

Edmund Nowakowski

ANALIZA PORÓWNAWCZA METOD OBLICZANIA NATEŻENIA PRZEPŁYWU WODY OBIEGOWEJ W BASENACH KĄPIELOWYCH

Względy sanitarno-higieniczne wymagają oczyszczania wody znajdującej się w basenie. Proces ten obejmuje przeważnie koagulację, filtrację, napowietrzanie (dezodyryzację) i dezynfekcję wody. Przebieg procesów oczyszczania wody obiegowej zależy od prawidłowego doboru urządzeń technologicznych. Wydajność tych urządzeń określa się na podstawie obliczeniowego natężenia przepływu wody obiegowej (cyrkulacyjnej), często określanego na podstawie czasu, w jakim objętość niecki basenu zostanie przetłoczona przez urządzenia stacji oczyszczania wody.

Znane w piśmiennictwie wartości lub wzory, według których określa się natężenie przepływu wody obiegowej, są bardzo zróżnicowane i ze względu na różną formę ich określania, trudne do porównania. Aby wartości te można było porównać, podane w piśmiennictwie wartości lub wzory odniesiono do objętości wodnej basenu $V_o = f(V_b)$.

Przegląd metod obliczeniowych

Piśmiennictwo krajowe z wcześniejszego okresu [1, 3] zalecało stosowanie następujących wartości natężenia przepływu wody obiegowej w krytych basenach publicznych:

Kołodziejczyk [1]: $V_o = (1/4 \div 1/6)V_b$

Kämper [2]: $V_o = (1/4 \div 1/8)V_b$

Rudziński [3]: $V_o = (1/4 \div 1/5)V_b$

W piśmiennictwie radzieckim [4, 5] intensywność cyrkulacji wody obiegowej w basenach kąpielowych określano następującymi wzorami:

Wychodząc z warunków hydraulicznych zmieszania wody obiegowej z wodą znajdującą się w basenie [4]:

$$V_o = \frac{1,8 d_o V_b}{31 b_o^2 + 213 d_o b_o} \quad (1)$$

Wychodząc z warunków eksploatacyjnych basenu [4]:

$$V_o = \frac{V_b \tau}{f_b h a} \quad (2)$$

z zaleceniem przyjmowania wartości współczynnika $a = 30$.

W późniejszym okresie Kiedrow [6] zmodyfikował formę powyższych wzorów. Wzór (1) można przekształcić do postaci:

$$V_o = \frac{209 d_o V_b}{b_o^2 + 6,871 d_o b_o} \quad (3)$$

Do wzoru tego Kiedrow [6] wprowadził współczynnik zmieszania wody (k):

$$V_o = \frac{209 d_o V_b k}{b_o^2 + 6,9 d_o b_o} \quad (4)$$

który jest zależny od prędkości wody na jej wypływie z otworów zasilających basen i wynosi:

v	0,8	1,0	1,5	2,2
k	0,9	1,1	1,6	1,8

Ponadto Kiedrow zaleca, aby średnice otworów doprowadzających wodę do niecki basenu stosowane były w zakresie $d_o = 0,025 \div 0,05$ m oraz aby obliczeniowa szerokość niecki basenu wynosiła:

$$b_o = B \text{ gdy } B \leq 15 \text{ m}$$

$$b_o = (0,5 \div 0,75)B \text{ gdy } B > 15 \text{ m}$$

Z powyższych zaleceń wynika, że dla stosowanych wymiarów niecek basenów $b_o = B$. W celu oceny zakresu wymaganych natężeń przepływu wody obiegowej wg wzoru (4) można przyjąć dwa skrajne przypadki stosowanych basenów:

— basen kąpielowy ogólnodostępny: dla $d_o = 0,053$ m; $v = 2$ m/s; $k = 1,8$; $b_o = 15$ m:

$$V_o = \frac{209 \cdot V_b \cdot 0,053 \cdot 1,8}{1,5^2 + 6,9 \cdot 0,053 \cdot 15} = (1/11,56)V_b$$

— basen kąpielowy dla dzieci: dla $b_o = B = 10$ m; $d_o = 0,036$ m; $v = 1$ m/s; $k = 1,1$:

$$V_o = \frac{209 \cdot V_b \cdot 0,036 \cdot 1,1}{10^2 + 6,9 \cdot 0,036 \cdot 10} = (1/12,38)V_b$$

W obydwu przypadkach można przyjąć, że $V_o = (1/12)V_b$.

