

Zyski wilgoci z parowania jako parametr projektowy instalacji wentylacji krytych basenów pływackich

Moisture gains from evaporation as a design parameter for the ventilation system of indoor swimming pools

JAGODA PRZYBYLAK, KATARZYNA RATAJCZAK

DOI 10.36119/15.2019.11.3

Zyski wilgoci z parowania są istotnym parametrem wpływającym na projekt instalacji wentylacji w krytych basenach pływackich. W literaturze dostępnych jest wiele wzorów do obliczania wielkości zysków wilgoci. Trudne może być wybranie wzoru właściwego. Przedstawione analizy mają na celu pokazać, jaki jest wpływ wyboru zależności do wyliczania zysków wilgoci na wielkość przewodów wentylacyjnych, czyli na koszty inwestycyjne instalacji. Dokonano przeglądu wzorów do obliczania zysków wilgoci, wybrano trzy zależności rekomendowane w literaturze oraz wyznaczono strumień powietrza nawiewanego, wielkość przewodów wentylacyjnych oraz centrali wentylacyjnej. Wyniki pokazują, że poprzez wybranie różnych wzorów do wyznaczania zysków wilgoci koszty przewodów wentylacyjnych oraz central wentylacyjnych zastosowanych w przykładowym obiekcie basenowym mogą różnić się w skrajnych przypadkach nawet pięciokrotnie. Wykazano, że przyjęcie nawet średniej wartości zysków wilgoci daje wyniki zawyżone w stosunku do ilości odparowującej wody zmierzonej w obiektach rzeczywistych. Z uwagi na mnogość wzorów do wyznaczania zysków wilgoci w basenach krytych należy uważnie wybierać wzór do zastosowania, ponieważ zyski wilgoci są bardzo istotnym parametrem projektowym, który wpływa na koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne.

Słowa kluczowe: parowanie; zyski wilgoci; wentylacja basenów

Moisture gains from evaporation are an important parameter affecting the design of a ventilation system in indoor swimming pools. There are many formulas available in the literature for calculating the amount of moisture gain. It may be difficult to choose the right one. The analyzes presented are intended to show what is the impact of the choice of formula to calculate moisture gains on the size of ventilation ducts, i.e. the investment costs of the installation. The formulas for calculating the moisture gains were reviewed, three recommended in the literature were selected and the supply air stream was determined as well as the size of ventilation ducts and the ventilation unit. The results show that by choosing different formulas for determining moisture gains, the costs of ventilation ducts and air handling units used in an example pool facility may vary in extreme cases even up to five times. It has been shown that the adoption of the average value of moisture gains results in excessive results in relation to the amount of evaporating water measured in real facility. Due to the multiplicity of formulas for determining moisture gains in indoor pools, the applied formula needs to be carefully chosen, because moisture gains are a very important design parameter that affects investment and operating costs.

Keywords: evaporation; moisture gains; swimming pool ventilation

Spis symboli

c, c_d – współczynnik odparowania (ilość gramów wody, która odparowuje z powierzchni 1 m^2 w ciągu godziny przy różnicy ciśnień cząstkowych 1 mmHg) [$\text{kg/h} \cdot \text{mmHg} \cdot \text{m}^2$]	k_p – współczynnik uwzględniający zwiększenie ilości odparowanej wilgoci w warunkach basenowych	p_a – ciśnienie absolutne powietrza wilgotnego [Pa]
F – powierzchnia lustra wody [m^2]	L_b – współczynnik korygujący – uwzględniający warunki basenowe	p_b – ciśnienie barometryczne [mmHg]
F_a – współczynnik aktywności osób korzystających z pływalni	l_p – współczynnik jednoczesności przebywania ludzi	p_w – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu, w którym zachodzi parowanie, [Pa], [mmHg]
F_u – współczynnik zwiększający uwzględniający liczbę osób w basenie	\dot{m}_w – zyski wilgoci z odparowania z powierzchni wody [$\text{kg/h} \cdot \text{m}^2$], [kg/h]	p''_w – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w warstwie granicznej przy stanie nasycenia i temperaturze powierzchni wody, [Pa], [hPa], [mmHg]
	N – liczba osób kąpiących się [os]	r – ciepło parowania [kJ/kg]
	n – liczba osób w pomieszczeniu [os]	t_s – średnia temperatura powietrza (wyznaczana jako średnia arytmetyczna)

inż. Jagoda Przybylak – Koło Naukowe Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, Poznań, ORCID: ID: <https://orcid.org/0000-0002-1322-0235>; dr inż. Katarzyna Ratajczak – Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, Poznań, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6950-8262>. Adres do korespondencji: katarzyna.m.ratajczak@put.poznan.pl

- tyczna temperatury powietrza w hali basenowej i warstwie granicznej) [°C]
- \dot{V}_N – strumień powietrza nawiewanego [m³/h]
- \dot{V}_p – jednostkowy strumień powietrza zewnętrznego na osobę [m³/h · os]
- w – prędkość ruchu powietrza nad powierzchnią wody [m/s]
- x – zawartość wilgoci w powietrzu, w którym zachodzi parowanie, [kg/kg], [kg/kg]
- x'' – zawartość wilgoci w powietrzu warstwy granicznej [kg/kg]
- Δx – różnica zawartości wilgoci w powietrzu w hali basenowej i w powietrzu nawiewanym [kg/kg]
- α – współczynnik uwzględniający ruch grawitacyjny powietrza w zależności od temperatury powierzchni cieczy i powietrza w pomieszczeniu
- ε – współczynnik odparowania, [g/(m² · h · hPa)] [g/h · hPa · m²]
- ρ, ρ_p – gęstość powietrza [kg/m³]
- ρ_{pw} – gęstość powietrza w warstwie granicznej [kg/m³]
- σ – współczynnik odparowania,

Wprowadzenie

Głównym zadaniem instalacji wentylacyjnej w halach basenowych jest odprowadzenie zysków wilgoci z parowania. Dodatkowo poprzez instalację wentylacyjną utrzymuje się stałą temperaturę powietrza w okresie zimowym i przejściowym, w celu zapewnienia ludziom komfortu cieplnego. Instalacja wentylacyjna musi mieć wystarczająco dużą wydajność osuszania, aby być w stanie odprowadzić odparowującą wodę z niecki basenowej i zapobiegać wykrapaniu się wilgoci na przegrodach konstrukcyjnych. W celu określenia wielkości instalacji wentylacyjnej należy wyznaczyć zyski wilgoci z odparowującej wody. W literaturze znaleźć można wiele wzorów, proponowanych przez różnych autorów, służących do wyznaczania ilości odparowującej wody z basenów krytych.

