycznym [19]. Np. skutkiem niewłaściwego działania instalacji tlenowych, także pod względem wymaganej wydajności i stabilności ciśnienia, jest używanie w oddziałach butli, transportowanych z przestrzeni technicznych szpitala, często z zaniedbaniem procedur higienicznych, do pomieszczeń o najwyższym standardzie czystości. Nie można pominąć faktu, że tlen w butli znajduje się pod ciśnieniem ok. 200 barów, co nie może być obojętne dla kwestii bezpieczeństwa użytkownika obiektu. Także, o czym pisze autor w [3], instalacje gazów medycznych w szpitalach w większości nie są wyposażone w systemy kontrolne i alarmowe o odpowiednim standardzie.

Jak w każdym projekcie, w projekcie instalacji gazów medycznych najważniejsze jest uzgodnienie założeń projektowych z użytkownikiem obiektu. Projektant nie może założeń tych przyjąć arbitralnie.

Założenia do projektu instalacji gazów medycznych

Uzgodnienie z użytkownikiem (właścicielem) obiektu założeń projektowych obejmuje:

- lokalizację i ustalenie liczby punktów poboru gazów medycznych,
- ustalenie liczby działających jednocześnie punktów poboru gazów medycznych na danych oddziałach i globalnie w całym obiekcie,
- ustalenie potrzeby wykonania rezerwowych linii zasilających do wybranych stref szpitala,
- ustalenie lokalizacji sekcji zaworów i punktów kontrolnych,
- ustalenie funkcji alarmowych,
- ustalenie rodzaju urządzeń wytwarzających (dostarczających) gazy medyczne i ich rezerwy.

Są to kwestie, co do których nie ma uregulowań prawnych, jedynie wytyczne [4,9]. Wytyczne projektowania szpitali ogólnych [18], wydane przez Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej w 1984 r. stanowią materiał mocno zdezaktualizowany wobec dzisiejszego stanu medycyny. Lokalizacja punktów poboru gazów medycznych wynika z projektu technologii medycznej lub ze szczegółowych ustaleń z użytkownikiem obiektu przy braku takiego projektu. Projekt technologii medycznej powinien zawierać szczegółowe wytyczne do projektu architektury, (czasem konstrukcji), instalacji sanitarnych,

wentylacji i klimatyzacji, instalacji elektrycznych, instalacji niskoprądowych i instalacji gazów medycznych. Materiał pomocniczy do przyjęcia założeń projektowych może stanowić wydawnictwo „Medical gases, Health Technical Memorandum (HTM-03-01 part A, part B)” [7], w którym podano wytyczne wyposażenia pomieszczeń szpitali w punkty poboru gazów medycznych. Jest to obszerna tabela, której fragment pokazano poniżej.

Tab. 1. Lokalizacja punktów poboru gazów medycznych w wybranych pomieszczeniach szpitala, fragment, według [7]

Oddział	O ₂	N ₂ O	N ₂ O/O ₂	MA4	SA7	VAC	AGSS	He/O ₂
SOR								
Resuscytacja, na 1 stanowisko	2	2	-	2	-	2	2	-
Ogólna pomoc medyczna, gipsownia, na 1 stanowisko	1	1	1	1	1	1	1	-
Pomieszczenie obserwacji (po znieczuleniu)	2	-	-	2	-	2	-	-
Stanowisko pielęgniarstwa	1	-	-	-	-	1	-	-
Blok operacyjny (ortopedia)								
Przygotowanie pacjenta	1	1	-	1	-	1	1	-
Sala operacyjna – dla anestezjologa	2	1	-	2	-	2	1	-
Sala operacyjna – dla chirurga	-	-	-	-	4	2	-	-
.....								

Wytyczne podane w tabeli mają charakter pomocniczy – w projekcie instalacji gazów medycznych należy przyjąć założenia ustalone z użytkownikiem szpitala. Kolumny anesteziologiczne znajdują się w polu operacyjnym i są wyposażone w punkty poboru gazów medycznych. Pozostałe punkty poboru w salach operacyjnych lokalizuje się jako ścienne.

