

Ocena efektów oczyszczania wody w krytych pływalniach wielobasenowych

Evaluation of the effects of water treatment in indoor multi-basin swimming pools

PAULINA MADEJ, FLORIAN GRZEGORZ PIECHURSKI

DOI 10.36119/15.2021.9.5

Głównym celem niniejszej analizy wyników badań wody była ocena sprawności systemów oczyszczania wody w trzech obiektach z wieloma nieckami basenów (sportowym, rekreacyjnym, brodzikami i Whirpool – jacuzzi). Ocena dotyczy różnych obiektów pod względem okresu eksploatacji i realizowanych sposobów oczyszczania wody basenowej. W dwóch z krytych pływalni wykonana została modernizacja tych instalacji a trzecia z nich jest obiektem nowym. W instalacjach oczyszczania wody stosowano filtry ciśnieniowe, ale z różnymi materiałami filtracyjnymi oraz w dwóch przypadkach wspomagane przez naświetlanie promieniami UV, a w najnowszym obiekcie bez tych urządzeń. W badanych instalacjach parametry wody w różnych nieckach basenów odpowiadały w większości aktualnym normom jakościowym określonym w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 2015 r.

Analizując wyniki badań można stwierdzić, iż utrzymanie dopuszczalnych parametrów jakościowych wody jest bardzo trudne i prawie niemożliwe przy wykorzystaniu najprostszych układów technologicznych jej oczyszczania. Najczęściej pojawiającym się problemem był zbyt wysoki poziom zawartości chloru wolnego i związanego oraz występowanie chloroformu.

Zastosowanie w dwóch obiektach niskociśnieniowych reaktorów UV, które wspierają proces dezynfekcji wody wprowadzanej do niecki basenu jest istotnym procesem służącym poprawie parametrów jakości wody basenowej.

Słowa kluczowe: jakość wody basenowej, sposoby i efekty oczyszczania wody basenowej

The main objective of this analysis of water test results was to assess the performance of water purification systems in three facilities with multiple swimming pool basins (sports, leisure, wading and spa baths). Evaluation applies to different facilities in terms of the period of operation and the implemented methods of treating the pool water. Two of the indoor pools have had these systems upgraded and the third is new. The water treatment installations used pressure filters but with different filtering materials and in two cases assisted by UV irradiation, and in the newest facility without these devices. The water parameters in the various basins of the studied pools were mostly in line with the current quality standards set out in the 2015 Regulation of the Minister of Health. Analysing the test results, it can be concluded that maintaining acceptable water quality parameters is very difficult and almost impossible when using the simplest technological purification systems. The most frequently occurring problem was too high level of free and bound chlorine and the existence of chloroform. The use of low-pressure UV reactors to support the disinfection of water entering the pool is an important process for improving these pool water quality parameters.

Keywords: pool water quality, methods and effects of pool water purification

Wstęp

Jedną z cech współczesnych procesów urbanizacji jest ciągły rozwój i powiększanie aglomeracji miejskich. Szybka rozbudowa oraz modernizacja miast dostosowuje się do potrzeb użytkowników, które obecnie są dość wygórowane. Współczesne społeczeństwo kładzie duży nacisk na zdrowy tryb życia oraz aktywność fizyczną. Większość miast stara się wyjść naprzeciw oczekiwaniom mieszkańców, dlatego też w przeciągu ostatniej dekady powstało wiele nowych obiektów rekreacyjnych, takich jak hale sportowe czy też pływalnie. Według raportu udostępnionego w 2015 roku przez

Ministerstwo Sportu i Turystyki w Polsce w 380 powiatach zlokalizowano 736 basenów krytych z czego tylko 64 powiaty nie posiadały własnego obiektu wodno-rekreacyjnego [1]. Zakładając tak dynamiczny przyrost kompleksów sportowych, liczby te obecnie uległy zmianie.