Ważnym aspektem przy projektowaniu układu wentylacyjnego jest również zabezpieczenie przegród budowlanych. W przypadku braku wentylacji wilgoć wykraplałaby się na przegrodach o niższej temperaturze, takich jak: ściany zewnętrzne, okna czy sufit, a to prowadziłoby do powstawania między innymi pleśni i grzybów [9]. W halach basenowych należy utrzymać wysoką temperaturę oraz wilgotność względną na odpowiednim poziomie. Dla basenu sportowego tempe-

ratura wody powinna wynosić 28°C, temperatura powietrza 30°C, a wilgotność względna 60% [5][6].

Intensywność parowania wody zależy głównie od [9]:

- wielkości powierzchni lustra wody,
- wielkości zwilżonych posadzek,
- temperatury wody i powietrza oraz relacji między nimi,
- temperatury posadzki,
- prędkości ruchu powietrza nad lustrem wody,
- liczby i aktywności osób korzystających z basenów,
- rodzaju i liczby atrakcji wodnych.

Zyski wilgoci z parowania z basenów użytkowanych i nie użytkowanych oraz atrakcji wodnych

W literaturze nie ma jednomyślnego sposobu określania zysków wilgoci w halach basenowych, ale większość podawanych wzorów opiera się na prawie parowania cieczy Daltona [5].

W momencie, gdy ciśnienie cząstkowe pary wodnej w warstwie granicznej będzie wyższe od ciśnienia cząstkowego w otaczającym powietrzu, nastąpi parowanie wody. Parowanie jest intensywniej-

Gęstość strumienia masy odparowanej wody \dot{m}_w można wyznaczyć z zależności wynikającej z prawa Daltona [5]:

$$\dot{m}_w = \sigma \cdot (p_w'' - p_w) \left[\frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}_B^2} \right] \quad (1)$$

Wykorzystując zależność między ciśnieniem cząstkowym pary wodnej i zawartością wilgoci w powietrzu otrzymujemy zależność:

$$\dot{m}_w = \sigma \cdot (x'' - x) \left[\frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}_B^2} \right] \quad (2)$$

We wzorach na ilość odparowującej wody dostępnych w literaturze występują różnice wynikające z metod uwzględniania w obliczeniach wzburzonej powierzchni lustra wody. W skrajnych przypadkach rozbieżności w otrzymanych wynikach sięgają ponad 550% [9]. Zależności służące do obliczania zysków wilgoci można podzielić na zależności dotyczące basenów nieużytkowanych i basenów użytkowanych.

Zyski wilgoci w basenach nieużytkowanych

W okresie nocy, gdy w basenie nie ma użytkowników, powierzchnia wody jest niewzbudzona. W tabeli 1 zestawiono

Tabela 1 Zyski wilgoci z parowania w basenach nieużytkowanych [6]
Table 1 Moisture gains from evaporation in unoccupied pools [6]

Autor wzoru	Zyski wilgoci $\left[\frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}_B^2} \right]$	Uwagi
Carrier	$\dot{m}_w = \frac{42,6 + 37,6 \cdot w}{r} \cdot (p_w'' - p_w) \cdot F$	-
M. Malicki	$\dot{m}_w = (\alpha + 0,0174 \cdot w) \cdot \frac{760}{p_B} \cdot (p_w'' - p_w) \cdot F$	$t_p = 15 \div 30^\circ\text{C}$ $t_w < 30^\circ\text{C}$ $\alpha = 0,022$
J. Ferencowicz	$\dot{m}_w = c \cdot \frac{760}{p_B} \cdot \frac{p_w'' - p_w}{1000} \cdot F$	$c = 22,9 + 17,4 \cdot w$
Recknagel-Sprenger-1	$\dot{m}_w = (25 + 19 \cdot w) \cdot (x'' - x) \cdot F$	-
Dienelt	$\dot{m}_w = (30 + 14 \cdot w - 0,26 \cdot t_j) \cdot (x'' - x) \cdot F$	-
Recknagel-Sprenger-2	$\dot{m}_w = \sigma \cdot (x'' - x) \cdot F$	$\sigma = 10$
Shah-1	$\dot{m}_w = 0,00005 \cdot (p_w'' - p_w) \cdot F$	-
Shah-2	$\dot{m}_w = 35 \cdot \rho_p \cdot (\rho_{pw} - \rho_p)^{\frac{1}{3}} \cdot (x'' - x) \cdot F$	-
Smith	$\dot{m}_w = \frac{70 + 0,35 \cdot w}{r} \cdot (p_w'' - p_w) \cdot F$	-
VDI 2089-1	$\dot{m}_w = \varepsilon \cdot \frac{p_w'' - p_w}{1000} \cdot F$	$\varepsilon = 5$

rze, jeśli różnica tych ciśnień jest większa, dodatkowo na proces parowania ma wpływ szybkość odpływu pary wodnej z warstwy granicznej, czyli prędkość ruchu powietrza nad powierzchnią lustra wody. Warstwa graniczna znajduje się przy powierzchni wody, jej temperatura jest równa temperaturze wody, a wilgotności względna 100% [5].

wzory do obliczania zysków wilgoci dla basenów krytych nieużytkowanych.