Liczba jednocześnie działających punktów poboru gazów medycznych powinna być ustalona również w ścisłej współpracy z użytkownikiem obiektu, możliwie przy udziale ordynatorów oddziałów, jeżeli jest to obiekt istniejący lub rozbudowa istniejącego szpitala o blok operacyjny. W przypadku projektu nowego szpitala należy założeń do projektu uzgodnić z przedstawicielem Zamawiającego. Cytowane już wytyczne [7] oraz [1] podają wzory określające charakterystyczny strumień objętości gazu do pojedynczego punktu poboru oraz wzory określające strumień objętości gazu do grupy punktów poboru z uwzględnieniem jednoczesności ich działania. W tabeli 2 podano charaktery-

styczny, jednostkowy strumień objętości gazu w punktach poboru w różnych pomieszczeniach szpitala.

Przepływ testowy (dokładnie: testowy strumień objętości) to przepływ w czasie testu pojedynczego punktu poboru. Zatem strumień objętości gazu w odcinku zasilającym grupę punktów poboru należy ustalić jako

$$V = \text{MAX}(\text{SUMAV}_1; V_{\text{test}}) \quad (1)$$

gdzie:

SUMAV₁ – suma jednostkowych strumieni dla przyjętej liczby jednocześnie działających punktów poboru gazu [l/min],

V_{test} – strumień objętości testowy [l/min].

Materiałem pomocniczym mogą być wzory zawarte w [5], ale zdaniem autora arbitralne ich stosowanie może stworzyć ryzyko przyjęcia zbyt małej średnicy przewodów i nieuzyskania właściwego przepływu gazu. Np. w przypadku instalacji tlenu w bloku operacyjnym jest to formuła [7]

$$V = 100 + (n_T - 1) \cdot 10 \quad (2)$$

gdzie:

V – strumień objętości gazu [l/min],

n_T – liczba sal operacyjnych.

w oddziałach łóżkowych wzór

$$V = 10 + \frac{n-1}{4} \cdot 6 \quad (3)$$

gdzie:

V – strumień objętości gazu [l/min],

n – liczba łóżek.

Tab. 2. Charakterystyczny strumień objętości gazów medycznych, według [7]

Medium	Pomieszczenie	Ciśnienie [kPa]	Strumień projektowy [l/min]	Przeciętny strumień [l/min]	Przepływ testowy [l/min]
Tlen	Sale operacyjne Pozostałe pomieszczenia	400	100 10	20 6	100 40
Podtlenek azotu	Wszystkie pomieszczenia	400	15	6	40
Powietrze medyczne	Sale operacyjne OIOM, neonatologia, itp. Pozostałe pomieszczenia	400	40 80 20	40 80 10	80 80 80
Powietrze „chirurgiczne”	Sale operacyjne ortopedyczne i neurologiczne	700	350	350	350
Próżnia	Wszystkie pomieszczenia	40	40	40	40

Table 13 Oxygen: design and diversified flows

Department	Design flow for each terminal unit (L/min)	Diversified flow Q (L/min)
In-patient accommodation (ward units): Single 4-bed rooms and treatment room Ward block/department	10 10	$Q_w = 10 + [(n - 1)6/4]$ $Q_d = Q_w [1 + (nW - 1)/2]$

Q_w = diversified flow for the ward;
 nW = number of wards

Przy zasilaniu grupy oddziałów szpitala wytyczne [7] zalecają wzór (podkreślony, przytaczam w oryginalnym zapisie) – Table 13.

Wzór przyjęty w [7] według autora jest nieprecyzyjny. Jeśli, przykładowo, szpital ma 4 oddziały, z obliczonym strumieniem tlenu:

$$Q_{w1}=200 \text{ l/min}, Q_{w2}=300 \text{ l/min}, \\ Q_{w3}=400 \text{ l/min}, Q_{w4}=500 \text{ l/min},$$

to nie jest jasne, która wartość Q_w ma być przyjęta do wzoru.

Otrzymamy wyniki, odpowiednio:

$$Q_{d1}=500 \text{ l/min}, Q_{d2}=750 \text{ l/min}, \\ Q_{d3}=100 \text{ l/min}, Q_{d4}=1250 \text{ l/min}.$$

W [7] brak jest komentarza, że jest to wielkość maksymalna. Autor proponuje formułę:

$$V = V_{WMAX} + \frac{\sum_{i=1}^{nW-1} V_{Wj}}{2} \quad (4)$$

gdzie:

n_W – liczba oddziałów zasilanych z tego samego źródła,

V_{WMAX} – strumień objętości gazu w oddziale o największym zapotrzebowaniu [l/min],

V_{Wj} – strumień objętości gazu o numerze „i” [l/min].