Wymagania jakościowe dla wody basenowej

Zapotrzebowanie społeczne na obiekty rekreacyjne, wiąże się z bardzo ważnym aspektem jakim jest zapewnienie w pływalniach odpowiednich warunków sanitarno-higienicznych i sanitarno-tech-

nicznych. Woda znajdująca się w niecce basenowej powinna być wolna od mikroorganizmów mogących w jakikolwiek sposób stanowić zagrożenie dla zdrowia osób korzystających z obiektu. Wszystkie związki niepożądane występujące w wodzie tj. martwy naskórek, mocz, pot jak również mikroorganizmy wprowadzane są do wody za pośrednictwem użytkowników basenu – szacuje się, że jeden użytkownik wprowadza około miliarda bakterii, również chorobotwórczych [2]. Środowisko wodne stwarza idealne warunki do rozmnażania się patogenów. Kolejnym zagrożeniem dla osób przebywających w basenach są również niebezpieczne

mgr inż. Paulina Madej, dr inż. Florian Grzegorz Piechurski, <https://orcid.org//0000-0001-8065-962X> – Katedra Inżynierii Wody i Ścieków, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska w Gliwicach. Adres do korespondencji/Corresponding author: Florian.Piechurski@polsl.pl

związki chemiczne tj. monochloraminy (NH_2, Cl), dichloraminy (NH_2, Cl_2) trichloraminy (NH_2, Cl_3), trihalogenometany (THM), będące produktami ubocznymi procesu jednostkowego, jakim jest dezynfekcja wody za pomocą chloru [3].

Aspekt prawny

Wraz z rozwijającymi się technologiami oczyszczania wody basenowej zmianom uległy również przepisy określające parametry jakości wody, jakie muszą być spełnione przed jej dotarciem do niecki basenu. Pierwszym z wydanych w Europie dokumentów zawierającym wytyczne związane z projektowaniem basenów kąpielowych jest niemiecka norma DIN 19643 wydana w 1984 roku i znowelizowana w 1997 roku [4]. Obejmuje ona nie tylko wskazania co do eksploatacji basenów kąpielowych, ale także różne układy technologiczne, powiązane z kryteriami ogólnymi. Dokument ten wskazuje na niezbędność wykorzystywania procesów jednostkowych w układach basenowych, takich jak: filtracja, koagulacja, korekta pH wody i dezynfekcja chlorem [5].

W Polsce parametry wody basenowej powinny odpowiadać jakości wody doprowadzanej do gospodarstw domowych według ustawy o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków [6], [7]. Uściślenie tych wymogów znajduje się w kolejnych aktach prawnych tj. w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia, z dnia 9 listopada 2015 r. w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach [8], Wytyczne Głównego Inspektoratu Sanitarnego w sprawie wymagań jakości wody oraz warunków sanitarno-higienicznych na pływalniach [9] i Ustawa z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie osób przebywających na obszarach wodnych [10]. Wyżej wymienione dokumenty określają dopuszczalne zawartości związków mikrobiologicznych i fizyko-chemicznych w wodzie, systematykę poboru próbek wraz z metodyką i zakresem oraz sposób postępowania w przypadku wykrycia nieprawidłowości. W tabeli 1 podano najważniejsze parametry mikrobiologiczne i fizykochemiczne uwzględniane podczas prowadzenia analiz na podstawie wyżej wymienionych dokumentów [8].

Charakterystyka analizowanych krytych pływalni

Kompleks rekreacyjny w O

Kompleks rekreacyjny w O został otwarty w 2006 roku i zmodernizowany

Tabela 1. Najważniejsze parametry jakościowe wody po oczyszczeniu i w niecce basenowej [8]

Parametr	Jednostki	Woda po procesach uzdatniających		Woda w niecce basenowej	
		min	max	min	max
<i>Echerichia coli</i>	1/100ml	-	0	-	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1/100ml	-	0	-	0
Ogólna liczba mikroorganizmów w $36 \pm 2^\circ\text{C}$ po 48 h w	1/1 ml	-	20	-	100
Legionella	l/100 ml	-	-	-	-
Gronkowce koagulazododatnie	l/100 ml	-	0	-	0
Redox $7,3 < \text{pH} \leq 7,6$	mV			770	-
Mętność	NTU	-	0,3	-	0,5
pH	-	6,5	7,6	6,5	7,6
Chlor wolny	mg/l	-	-	0,3	0,6
Chlor związany	mg/l	-	0,2	-	0,3
Σ THM (Trichlorometan)	mg/l	-	0,1	-	0,1
Chloroform	mg/l	-	0,03	-	0,1

w 2016 roku po wprowadzeniu nowelizacji rozporządzenia Ministra Zdrowia, z dnia 9 listopada 2015 r. w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach.