Zyski wilgoci w basenach użytkowanych

W przypadku gdy basen jest użytkowany, a woda wzburzona zyski wilgoci z parowania są większe. W większości wzorów występują współczynniki zwiększające. W tabeli 2 zestawiono wzory do

Tabela 2 Zyski wilgoci z parowania w basenach użytkowanych [6]
Table 2 Moisture gains from evaporation in occupied pools [6]

Autor wzoru	Zyski wilgoci $\left[\frac{kg}{h \cdot m^2} \right]$	Uwagi
Besler	$\dot{m}_w = 0,073 \cdot (p''_w - p_w) \cdot F$	$t_p = 25 \div 28^\circ C$ $t_w = 22 \div 25^\circ C$ $w = 0,2 \text{ m/s}$
Labohm	$\dot{m}_w = L_b \cdot (25 + 19 \cdot w) \cdot (x'' - x) \cdot F$	$L_b = 3 \div 3,5$
Kappler	$\dot{m}_w = k_p \cdot (25 + 19 \cdot w) \cdot (x'' - x) \cdot F$	k_p
VDI 2089-2	$\dot{m}_w = \varepsilon \cdot \frac{p''_w - p_w}{1000} \cdot F$	$\varepsilon = 28$
Biasin&Krumme	$0,01995 \cdot F_u \cdot (p''_w - p_w)$ $0,0118 + \varphi \cdot F$ $\dot{m}_w = \varphi$	$F_u = 0,7 \div 1,0$
Shah-3	$\dot{m}_w = 35 \cdot F_a \cdot \rho_p \cdot (p_{pw} - p_p)^{\frac{1}{3}} \cdot (x'' - x) \cdot F$	$\frac{F}{N} > 45 \rightarrow F_a = 5,85 \cdot \frac{N}{F} + 1,2$ $\frac{F}{N} = 4,5 \div 45 \rightarrow F_a = 14,85 \cdot \frac{N}{F} + 1$ $\frac{F}{N} < 4,5 \rightarrow F_a = 2,5$
Dobrowolski	$\dot{m}_w = c_d \cdot (p''_w - p_w) \cdot F$	$c_d = 0,078$
Carrier-2	$\dot{m}_w = 1,5 \cdot \frac{42,6 + 37,6 \cdot w}{r} \cdot (p''_w - p_w) \cdot F$	-
Kołodziejczyk	$\dot{m}_w = \frac{27,36}{p_a} \cdot (p''_w - p_w) \cdot F$	-
Recknagel – Sprenger-3	$\dot{m}_w = \sigma \cdot (x'' - x) \cdot F$	$\sigma = 30$
Shah-4	$\dot{m}_w =$ $= \left(0,113 - \frac{0,000079}{F_u} + 0,000059 \cdot (p''_w - p_w) \right) \cdot F$	$F_u = 0,7 \div 1,0$

obliczania zysków wilgoci dla basenów krytych użytkowanych.

Zyski wilgoci z atrakcji wodnych

W wielu basenach oprócz niecki basenu sportowego występują atrakcje wodne w postaci: jacuzzi, zjeżdżalni, biczy wodnych czy fontann. Obecność tych dodatkowych elementów powoduje znaczące zwiększenie zysków wilgoci z parowania.

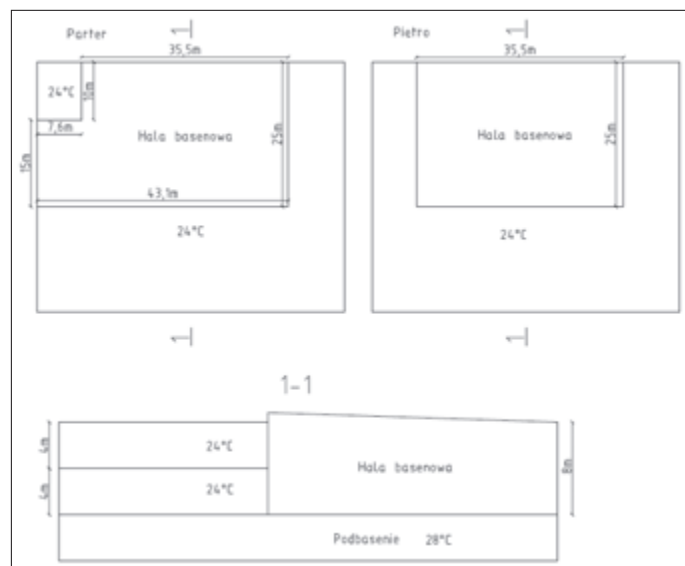
Ocena parowania z atrakcji wodnych jest trudna, jednak istnieją źródła literaturowe, w których zestawione są ilości zysków wilgoci z danej atrakcji wodnej. W tabeli 3 zestawiono ilości odparowującej wody z wybranych atrakcji wodnych.

Im w hali basenowej będzie więcej atrakcji wodnych, tym dodatkowe atrak-

cje wodne będą miały większy udział w całkowitych zyskach wilgoci w hali basenowej.

Jak pokazano w artykule [10] dla typowego basenu sportowego, w którym

Rys. 1. Analizowana hala basenowa
Fig. 1. Swimming pool facility



występuje mała część rekreacyjna z biczami szkockimi, gejzerem wodnym i dwoma natryskami zyski wilgoci obliczone dla całej hali basenowej wyniosły 132,3 kg/h, a odparowanie z atrakcji wodnych stanowiło 6,8 kg/h, czyli około 6%.

W przypadku występowania większej liczby atrakcji wodnych, czyli w basenach

rekreacyjnych, udział zysków wilgoci z atrakcji wodnych będzie znacząco większy, co należy przewidzieć w obliczeniach projektowych.

Koncepcja wentylacji dla krytego basenu w oparciu o literaturowe zależności do wyznaczania zysków wilgoci

Analizowany budynek

Do analizy wybrano typowy obiekt basenowy zlokalizowany w Poznaniu, w którym znajduje się niecka basenu sportowego o wymiarach 25x16x1,8m. Przyjęto, że basen jest użytkowany w godzinach 6:00-22:00. Maksymalna liczba użytkowników, która jednocześnie może pływać w basenie to 48.