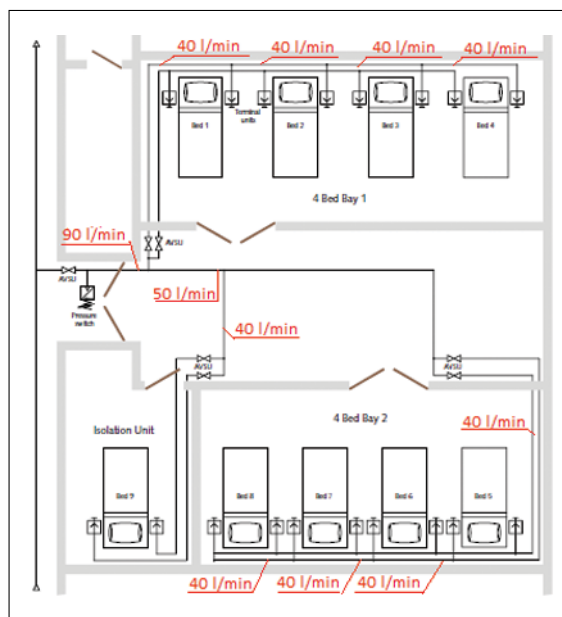
Ten strumień objętości należy ustalić w każdym odcinku instalacji, wybierając z danej grupy oddział o największym przepływie gazu.

Na rys. 1 zilustrowano zasadę wyznaczania strumieni odcinkowych w przypadku instalacji tlenu w OIOM. Jednocześnie zilustrowano zasadę dublowania ciągu przewodów.

Matematyczna niekonsekwencja sumowania przepływu wynika z konieczności zapewnienia przepływu testowego (40 l/min) w każdym punkcie poboru. Testy przeprowadza się przy włączonym tylko jednym punkcie poboru. Dlatego do izolatki przyjęto strumień tlenu 40 l/min, a w odcinku za izolatką 50 l/min (jednoczesne działanie 5 punktów poboru o strumieniu obliczeniowym 10 l/min każdy, czyli więcej niż strumień testowy). W oddziałach łóżkowych zwykle nie ma potrzeby dublowania systemów rozprowadzających gazy medyczne. Można również, w uzgodnieniu z użytkownikiem, przyjąć mniejszą liczbę jednocześnie działających punktów poboru gazu.

Wytyczne [7] podają szereg wzorów odpowiednio do każdego rodzaju gazu medycznego. Po wyznaczeniu miarodajnych odcinkowych strumieni objętości gazów medycznych i sporządzeniu schematów obliczeniowych można przystąpić do obliczeń strat ciśnienia w systemie przewodów.

Rys. 1. Zasada wyznaczania strumieni odcinkowych w przypadku instalacji tlenu w OIOM (przyjęto jednoczesne działanie wszystkich punktów poboru), według [7]



Dobór przewodów rozprowadzających i obliczenie straty ciśnienia przy przepływie gazu

Instalacje gazów medycznych są wykonywane wyłącznie z miedzi, co reguluje szereg norm przedmiotowych: PN-EN ISO 13485:2016-04: Wyroby Medyczne. Systemy Zarządzania Jakością. Wymagania do celów przepisów prawnych [12], PN-EN 9170-1:2008: Systemy rurociągowo do gazów medycznych. Część 1: Punkty poboru do sprężonych gazów medycznych i próżni [13], PN-EN ISO 7396-1:2010: Systemy rurociągowo do gazów medycznych – Część 1: Systemy rurociągowo do sprężonych gazów medycznych i próżni [14], PN-EN ISO 7396-2:2011: Systemy rurociągowo do gazów medycznych – Część 2: Systemy odprowadzające zużyte gazy anestetyczne [15], PN-EN 13348:2016-09: Miedź i stopy miedzi. Rury miedziane okrągłe bez szwu do gazów medycznych lub próżni [16], a także stosowane zwyczajowo „Warunki techniczne: Instalacje z rur miedzianych”, COBRTI Instal. 2012 [17].