Wzór (2) można również przekształcić do postaci, którą podał Kiedrow. Ponieważ $V_b/h = F_b$, otrzymujemy:

$$V_o = \frac{F_b \tau}{f_b a} \quad (5)$$

Wartość współczynnika a określa się z zależności:

$$a = \frac{N_d \tau}{V_b \beta} \quad (6)$$

Współczynnik β występujący we wzorze (6):

$$\beta = \tau \ln \frac{C_o - C_u}{C_o - C_b} / \Delta t \quad (7)$$

zależny jest od jakości wody (barwy) uzupełniającej (świeżej), wody obiegowej oraz wody basenowej, odniesionej do przedziału czasowego Δt . Wartości te można wyznaczyć dla basenów eksploatowanych. Do projektowania basenów Kiedrow zaleca następujące wartości współczynników β :

baseny sportowe: $\beta=1,5$

baseny kąpielowe: $\beta=2,5$

baseny resortowe: $\beta=2,0$

Wzór (5) można również uprościć. Przyjmując, że $n \sim F_b/f_b$ oraz $N_d = n\tau$, otrzymamy:

$$V_o = (\beta/\tau) V_b \quad (8)$$

Zakładając czas użytkowania basenu kąpielowego (τ) na 12 h ($\beta=2,5$), a basenów dla dzieci na 10 h ($\beta=2,5$), otrzymamy:

$$V_o = \frac{2,5}{12} V_b = (1/4,8) V_b$$

$$V_o = \frac{2,5}{10} V_b = (1/4) V_b$$

W Związku Radzieckim stosowany jest również wzór zaproponowany przez Rudzkiego [5], w którym uwzględnia się jakość wody uzupełniającej, prędkość filtracji wody oraz współczynnik obciążenia basenu:

$$V_o = \frac{C_o^{0,23} v_f^{0,17} p^{0,12}}{18,43} \quad (9)$$

W basenach kąpielowych krytych barwa wody obiegowej powinna być zbliżona do barwy wody uzupełniającej (wodociągowej) $C_o=20$. Po wszeczenie stosowane piaskowe filtry ciśnieniowe projektowane są dla prędkości filtracji $v_f=7 \div 8$ m/h, zatem $v_f^{0,17}=1,39 \div 1,42$ (przyjęto 1,4). Kiedrow [6] podał wartości współczynnika obciążenia basenów w zakresie $p=0,1 \div 2$ osób/m³d. Wartości tego współczynnika należy zatem odnieść do rozpatrywanych przypadków.

Przyjmując średnie głębokości wody w basenach: kąpielowy ogólnodostępny $h=1,2 \div 1,5$ m, do nauki pływania $h=0,7 \div 1$ m, otrzymamy następujące wartości współczynnika p :

— basen kąpielowy ogólnodostępny:

dla $F_b=1000$ m²; $V_b=1200 \div 1500$ m³; $f_b=5$ m²/osobę; $t=12$ h

$$p = \frac{1000 \cdot 12}{5(1200 \div 1500)} = 2 \div 1,6; \quad p^{0,12} = 1,09 \div 1,06$$

— basen do nauki pływania:

dla $F_b=200$ m²; $V_b=140 \div 200$ m³; $f_b=3$ m²/osobę; $t=10$ h; $p = \frac{200 \cdot 10}{3(140 \div 200)} = 4,46 \div 3,33;$

$$p^{0,12} = 1,21 \div 1,16$$

Podstawiając powyższe wartości do wzoru (9) otrzymamy:

— basen kąpielowy:

$$V_o = \frac{1,99 \cdot 1,4 (1,09 \div 1,06)}{18,43} = (1/6,06 \div 1/6,25) V_b$$

— basen dla dzieci:

$$V_o = \frac{1,99 \cdot 1,4 (1,21 \div 1,16)}{18,43} = (1/5,46 \div 1/5,71) V_b$$

Z piśmiennictwa niemieckiego znany jest wzór podany przez Fabiana [7]:

$$V_o = \frac{N_d \cdot w_o - V_b}{\tau} \quad (10)$$

Podaną we wzorze frekwencję dobową ($N_d = N_{h \text{ sr}} \tau$) można określić wówczas, gdy basen jest w eksploatacji. Projektując basen można wyznaczyć frekwencję godzinową maksymalną, która wynosi $N_{h \text{ max}} = F_b/f_b$. Między tymi frekwencjami zachodzi współzależność: $N_{h \text{ max}} = K_h N_{h \text{ sr}}$. Współczynnik godzinowej nierównomierności użytkowania basenu można wyznaczyć z wykresów dobowego rozkładu frekwencji. Na podstawie wykresów frekwencji podanych w piśmiennictwie [8, 9] ustalono, że $K_h=1,4$. Przyjmując za Fabianem wskaźnik ilości wody obiegowej przypadającej na jednego użytkownika basenu $w_o=2$ m³/osobę, otrzymuje się:

— dla basenu kąpielowego ($F_b=1000$ m², $V_b=1200 \div 1500$ m³, $t=12$ h):

$$N_d = \frac{N_{h \text{ max}}}{1,4} \cdot t = \frac{1000}{5 \cdot 1,4} 12 = 1714 \text{ osób/d}$$

$$V_o = \frac{1714 \cdot 2 - (1200 \div 1500)}{12} = 185,7 \div 160,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_o = \left(\frac{185,7}{1200} + \frac{160,7}{1500} \right) V_b = (1/6,45 \div 1/9,35) V_b$$

— dla basenów szkolnych ($F_b=200$ m², $V_b=140 \div 200$ m³, $f_b=3$ m²/osobę, $t=10$ h):

$$N_d = \frac{200}{3 \cdot 1,4} 10 = 476 \text{ osób/d}$$

$$V_o = \frac{476 \cdot 2 - (140 \div 200)}{10} = 81,2 \div 75,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_o = \left(\frac{81,2}{140} + \frac{75,2}{200} \right) V_b = (1/1,72 \div 1/2,66) V_b$$

Opracowany w 1972 r. projekt normy RFN, zgodny z obecnie obowiązującą normą DIN-19643 zalecał wzór na określenie natężenia przepływu wody obiegowej w postaci:

$$V_o = \frac{F_b}{f_b} \quad (11)$$

gdzie:

współczynnik b jest zależny od sposobu oczyszczania i dezynfekcji wody. Dla tradycyjnych metod oczyszczania wody obiegowej (koagulacja, filtracja i chlorowanie) zalecano wartość współczynnika $b=0,5$. Wskaźnik obciążenia basenu f_h odniesiony jest od frekwencji godzinowej i w zależności od głębokości basenu, wynosi:

gdy $h > 1,35$ m (baseny kąpielowe):

$$f_h = 4,5 \text{ m}^2/\text{osobę h}$$

gdy $h < 1,35$ m (baseny dla dzieci):

$$f_h = 2,7 \text{ m}^2/\text{osobę h}$$

Przyjmując jak poprzednio głębokości basenów $h=1,2 \div 1,5$ m oraz $0,7 \div 1$ m, otrzymuje się:

— baseny kąpielowe:

$$V_o = \frac{F_b}{4,5 \cdot 0,5} = 0,444 F_b = 0,444 \frac{V_b}{h} = (1/2,7 \div 1/3,38) V_b$$

— baseny dla dzieci:

$$V_o = \frac{F_b}{2,7 \cdot 0,5} = 0,741 F_b = 0,741 \frac{V_b}{h} = (1/0,944 \div 1/1,35) V_b$$

Kappler [10] omawiając wymiarowanie urządzeń do filtracji wody basenowej, proponuje następujące wartości natężeń przepływów dla basenów krynich:

— baseny kąpielowe ogólnodostępne

$$\begin{aligned} & \text{— baseny hotelowe i klubowe: } V_o = (1/4) V_b \\ & \text{— baseny prywatne (domowe): } V_o = (1/10) V_b \\ & \text{— baseny do nauki pływania: } V_o = (1/2) V_b \end{aligned}$$

Tylko w dwóch przypadkach [11, 12] czas wymiany wody w basenie kąpielowym odniesiony jest do średniej głębokości wody (tab. 1). Przyjmując głębokości wody w basenach jak poprzednio, otrzymamy:

$$\text{wg [11]} \quad \text{wg [12]}$$

— basen kąpielowy:

$$(1/3,5 \div 1/4) V_b \quad (1/2,5 \div 1/3) V_b$$

— basen dla dzieci:

$$(1/2,6 \div 1/3,2) V_b \quad (1/1,2 \div 1/2) V_b$$

Tabela 1

CZAS WYMIANY WODY W BASENIE WG RÓŻNYCH ŹRÓDEŁ

Średnia głębokość wody, m	Czas wymiany wody, h	
	dane czeskie [11]	dane francuskie [12]
0,5	2	—
1,0	3	2
2,0	5	4
2,5	—	5
3,0	6	6
3,5	6,5	—
4,5	7	—

Określone w analizie porównawczej wartości natężenia przepływu wody obiegowej dla basenów kąpielowych zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2
NATĘŻENIE PRZEPŁYWU WODY OBIEGOWEJ W BASENACH
KĄPIELOWYCH $V_o = (1/z) V_b$

Autor, poz. lit. wzór	Rodzaj basenu	
	kąpielowy ogólny $h=1,2 \div 1,5$ m	do nauki pływania $h=0,7 \div 1$ m
Kolodziejczyk [1]	$1/4 \div 1/6$	—
Kämper [2]	$1/4 \div 1/8$	—
Rudziński [3]	$1/4 \div 1/5$	—
Sprawoznik [4] wzór (1)	$1/12$	$1/12$
wzór (2)	$1/4,8$	$1/4$
Rudziński [5]	$1/6,06 \div 1/6,25$	$1/5,46 \div 1/5,21$
Fabian [7]	$1/6,45 \div 1/9,35$	$1/1,72 \div 1/2,66$
Norma DIN wzór (10)	$1/2,7 \div 1/3,58$	$1/0,944 \div 1/1,35$
Kappler [10]	$1/4$	$1/2$
Normatyw czeski [11]	$1/3,5 \div 1/4$	$1/2,6 \div 1/3,2$
Normatyw francuski [12]	$1/2,5 \div 1/3$	$1/1,2 \div 1/2$

Podsumowanie

Porównując uzyskane wyniki można stwierdzić, że są one w dużym stopniu zróżnicowane. Powyższa analiza nie wystarcza do wyboru właściwego wzoru na określenie natężenia przepływu wody obiegowej w basenach. Należy zatem opracować nowe i jednoznaczne kryteria, umożliwiające wyznaczenie optymalnych wartości natężeń przepływu wody obiegowej, a więc i wymaganych wydajności urządzeń w stacji uzdatniania wody basenowej. Propozycja taka zostanie przedstawiona w oddzielnym opracowaniu.