Temperatura wody w basenie wynosi 28°C, temperatura powietrza w hali basenowej 30°C. Prędkość powietrza nad lustrem wody wynosi 0,2 m/s. Ciśnienie barometryczne jest równe 1000hPa. Wilgotność powietrza w dzień została przyjęta na poziomie 60% (wykorzystana we wzorach dla basenów użytkowanych) natomiast w nocy 65% (wykorzystana we wzorach dla basenów nieużytkowanych) [6]. W analizowanej hali basenowej zastosowano, oprócz instalacji wentylacyjnej, instalację ogrzewania, która ma pokryć część strat ciepła przez przenikanie.

Schemat analizowanej hali basenowej pokazano na rysunku 1.

Tabela 3 Zyski wilgoci z parowania z atrakcji wodnych [10]

Table 3 Moisture gains from evaporation from water attractions [10]

Rodzaj atrakcji wodnej	Zyski wilgoci [g/h]
Bicze szkockie	3 000
Grzybek	3 000
Gejzer wodno-powietrzny	5 000
Kurtyna wodna	5 000
Masaż podwodny	3 000
Natrysk	400
Zjeżdżalnia (na 1m długości)	500
Dzika rzeka (1 m długości)	300
Wir wodny (na 1m ² powierzchni)	800

Koncepcja instalacji wentylacyjnej

Wentylację mechaniczną w basenach krytych projektuje się w oparciu o kryterium usunięcia zysków wilgoci [10].

$$\dot{V}_N = \frac{\dot{m}_w}{\rho \div \Delta x} \left[\frac{kg}{h} \right] \quad (3)$$

Tak obliczony strumień powietrza wentylacyjnego jest duży, z uwagi na znaczne zyski wilgoci w obiektach basenowych i powinien być w stanie dodatkowo pokryć potrzeby cieplne hali basenowej (pokryć straty ciepła w okresie zimy oraz odebrać zyski wilgoci w okresie lata) [10]. W oparciu o bilans ciepło-wilgotnościowy obiektu basenowego [11] potrzeby cieplne mogą być zapewnione poprzez dobór odpowiedniej temperatury powietrza nawiewanego – wyższej w okresie zimowym, a niższej w okresie letnim.

Różnica między zawartością wilgoci w powietrzu wywiewanym i nawiewanym została określona jako $\Delta x = 5 \text{ g/kg}$ [6]. Przyjęto, że powietrze nawiewane do hali basenowej ma duży potencjał osuszania. Przyjęcie mniejszej różnicy zawartości wilgoci w powietrzu wywiewanym i nawiewanym skutkowałaby koniecznością zaprojektowania większego strumienia powietrza nawiewanego. Przyjęta wartość Δx gwarantuje możliwość usunięcia zysków wilgoci z hali basenowej, a jednocześnie analizując parametry powietrza zewnętrznego jest możliwa do osiągnięcia w dużej części roku. W okresie lata, gdy zawartość wilgoci w powietrzu zewnętrznym jest większa i osiągnięcie takiej różnicy zawartości wilgoci może być trudne, może dojść do zwiększenia wilgotności względnej w hali basenowej powyżej założonej wartości granicznej. Jednakże w okresie lata baseny kryte nie są wykorzystywane tak intensywnie jak w okresie zimniejszym, więc ilość odparowującej wody jest mniejsza, zatem Δx może być mniejsza. W czasie wakacji wiele obiektów ma przerwy technologiczne, trwające nawet dwa miesiące. Jest to czas urlopów i korzystania z obiektów odkrytych lub naturalnych akwenów wodnych. Z tego powodu w artykule skupiono się na okresie zimowym i przejściowym, w których projektowana różnica zawartości wilgoci w powietrzu nawiewanym i wywiewanym wynosząca 5 g/kg jest możliwa do osiągnięcia.

W basenach krytych, należy zapewnić odpowiednią ilość powietrza zewnętrznego nawiewanego przez system wentylacyjny. Powietrze zewnętrzne należy doprowadzić w celu zapewnienia minimalnej ilości powietrza ze względów higienicznych oraz do rozcieńczenia związków chloru [5].

Strumień powietrza nawiewanego ze względów higienicznych można obliczyć według wzoru (4) [9].

$$\dot{V}_N = n \cdot l_p \cdot \dot{V}_p \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (4)$$

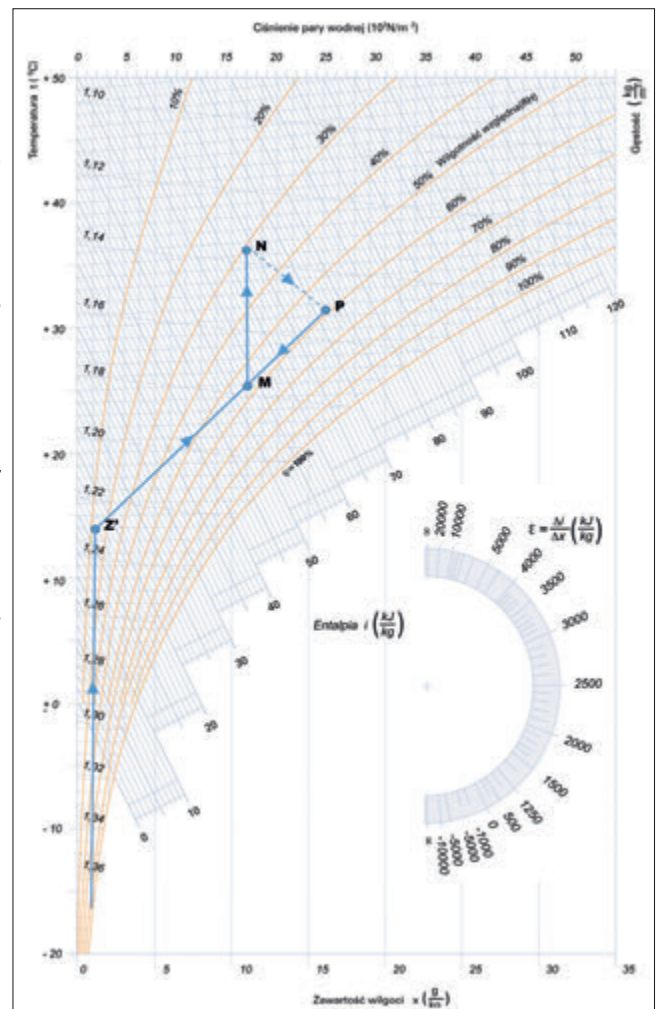
Jednostkowy strumień powietrza zewnętrznego na osobę dobrano według [8] $30 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{os})$.