Wytyczne dotyczące wyposażenia instalacji medycznych, takiego jak zespoły zaworów, zespoły kontrolne, systemy alarmowe, podają wymagania HTM-02 [7] i inne wydawnictwa o podobnym charakterze [4,7]. Materiały te niemal całkowicie pomijają kwestię wymiarowania instalacji pod kątem doboru średnicy przewodów i obliczenia straty ciśnienia w instalacji. Pewnych informacji dostarcza [4] i [5]. W pracy [1] wykorzystano środowisko MATLAB do wyznaczenia strat ciśnienia uproszczoną metodą zależności kwadratowej straty ciśnienia od strumienia objętości gazu. Praca nie ma charakteru ogólnego, nie podaje szczegółowych algorytmów obliczeniowych. W [7] określono dopuszczalną stratę ciśnienia w instalacji, którą podano w tabeli 3.

Tab. 3. Dopuszczalna strata ciśnienia w instalacji gazów medycznych według [7]

Medium	Dopuszczalna strata ciśnienia [kPa]
Tlen (O_2)	20
Podtlenek azotu (N_2O)	20
Powietrze medyczne (MA4)	150
Powietrze „chirurgiczne” (SA7)	20
Próżnia (VAC)	20

Informacje podane w [1, 4, 5, 7] są niewystarczające do obliczeń hydraulicznych przewodów zgodnie z zasadami termodynamiki i mechaniki płynów [8, 9], gdyż nie uwzględniają długości odcinków przewodów i konfiguracji geometrycznej.

Strumień objętości gazu podany w tabeli 2 i wzorach (2..4) jest przyjęty w warunkach odniesienia, tj. przy ciśnieniu 1 bar i temperaturze 20°C. Do obliczeń należy wyznaczyć strumień masy gazu m [kg/s] [9]

$$m = V \cdot \rho_0 \quad (5)$$

gdzie:

V – strumień objętości gazu w warunkach odniesienia [m³/s],

ρ_0 – gęstość gazu w warunkach odniesienia [kg/m³].

W tabeli 4 podano gęstość i dynamiczny współczynnik lepkości wybranych gazów medycznych w warunkach odniesienia (1 bar, 20°C) [10].

Tab. 4. Gęstość i dynamiczny współczynnik lepkości gazów w warunkach odniesienia (1 bar, 20°C) [10]

Gaz	Stała gazowa R [J/(kg K)]	Gęstość ρ_0 [kg/m³]	Dynamiczny współczynnik lepkości ν [Pa·s]
O ₂	259.83	1.330	2.02548E-05
N ₂ O	188.92	1.829	1.85406E-05
AIR4	287.20	1.203	1.82367E-05
AIR7	287.20	1.203	1.82367E-05
VAC	287.20	1.203	1.82367E-05

Model matematyczny izotermicznego przepływu gazu [8, 9, 10] zakłada zmianę ciśnienia wzdłuż drogi przepływu, a z nią zmianę właściwości fizycznych: gęstości, kinematycznego współczynnika lepkości, współczynnika oporów liniowych. Chwilową prędkość przepływu w przewodzie w [m/s] wyznacza się z równania ciągłości

$$w = \frac{4m}{\pi \rho d^2} \quad (6)$$

gdzie:

m – strumień masy gazu [kg/s],

d – średnica przewodu [m],

ρ – gęstość gazu, zależna od ciśnienia [kg/m³].

Elementarną liniową stratę ciśnienia oblicza się z wzoru Darcy-Weisbacha [9]

$$dp = -\lambda \frac{dx}{d} \frac{\rho w^2}{2} \quad (7)$$

gdzie

dp – elementarna liniowa strata ciśnienia [Pa],

dx – elementarna długość przewodu [m],

d – średnica wewnętrzna przewodu [m],

λ – współczynnik oporów liniowych,

ρ – gęstość gazu [kg/m³],

w – średnia (w przekroju) prędkość przepływu gazu [m/s].