Oznaczenia

- b — współczynnik obciążenia basenu, zależny od sposobu oczyszczania wody basenowej,
- b_o — obliczeniowa szerokość basenu, m,
- B — rzeczywista szerokość basenu, m,
- C_o, C_b, C_u — barwa wody obiegowej, basenowej i uzupełniającej, gPt/m³,
- d_o — obliczeniowa średnica otworów wypływowych wody obiegowej, m,
- f_b — wskaźnik powierzchniowy wody w basenie przypadający na jednego użytkownika, m²/osobę,
- f_h — wskaźnik jak wyżej w odniesieniu do godziny, m²/osobę h,
- F_b — powierzchnia rzutu niecki basenu, m²,
- h — średnia głębokość wody w basenie, m,
- k — współczynnik wypływu wody obiegowej do basenu,
- K_h — współczynnik nierównomierności użytkowania basenu,
- N_d — dobową frekwencję basenu, osób/d,
- $N_{h\text{sr}}$ — średnia godzinowa frekwencja użytkowników, osób/h,
- $N_{h\text{max}}$ — maksymalna godzinowa frekwencja użytkowników, osób/h,
- p — współczynnik obciążenia basenu, osób/m³d,
- w_o — wskaźnik objętości wody obiegowej przypadający na jednego użytkownika basenu, m³/osobę,
- v — prędkość wypływu wody z otworów zasilających basen, m/s,

- v_f — prędkość filtracji wody, m/h,
 V_b — objętość wody w basenie, m^3 ,
 V_o — natężenie przepływu wody obiegowej w basenie, m^3/h ,
 z — czas jednokrotnej wymiany wody w basenie, h,
 α — współczynnik zależny od dobowej przepustowości basenu oraz od jakości wody (współczynnika β),
 β — współczynnik zmian jakościowych wody w basenie, w wodzie obiegowej oraz w wodzie uzupełniającej,
 τ, t — czas użytkowania basenu, h.

REVIEW OF METHODS FOR CALCULATING THE FLOW RATE OF WATER RECIRCULATED IN SWIMMING POOLS

The calculating methods recommended for different types of swimming pools are compared with those reported in specialized literature. The results are presented in tables.

LITERATURA

1. S. KOŁODZIEJCZYK: Mechaniczne urządzenia sanitarne, część III — Kąpieliska. PWN, Warszawa—Łódź 1955.
2. **Poradnik:** Ogrzewanie i wentylacja w budownictwie. Arkady, Warszawa 1960.
3. B. RUDZINSKI: Urządzenia do oczyszczania wody. Arkady, Warszawa 1965.
4. Sprawocznik po żłkuszczno-komunalnomu chozjajstwu, tom III, dział III Banno-praczecznoj chozjajstwa. Izdat. Min. Komun. Choz. RSFSR, Moskwa 1954.
5. G. G. RUDZKI: K woprosy opriedielenja rasczitnoj prodolzitielności cikła wodoobjema w pławatielnych bassienach o oborczym wodosnabżeniem. Trudy LISI, Sanitarnaja Tiejchnika 1966.
6. W. S. KIEDROW: Sanitarno-tiechničeskie oborudowanie zdanji. Wyższa Szkoła, Moskwa 1974.
7. D. FABIAN: Bäder. Callwey, München 1960.
8. A. MADEYSKI: Baseny kąpielowe, wyposażenie sanitarno-techniczne. Nowa technika w inżynierii sanitarnej, nr 15, Arkady, Warszawa 1982.
9. H. U. KLEIN: Trink- und Badewasserozonung-Entwicklung zum komplexen System. BBR nr 5/1975.
10. H. P. KAPPER: Baseny kąpielowe. Arkady, Warszawa 1977.
11. I. OSLEJSEK, B. PIVODA, M. ŠEREK, I. TESARIK: Vodárenstvi a balneotechnika. Skrypt VNT Brno, 1978.
12. **Poradnik:** Les Piscines Publiques. Hors Serie, 1973/74.