Różnica temperatury powietrza między powietrzem nawiewanym a powietrzem w hali basenowej zimą będzie równa w analizowanym obiekcie $\Delta T=5\text{K}$ przy temperaturze zewnętrznej przyjętej dla II strefy klimatycznej, w której znajduje się analizowany obiekt basenowy, równej -18°C , a w przypadku wyższej tempera-

turem zewnętrzną. Skutkować to może zwiększeniem temperatury w hali basenowej. Jak wspomniano wcześniej, baseny kryte nie są popularnym miejscem spędzania czasu w okresie letnim i często w tym czasie wykonywana jest przerwa technologiczna, dlatego do szczegółowej analizy przyjęto okres zimowy i przejściowy. Przemiany powietrza w centrali wentylacyjnej w okresie zimy dla analizowanej hali basenowej pokazano na rysunku 2.

Rys. 2. Przemiany powietrza w centrali wentylacyjnej. Z – parametry powietrza zewnętrznego, Z' – parametry powietrza za wymiennikiem do odzysku ciepła, P – parametry powietrza wywiewanego z hali basenowej, M – parametry powietrza w komorze mieszania, N – parametry powietrza nawiewanego

Fig. 2. Transformations of air in the air handling unit. Z – outdoor air parameters, Z' – air parameters after the heat recovery exchanger, P – exhaust air parameters from the pool, M – air parameters in the mixing chamber, N – supply air parameters



turem zewnętrzną, ΔT będzie mniejsza. Różnicę temperatury między powietrzem nawiewanym i w pomieszczeniu obliczono dla projektowej temperatury wewnętrznej w oparciu o bilans strat i zysków ciepła analizowanej hali basenowej. Straty ciepła w okresie zimowym dla analizowanej hali basenowej wynikające z bilansu ciepło-wilgotnościowego wynoszą 40 kW . W okresie letnim, z uwagi na zwiększone zyski ciepła temperatura powietrza nawiewanego powinna być niższa niż temperatura w hali basenowej. Często jednak centrale wentylacyjne nie są wyposażone w chłodnice powietrza lub pompę ciepła, dlatego do hali basenowej nawiewane jest powietrze o parametrach powietrza

Zaproponowany rozdział powietrza w hali basenowej będzie rozdziałem dół-góra. Nawiew zlokalizowany będzie w posadzce wzdłuż przegród przeszklonych (nawiewniki szczelinowe), a wywiew zlokalizowany będzie u góry, centralnie nad niecką basenową.

Instalacja wentylacji powinna być zabezpieczona przed negatywnym wpływem związków chloru z powietrza wywiewanego na przewody wentylacyjne. Przewody oraz elementy centrali narażone na wilgotne powietrze zawierające związki chloru powinny być wykonane z materiałów odpornych na korozję [6].

Prędkość powietrza w przewodach wentylacyjnych, prędkość nawiewu i wywie-

wu oraz prędkość nawiewu w szczelinach wentylacyjnych została przyjęta 5 m/s. Prędkość wypływu powietrza w nawiewnikach szczelinowych jest duża, w celu osiągnięcia dużego zasięgu strumienia powietrza nawiewanego. Tak duża prędkość w pobliżu przegród przeszklonych nie powinna przekładać się na zwiększoną prędkość w strefie przebywania ludzi. [12]

Projektowany strumień powietrza wentylacyjnego i wielkość przewodów wentylacyjnych

Zyski wilgoci z parowania i strumień powietrza nawiewanego

Tabela 4 Zyski wilgoci z parowania w analizowanym basenie nieużytkowanym
Table 4 Moisture gains from evaporation in analyzed facility when pool is unoccupied

Autor	Zyski wilgoci	
	[kg/h]	[kg/(h·m ²)]
Carrier	82	0,21
M. Malicki	79	0,20
J. Ferencowicz	82	0,21
Recknagel-Sprenger-1	93	0,23
Dienelt	82	0,21
Recknagel – Sprenger-2	32	0,08
Shah-1	20	0,05
Shah-2	19	0,05
Smith	114	0,29
VDI 2089-1	20	0,05
Średnia	91	0,23

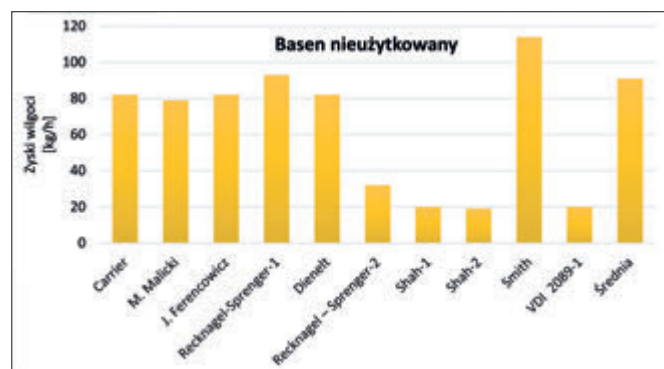
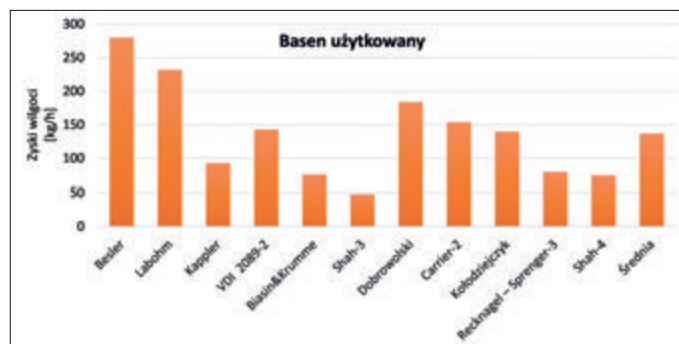