Po wykorzystaniu równania ciągłości w przewodzie oraz po przyjęciu z równania stanu gazu doskonałego (parametry gazów medycznych są odległe od punktu krytycznego) zależności [10]

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (8)$$

gdzie

ρ – gęstość gazu [kg/m³],

p – ciśnienie [Pa],

R – indywidualna stała gazowa [J/(kg K)],

T – temperatura bezwzględna gazu, [K],

równanie (7) przyjmie postać

$$dp = -\frac{8\lambda m^2 RT}{\pi^2 d^5 p} dx \quad (9)$$

z której, po scałkowaniu, można wyprowadzić wzór [9]

$$p_1^2 - p_2^2 = -\frac{16\lambda m^2 RT}{\pi^2 d^5} l \quad (10)$$

gdzie:

l – długość przewodu [m],

pozostałe oznaczenia jak we wzorach (6)..(9).

Współczynnik oporów liniowych wyznacza się w strefie ruchu burzliwego z wzoru Colebrook-White'a przy średniej wartości ciśnienia w odcinku obliczeniowym instalacji [9]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.71d} \right) \quad (11)$$

gdzie:

λ – współczynnik oporów liniowych,

d – średnica wewnętrzna przewodu [m],

k – chropowatość bezwzględna ścianki przewodu [m],

Re – liczba Reynoldsa.

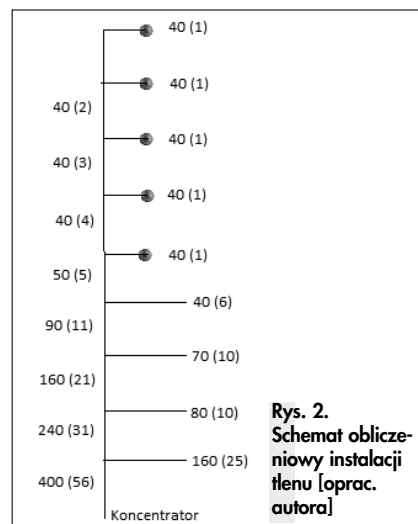
W strefie ruchu laminarnego (występuje w przypadku gazów medycznych) ma zastosowanie wzór Hagen-Poiseuille'a [9]

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (12)$$

Oznaczenia jak we wzorze (11).

Opory miejscowe wyznaczone są ogólnie znaną procedurą w funkcji współczynników oporów miejscowych.

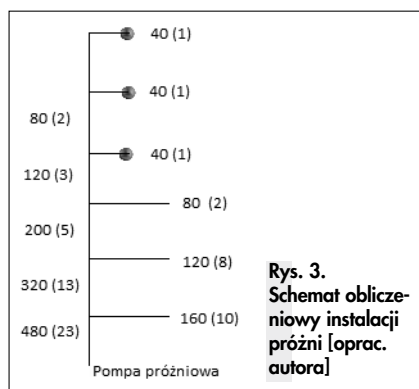
W tabeli 5 pokazano przykładowe obliczenia instalacji tlenu, w tabeli 6 instalacji



Rys. 2. Schemat obliczeniowy instalacji tlenu [oprac. autora]

Tab. 5. Obliczenia hydrauliczne instalacji tlenu [20] (ciśnienie podano jako absolutne, Δp_m – miejscowa strata ciśnienia, indeks „1” – początek odcinka, „2” – koniec odcinka) (oznaczenia jak we wzorach 5..12)

Nr odc.	V [dm³/min]	m [kg/s]	l [m]	dz [mm]	$\Sigma \zeta^*$	d _w [mm]	p ₁ [bar]	p ₁ [kg/m³]	p ₂ [kg/m³]	w ₁ [m/s]	w ₂ [m/s]	d(p²)	Δp_m [bar]	p ₂ [bar]	Δp [kPa]
1	400	0.0089	30.0	22	12.0	20.0	5.000	6.568	6.511	4.30	4.33	0.355	0.007	4.957	4.292
2	240	0.0053	15.0	22	6.5	20.0	4.957	6.511	6.500	2.60	2.61	0.072	0.001	4.948	0.875
3	160	0.0035	25.0	22	4.5	20.0	4.948	6.500	6.495	1.74	1.74	0.034	0.000	4.944	0.388
4	90	0.0020	3.0	12	8.0	10.0	4.944	6.495	6.480	3.91	3.92	0.073	0.004	4.933	1.141
5	50	0.0011	2.0	10	6.0	8.0	4.933	6.480	6.473	3.40	3.41	0.033	0.002	4.927	0.561
6	40	0.0009	12.0	10	0.5	8.0	4.927	6.473	6.451	2.73	2.73	0.159	0.000	4.911	1.625
7	40	0.0009	2.0	10	0.5	8.0	4.911	6.451	6.447	2.73	2.74	0.026	0.000	4.908	0.281
8	40	0.0009	2.0	10	0.5	8.0	4.908	6.447	6.444	2.74	2.74	0.026	0.000	4.906	0.281
9	40	0.0009	2.0	10	7.0	8.0	4.906	6.444	6.438	2.74	2.74	0.026	0.002	4.901	0.438
															9.881