Kompleks basenowy składa się z czterech niezależnych obiegów wody:

- basen sportowy,
- basen rekreacyjny,

Fot.2. Pompy i filtr wody dla obiegu basenu rekreacyjnego



- whirlpool jacuzzi,
- brodzik dla dzieci + dwa baseny hamowne.

W obrębie basenu rekreacyjnego i brodzika znajdują się atrakcje wodno-powietrzne tj. bicze wodne, ławeczki powietrzne oraz język wodny. Kolejnymi elementami urozmaicającymi obiekt są dwie zjeżdżalnie wodne o różnych kątach nachylenia. Obie trasy rozpoczynają się na wyższym piętrze, wychodzą poza granicę budynku i kończą się basenem hamownym. Największą powierzchnię oraz nieckę stanowi basen sportowy – do pływania 25m x 12,5m.

Modernizacja

Początkowo system uzdatniania wody opierał się głównie na stosowaniu koagulacji przed filtracją, jednak po modernizacji – wymianie złożeń filtracyjnych – zrezygnowano z tego zabiegu. Nowe złoża filtracyjne składa się z podsypki – HFs 0,71-1,25mm, podsypki – HFs 0,4-0,8 mm oraz złoża jednowarstwowego zeolitowego TURBIDEX (fot. 1). Złoża to zbudowane



Fot.1. Złoże zeolitowe TURBIDEX

jest z granulek krzemianu glinu (zeolitu), które charakteryzuje się dużą porowatością. Według producenta nadaje się do odfiltrowania sedymentu z wody do poziomu 5 mikronów. Rezygnacja ze wstępnej koagulacji zabezpieczyła filtry przed zbyt wczesnym zapełnieniem objętości filtra i tym samym przed częstym płukaniem złoża. Fot.2 przedstawia fragment

instalacji oczyszczającej wodę z basenu rekreacyjnego.

Kolejnym elementem modernizacji było zainstalowanie lamp UV na trzech obiegach wody (fot. 3 i 4). Urządzenia te mają za zadanie wspomóc przebieg procesu filtracji wody basenowej oraz zabezpieczyć ją przed ponownym skażeniem.

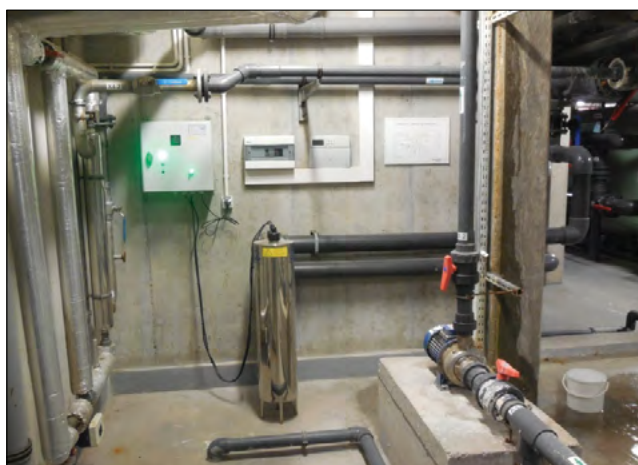
Dezynfekcja wody basenowej odbywa się poprzez dodanie podchlorynu sodu. Wszystkie środki chemiczne magazynowane są w osobnych, wentylowanych pomieszczeniach. Sterownik stanowi komplet ze stacjami dozującymi i korektorem pH – fot.5.



Fot. 3.
Lampa UV w zabudowie poziomej



Fot. 6.
Magazyn – zbiorniki podchlorynu sodu



Fot. 4.
Lampa UV w zabudowie pionowej



Fot. 7.
Magazyn podchlorynu sodu – zbiornik solanki i pompy dozujące

Każdy z obiegów wyposażony jest w urządzenie kontrolno pomiarowe do pomiaru wody basenowej: pomiar stężenia wolnego chloru, odczynu pH oraz wartości potencjału Redox. Sterownik stanowi komplet ze stacjami dozującymi i korektorem pH.