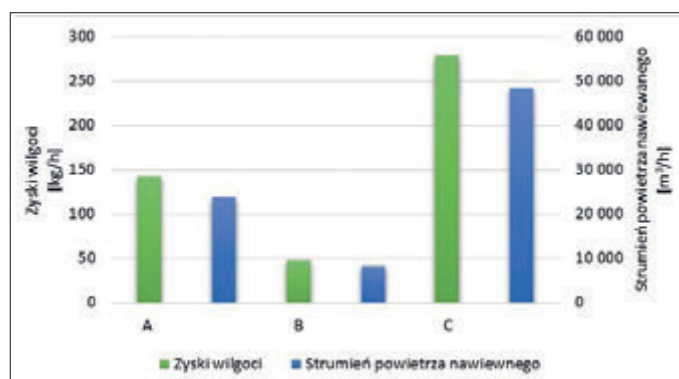
Tabela 5 Zyski wilgoci z parowania w analizowanym basenie w czasie użytkowania
Table 5 Moisture gains from evaporation in analyzed facility when pool is occupied

Autor	Zyski wilgoci	
	[kg/h]	[kg/(h·m ²)]
Besler	280	0,70
Labohm	232	0,58
Kappler	93	0,23
VDI 2089-2	143	0,36
Biasin&Krumme	76	0,19
Shah3	48	0,12
Dobrowolski	184	0,46
Carrier-2	154	0,39
Kołodziejczyk	140	0,35
Recknagel – Sprenger-3	80	0,20
Shah-4	75	0,19
Średnia	137	0,34

Rys. 4. Zyski wilgoci z parowania w analizowanym basenie w czasie użytkowania
Fig. 4. Moisture gains from evaporation in analyzed facility when pool is occupied



Rys. 5. Zyski wilgoci z parowania i strumień powietrza nawiewanego w koncepcji instalacji wentylacyjnej
Fig. 5. Moisture gains from evaporation and supply air stream in the concept of ventilation installation



Wykorzystując wzory przedstawione w tabeli 1 i 2 oraz założenia projektowe analizowanego budynku i instalacji wentylacyjnej obliczono zyski wilgoci dla przypadku, w którym basen jest nieużytkowany (tab.4 i rys.3) oraz w którym basen jest użytkowany (tab.5 i rys.4).

Rys. 3. Zyski wilgoci z parowania w analizowanym basenie nieużytkowanym
Fig. 3. Moisture gains from evaporation in analyzed facility when pool is unoccupied

Z uwagi na to, że większe wartości występują podczas użytkowania basenu, w dalszych analizach skupiono się jedynie na zyskach wilgoci z parowania w okresie użytkowania basenu. Wykonane zostaną trzy koncepcje wentylacji:

Wariant A – dla średniej wartości zysków wilgoci z parowania (VDI 2089-2)

Wariant B – dla najmniejszej wartości zysków wilgoci z parowania (Shah-3)

Wariant C – dla największej wartości zysków wilgoci z parowania (Besler)

Na rysunku 5 przedstawiono porównanie wartości zysków wilgoci obliczonych według trzech zależności branych pod uwagę przy wykonywaniu koncepcji instalacji wentylacyjnej w analizowanym basenie oraz wyliczony z zależności (3) strumień powietrza nawiewanego.

Wielkość przewodów wentylacyjnych i central wentylacyjnych

W oparciu o wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego i proponowany rozdział powietrza przyjmując jako kryterium doboru wielkości przewodów prędkość maksymalną 5 m/s, wyznaczono sumaryczną powierzchnię przewodów wentylacyjnych, które zestawiono w tabeli 6.

Różnica w wyliczonej powierzchni przewodów jest znacząca. W Wariancie C powierzchnia przewodów wentylacyjnych jest ponad 2,3 razy większa niż w przypadku wariantu B.

W oparciu o wielkość strumienia powietrza nawiewanego dobrano centrale wentylacyjne basenowe [1] dla każdego z trzech wariantów. Centrale basenowe

wyposażone są w podwójny przeciwprądowy wymiennik ciepła, dwie sekcje recykulacji, nagrzewnicę wodną, wentylator nawiewny i wywiewny oraz filtry kieszeniowe. Zestawienie parametrów powietrza dla okresu zimy oraz wielkości przewodów wentylacyjnych i zaproponowanych urządzeń przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6 Zestawienie charakterystycznych parametrów zaproponowanych wentylacji
Table 6 Summary of characteristic parameters of the proposed variants of ventilation

Wariant	Zyski wilgoci	Strumień powietrza nawiewanego	Temperatura i wilgotność bezwzględna powietrza nawiewanego	Powierzchnia przewodów	Centrala
	\dot{m}_w [kg/h]	\dot{V}_N [m ³ /h]	t_N, x_N [°C, g/kg]	A [m ²]	
A	143	23 830	35°C, 11,03g/kg	967,52	DP CF Pool Basic 24/30
B	48	8 300		601,64	DP CF Pool Basic 6/9
C	280	48 565		1418,06	2xDP CF Pool Basic 24/30

Ocena ekonomiczna zaproponowanych rozwiązań

Porównanie zaproponowanych wariantów ma na celu pokazanie zależności ilości zysków wilgoci obliczonych według różnych zależności dostępnych w literaturze od wielkości instalacji wentylacji oraz jej kosztów.

Po przeanalizowaniu cen przewodów wentylacyjnych za m² założono średnią cenę 80 zł/m². Sprawdzono również ceny zaproponowanych central wentylacyjnych. Koszty zaproponowanych rozwiązań zestawiono w tabeli 7.