Rys. 3.
Schemat obliczeniowy instalacji próżni [oprac. autora]

ściwe działanie instalacji: zbyt małą wydajność lub niedotrzymany reżim ciśnienia w przewodach rozprowadzających gazy medyczne. Sytuacja w polskich szpitalach nie jest najlepsza, ocenia się [3], że zaledwie 25% szpitali jest wyposażonych w instalacje gazów medycznych spełniających współczesne standardy użytkowe i bezpieczeństwa. Tej sytuacji nie sprzyja obecny model projektowania, traktujący instalację gazów medycznych jako wyrób, który „wymyka się” z procesu projektowania, a jest przedmiotem dostawy na plac

- [5] Medical Gas Design Guide, Amico, <https://amico-apps.com/amico-website/files/downloads/amico-as-medical-gas-design-guide.pdf>.
- [6] Szałański P., Cepiński W.: *Prawdopodobieństwo przeniesienia wirusa SARS-CoV-2 w pomieszczeniach wentylowanych*, INSTAL 2/2022. DOI 10.36119/15.2022.2.5
- [7] Medical gases, Health Technical Memorandum (HTM-03-01 part A, part B), Department of Health.
- [8] Żarski K. *Mechanika płynów. Wybrane zagadnienia w ujęciu komputerowym*, Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa 2007.
- [9] Żarski K. *Termodynamika. Zagadnienia praktyczne w ogrzewnictwie i wentylacji*, Ośrodek

Tab. 6. Obliczenia hydrauliczne instalacji próżni [20]

Nr odc.	V [dm ³ /min]	m [kg/s]	l [m]	dz [mm]	Σζ	d _w [mm]	p ₁ [bar]	ρ ₁ [kg/m ³]	p ₂ [kg/m ³]	w ₁ [m/s]	w ₂ [m/s]	d(p ²)	Δp _{pm} [bar]	p ₂ [bar]	Δp [kPa]
1	40	0.0008	2.0	15	2.5	13.0	0.600	0.713	0.710	8.47	8.51	0.002	0.001	0.598	0.216
2	80	0.0016	2.0	18	1.0	16.0	0.598	0.710	0.708	11.23	11.27	0.002	0.000	0.595	0.237
3	120	0.0024	2.0	22	1.0	20.0	0.595	0.708	0.706	10.82	10.86	0.002	0.000	0.594	0.176
4	200	0.0040	31.0	28	3.5	25.6	0.594	0.706	0.685	11.04	11.38	0.019	0.002	0.576	1.738
5	320	0.0064	42.0	35	8.5	32.0	0.576	0.685	0.660	11.65	12.10	0.020	0.004	0.555	2.132
6	480	0.0096	80.0	42	12.0	39.0	0.555	0.660	0.620	12.22	12.99	0.030	0.006	0.522	3.323
															8.071

próżni [20]. Kryterium wstępnym doboru średnicy jest maksymalna prędkość przepływu $w_{max} = 15$ m/s. Schemat obliczeniowy instalacji tlenu i próżni pokazano na rys. 2 i 3. Na odnośnikach podano strumień objętości gazu [l/min] i liczbę punktów poboru (w nawiasie). Długość odcinków podano w tabeli. Sumę współczynników oporów miejscowych wyznaczono w oparciu o układ geometryczny instalacji.

Podsumowanie

W projektowaniu instalacji gazów medycznych podstawowe znaczenie mają wstępne uzgodnienia projektowe z użytkownikiem szpitala. Dotyczą one rozmieszczenia punktów poboru gazów medycznych i określenia liczby punktów poboru działających jednocześnie zarówno w odniesieniu do poszczególnych oddziałów szpitala, jak i całego obiektu. Dobór średnicy przewodów i obliczenie straty ciśnienia w przewodach jest kwestią wtórną, zależną od przyjętych założeń. Materiały o charakterze technicznym [5,7] mogą mieć przy ustaleniu założeń projektowych wyłącznie znaczenie pomocnicze. Można je stosować we wstępnej fazie projektowania, np. przy opracowaniu koncepcji. Wielkości jednostkowych strumieni gazów medycznych do projektu mogą być przyjęte na podstawie [4,7]. Projekt techniczny wymaga przyjęcia założeń ściśle ustalonych z użytkownikiem lub zamawiającym, albowiem niespełnienie wymagań użytkownika może oznaczać niewła-

ściwe działanie instalacji. Utrudnia to koordynację branż projektu szpitala i nie dostarcza kompletnej informacji o systemie na etapie projektowania. Oczywiście, autor nie wyklucza prawidłowej współpracy firmy dostarczającej instalacje gazów medycznych z zamawiającym lub użytkownikiem szpitala, jeśli zajmuje się tym firma o odpowiednich kompetencjach. W artykule podano zasady obliczeń hydraulicznych instalacji gazów medycznych, które w postaci algorytmów obliczeniowych i programów kalkulacyjnych mogą być wykorzystane do projektowania. Model przepływu izotermicznego, prezentowany w tym artykule, może być rozszerzony do modelu nieizotermicznego przez uwzględnienie zmiany temperatury gazu na drodze przepływu. Model ten byłby przydatny przy prowadzeniu instalacji gazów medycznych przez przestrzenie o zróżnicowanej temperaturze.

LIETRATURA

- [1] Belachev N.: *Medical Gas Pipeline Distribution System Design Using Matlab*, Addis Ababa University, 2020.
- [2] Charkowska A.: *Systemy wentylacji i klimatyzacji w szpitalach – dostępne rozwiązania, optymalizacja kosztów*, dlaszpitali.pl, dostęp 02.2023.
- [3] Majewski A.: *Zmiany potrzebne jak tlen*, file: /MZ_Art_21549-10.pdf, dostęp 02.2023.
- [4] Makowski Z., Makowski J.: *Instalacje gazów medycznych*, Placówki Medyczne, nr specjalny, <https://www.muratorplus.pl/technika/ochrona-osob-i-mienia/instalacje-gazow-medycznych-budowa-zasilanie-i-bezpieczenstwo-instalacji-aa-qTwC-hnTo-xPsg.html>, dostęp 02.2023.

- Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa 2005.
- [10] Ustawa o wyrobach medycznych z dnia 7 kwietnia 2022 r. (Dz. U. z 2022 r. poz. 974).
- [11] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 26.06.2012 r. w sprawie szczegółowych wymagań jakim powinny odpowiadać pomieszczenia i urządzenia podmiotu wykonującego działalność leczniczą (Dz. U. z 2012 r. poz. 739).
- [12] PN-EN ISO 13485:2016-04: Wyroby Medyczne. Systemy Zarządzania Jakością. Wymagania do celów przepisów prawnych (wersja angielskojęzyczna).
- [13] PN-EN 9170-1:2008: Systemy rurociągowo do gazów medycznych. Część 1: Punkty poboru do sprężonych
- [14] PN-EN ISO 7396-1:2010: Systemy rurociągowo do gazów medycznych – Część 1: Systemy rurociągowo do sprężonych gazów medycznych i próżni
- [15] PN-EN ISO 7396-2:2011: Systemy rurociągowo do gazów medycznych – Część 2: Systemy odprowadzające zużyte gazy anestetyczne
- [16] PN-EN 13348:2016-09: Miedź i stopy miedzi. Rury miedziane okrągłe bez szwu do gazów medycznych lub próżni
- [17] Warunki techniczne: Instalacje z rur miedzianych, COBRTI Instal. 2012.
- [18] Wytyczne projektowania szpitali ogólnych, Gazy medyczne, wyd. MZiOS, Warszawa 1984.
- [19] <https://docplayer.pl/20385788-Gazy-medyczne-w-szpitalu.html>, dostęp 02.2023.
- [20] Program obliczeń straty ciśnienia w przewodach instalacji gazów medycznych, opracowanie autora.