Tabela 7 Zestawienie charakterystycznych parametrów zaproponowanych wariantów wentylacji
Table 7 Summary of characteristic parameters of the proposed variants of ventilation

Wariant	Koszty przewodów wentylacyjnych	Koszty centrali wentylacyjnej	Koszty całkowite (1EUR=4,3zł)
	[zł]	[EUR]	[zł]
A	77 400	72 000	387 000
B	48 130	30 000	117 130
C	113 445	144 000	732 465

Wraz ze wzrostem wielkości strumienia powietrza nawiewanego, sumaryczna cena przewodów oraz central jest wyższa. Poza przewodami i centralą, dobierane są również nawiewniki szczelinowe, kratki nawiewne i inne elementy, takie jak przepustnice, czy kształtki. Można zakładać, że w ich przypadku koszt również będzie większy przy większym strumieniu powietrza wentylacyjnego.

Koszty całkowite dla wariantu C są sześć razy większe niż w przypadku wariantu B. Instalacja zaprojektowana dla strumienia powietrza z wariantu B byłaby o blisko 270 000 zł tańsza niż instalacja dla wariantu średniego – A. Instalacja zaprojektowana dla strumienia powietrza z wariantu C byłaby o blisko 350 500 zł droższa niż dla wariantu średniego.

Wybór zależności do obliczania zysków wilgoci dla basenów krytych

Podsumowanie obliczeń

Zyski wilgoci z parowania przy projektowaniu instalacji wentylacyjnej dla krytego basenu pływakiego można obliczyć różnymi wzorami zaproponowanymi przez

żenie wilgotności względnej w hali basenowej, co w efekcie może spowodować intensyfikację odparowania. Jednocześnie koszty eksploatacyjne takiego rozwiązania będą znaczące, ponieważ wentylatory będą musiały przetłaczać znaczące ilości powietrza w każdej godzinie doby.

Wybierając zależność dającą najmniejszą wartość zysków wilgoci obniżamy koszty inwestycyjne i eksploatacyjne całej instalacji, ale istnieje ryzyko, że zaprojektowany strumień powietrza może nie być wystarczający, szczególnie w przypadku gdy basen byłby intensywnie użytkowany.

Pozostaje pytanie czy wartość średnia jest wartością, która powinna być wybrana jako wartość projektowa.

Porównanie uzyskanych wyników obliczeń z pomiarami parowania w obiektach rzeczywistych

W literaturze znaleźć można publikacje, w których autorzy przeanalizowali wzory wykorzystywane do obliczania zysków wilgoci w aspekcie wyników pomiarów ilości odparowującej wody w obiektach rzeczywistych.

Autorzy [7] wybrali do analizy wzór Cariera, rekomendowany przez wytyczne amerykańskie, wzór VDI rekomendowany w Niemczech, wzór Shaha i Biasin&Krumme jako wzory, które wykorzystują liczbę pływających osób. Porównali wartości obliczone oraz ilość odparowującej wody w dużym obiekcie basenowym w okresie dnia i nocy. Dodatkowo analizowana była liczba osób kąpiących się w basenie. Po porównaniu wartości obliczonych i zmierzonych stwierdzono, że w obiekcie rzeczywistym ilość odparowującej wody była mniejsza niż wartości policzone wszystkimi wskazanymi zależnościami. W okresie nocy, gdy lustro wody jest nie wzburzone i panują stabilne warunki - zmierzona ilość odparowującej wody była najbliższa tej obliczonej wzorem Shaha, podobnie w okresie nocy. Wzór Saha wykorzystany był przy obliczeniach Wariantu B.

Autorka [4] przeanalizowała dostępne w literaturze wyniki innych autorów, którzy w swoich publikacjach podawali zmierzoną ilość odparowującej wody podczas użytkowania basenów. W dwóch z przytoczonych wyników, przy temperaturze wody wynoszącej 28°C, czyli takiej jak w niniejszych badaniach, ilość odparowującej wody wynosiła 0,202 kg/(h·m²_B) oraz 0,235 kg/(h·m²_B). Wartości te są zbliżone do wyników obliczeń zależnościami Shaha (Wariant B), Biasin&Krumme i Kapplera pokazanych w tabeli 4 są zdecydowanie niższe od wartości analizowanych w Wariacie A (VDI 2089-2 – 0,36 kg/(h·m²_B)), niemal dwu-

autorów licznych artykułów. Wzory te można podzielić na parowanie z basenów użytkowanych i basenów nieużytkowanych. Parowanie z basenów nieużytkowanych jest łatwiejsze do wyznaczenia, ponieważ woda w niecce basenowej nie jest wzburzona. Do obliczenia zysków wilgoci z basenów użytkowanych autorzy stosują współczynniki zwiększające. Problematyczny może okazać się wybór właściwej zależności do obliczania zysków wilgoci.

Zyski wilgoci mają wpływ na wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego. Jak wykazano różnice w kosztach materiałów zastosowanych w instalacji wentylacyjnej, stosując wzory dające wartość najmniejszą, największą oraz średnią są znaczące. Różnica między skrajnymi wariantami wynosi 615 335 zł (koszty w wariacie C są dwa razy większe niż w wariacie B).

Najmniejsze zyski wilgoci uzyskuje się wykorzystując do obliczeń wzór Shaha-3 równą 48 kg/h, największą wykorzystując wzór Beslera równą 280 kg/h. Wartość bliska średniej została obliczona przy użyciu wzorów VDI 2089-2 i jest równa 143 kg/h.

Z uwagi na tak liczne wzory do wyznaczenia parowania oraz różnice w wielkości strumienia powietrza nawiewanego, która powoduje znaczące różnice w kosztach inwestycyjnych instalacji, bardzo ważne jest dobranie zależności właściwej.

Wybierając zależność dającą największą wartość projektant znajduje się po bezpiecznej stronie. Instalacja jest przewymiarowana, ale nie istnieje ryzyko, że instalacja nie będzie w stanie odebrać odparowującej wody. Większy strumień powietrza nawiewanego, przy założonej tej samej różnicy zawartości wilgoci w powietrzu nawiewanym i usuwanym z hali basenowej, będzie miał większy potencjał odbierania zysków wilgoci. Usunięcie zysków wilgoci w większej ilości spowoduje obni-

krotnie oraz od wartości analizowanych w Wariancie C (Besler – 0,7 kg/(h·m²)), trzy i pół raza.

Wielkość strumienia powietrza nawiewanego a zużycie energii

Jak wykazano w obliczeniach wielkość strumienia powietrza nawiewanego do hali basenowej może być różna w zależności od przyjętego wzoru do wyliczania zysków wilgoci z parowania. Oprócz wykazanego zwiększenia kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych związanych z przetłaczaniem powietrza przez wentylatory dla większego strumienia powietrza nawiewanego należy zwrócić uwagę również na inne aspekty związane z tym zagadnieniem.

Autorzy [2][3] analizowali wpływ wielkości strumienia i rozdziału powietrza wentylacyjnego na komfort cieplny użytkowników i rozkład parametrów w hali basenowej. Wykazali, że wielkość strumienia powietrza ma kluczowe znaczenie dla zużycia energii w systemie wentylacyjnym obiektu basenowego. Zmniejszanie strumienia powietrza prowadzi do oszczędności energii w obiekcie. W swoich symulacjach CFD wykazali, że możliwe jest zmniejszanie strumienia powietrza w halach basenowych i przynosi to realne oszczędności kosztów eksploatacyjnych.

Wnioski

1. Zyski wilgoci są istotnym parametrem projektowym dla instalacji wentylacyjnej krytych basenów pływakich w aspekcie doboru wielkości strumienia powietrza, wielkości przewodów wentylacyjnych i doboru centrali wen-

tylacyjnej, jednak mnogość wzorów do ich obliczania sprawia, że projektanci mogą mieć problem z doбором właściwej.

2. Wielkość zysków wilgoci ma znaczący wpływ na koszt wykonania instalacji wentylacyjnej oraz koszt centrali wentylacyjnej, a także koszty eksploatacyjne instalacji wentylacyjnej. Stosowanie zasady uśredniania wyników ze wszystkich dostępnych zależności może prowadzić do przewymiarowania instalacji, a przyjęcie skrajnych wartości zysków wilgoci skutkować zwiększeniem kosztów inwestycyjnych nawet sześciokrotnie.
3. Przytoczone przykłady pokazują, że w obiektach basenowych z nieką sportową intensywność parowania nie jest aż tak duża jak we wzorach obliczeniowych, a zastosowanie do doboru wielkości przewodów wentylacyjnych zysków wilgoci ze wzoru Saha (rekomendowanego do stosowania w wielu publikacjach) skutkuje obniżeniem kosztów przewodów wentylacyjnych o 40% w stosunku do wzoru dającego średnią wartość zysków wilgoci (VDI 2089).
4. Należałoby przeanalizować ilość odparowującej wody w większej liczbie obiektów basenowych rzeczywistych i na tej podstawie zarekomendować zależność do wyznaczania zysków wilgoci w celach projektowych.

LITERATURA

- [1] Centrala klimatyzacyjna z podwójnym przeciwprądowym wymiennikiem ciepła do hal krytych pływalni: katalog, Dan-Poltherm.
- [2] Ciuman P., Lipska B., Piękoś K., Trzeciaki-

wicz Z.: Wpływ strumienia objętości powietrza nawiewanego oraz systemu odzysku ciepła na zużycie energii w procesie wentylacji hali pływalni. Instal 2017 6 : 54-60.

- [3] Ciuman P., Lipska B., Trzeciakiwicz Z., Burda G.: Wpływ strumienia objętości powietrza wentylacyjnego na warunki komfortu cieplnego w hali szkolnej pływalni. Instal 2015 11 : 39-44.
- [4] Garnysz-Rachtan A.: Określenie strumienia masy odparowującej wody podczas użytkowania krytego basenu. Instal 2017 10 : 34-38.
- [5] Jaskólski M.: Micewicz Z.: Wentylacja i Klimatyzacja hal krytych pływalni. PPU Masta, Gdańsk 2000.
- [6] Ratajczak K.: Układy wentylacyjne krytych basenów kąpielowych w aspekcie energooszczędności, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2016.
- [7] Ratajczak K., Kunicki B.: Parowanie wody w krytych basenach pływakich. Monitoring parowania w obiekcie rzeczywistym oraz wpływ kąpiących się osób na ilość odparowującej wody. Rynek Instalacyjny 2016 1-2 : 40-44.
- [8] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2013, poz. 926, z dnia 13 sierpnia 2013 r.).
- [9] Sabiniań H. G., Pietras M.: Obciążenie wilgotnościowe hal basenowych. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 2005 36/2: 30-34.
- [10] Sabiniań H.G., Pietras M.: Obciążenie wilgotnościowe hal basenowych – kontynuacja. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2005 36/5: 31-34.
- [11] Sabiniań H.G., Pietras M.: Obciążenie cieplne hal basenowych. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja. 2005 36/6: 29-32.
- [12] Sabiniań H.G., Pietras M.: Systemy organizacji wymiany powietrza w halach basenowych. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2005 36/9: 30-31.

Legionella w instalacjach budynków

Autorzy: Andrzej Wolski, Krzysztof Kaiser

Spis treści

1. Wstęp
2. Legionelloza – przyczyny i konsekwencje zakażenia. Ryzyko infekcji
3. Środowiskowe czynniki rozwoju bakterii Legionella
4. Wpływ temperatury wody w instalacji ciepłej wody na rozwój bakterii Legionella
5. Wymagania aktów prawnych dotyczące występowania bakterii Legionella w instalacjach ciepłej wody
6. Węzły zasilające instalacje ciepłej wody – ograniczanie ryzyka rozwoju bakterii Legionella
7. Minimalizacja ryzyka rozwoju bakterii Legionella w instalacjach wodociągowych ciepłej wody
8. Dezynfekcja instalacji ciepłej wody
9. Legionella w instalacjach klimatyzacji – wentylacji
10. Bezpieczeństwo i higiena pracy podczas eksploatacji instalacji skażonych bakterią Legionella
11. Zalecenia dla szpitali
12. Literatura

Sprzedaż prowadzi:
Ośrodek Informacji

„Technika Instalacyjna Wbudownictwie”
02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14
tel. /fax: (22) 843-77-71

e-mail:
redakcja@informacjainstal.com.pl
www.informacjainstal.com.pl
Cena 45 zł