Opis technologii uzdatniania

Proces uzdatniania wody z niecki basenu rozpoczyna się w zbiorniku retencyj-



Fot. 5.
Magazyn korektora pH



Fot. 8.
Elektrolizer membranowy

nym. Następnie woda kierowana jest poprzez pompy obiegowe na filtry wstępne, a następnie na filtry ciśnieniowe wypełnione złożem zeolitowym do wysokości 1,2m. Po przefiltrowaniu woda tłoczona jest najpierw na promienniki UV, a później na wymienniki ciepła, gdzie następuje jej podgrzanie do wymaganej temperatury. Po podgrzaniu do wody dawkowany jest korektor pH oraz środek dezynfekcyjny w postaci płynnego podchlorynu sodu o $\approx 13\%$ stężeniu, wytworzonego za pomocą elektrolizy membranowej. Do korekcji odczynu pH dawkowany jest do obiegu kwas solny. Uzdatniona woda basenowa jest doprowadzona do niecki basenu za pomocą systemu dennych dysz zasilających, rozmieszczonych równomiernie w dnie niecek. Całość wody cyrkulacyjnej z niecki odprowadzana jest poprzez rynny przelewowe. Woda z przelewów trafia z powrotem do zbiornika retencyjnego, gdzie ponownie zasysana jest przez pompy obiegowe. Uzupełnianie obiegu w świeżą wodę odbywa się za pomocą rurociągów. Rurociągi uzupełniające wodę do obiegu podłączone są

bezpośrednio do zbiorników retencyjnych z zachowaniem przerwy powietrznej umożliwiającej cofnięcie wody basenowej do rurociągu wody wodociągowej.

Kryta pływalnia w C

Kryta pływalnia w C powstała w roku 2000. W ciągu 18 lat obiekt ten był poddany niejednokrotnym remontom i modernizacjom. Podczas ostatniej renowacji zrealizowanej 5 grudnia 2017 roku zostały wymienione filtry wraz z całym orurowaniem i armaturą.

Kompleks basenowy składa się z pięciu niezależnych obiegów wody:

- basen sportowy,
- basen rekreacyjny,
- whirlpool jacuzzi,
- brodzik dla dzieci,
- basen hamowny.

W obrębie brodzika znajdują się atrakcje wodno-powietrzne tj. bicze wodne, oraz parasol wodny. Kolejnym elementem obiektu jest basen rekreacyjny z dwoma whirlpool'ami. Kompleks posiada jedną zjeżdżalnię o długości 75 m, zakończoną basenem hamownym. Największą nieckę stanowi basen sportowy do pływania.

Modernizacja

Zakres ostatnio wykonanej pracy obejmował modernizację całej instalacji technologicznej odpowiedzialnej za uzdatnianie i doprowadzanie wody do niecek basenów. Wymianie uległy wszystkie filtry wraz ze złożem, armatura, pompy obiegowe oraz opomiarowanie (fot.9 – 13). Nowe zbiorniki filtracyjne wypełnione zostały złożem filtracyjnym wielowarstwowym:

- warstwa podtrzymująca: żwir filtracyjny o granulacji 3,0-5,0 mm,
- warstwa filtracyjna: żwir filtracyjny o granulacji 1,0-2,0 mm,
- warstwa filtracyjna: żwir filtracyjny o granulacji 0,4-0,8 mm,
- warstwa filtracyjna: hydroantracyt o granulacji 0,8-1,6 mm.

W celu wspomaganie procesu uzdatniania zainstalowano lampy UV na każdym z omawianych obiegów (fot.13).



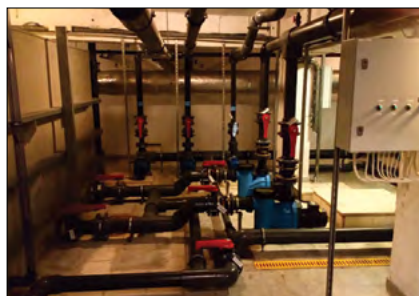
Fot. 9
Filtry ciśnieniowe z zaworami sześci drogowymi

Opis technologii uzdatniania

Cały proces uzdatniania wody basenowej odbywa się w systemie zamkniętym z przelewem czynnym. Następnie woda kierowana jest na filtry wielowarstwowe, gdzie następuje jej całkowite oczyszczenie



Fot. 10.
Filtry ciśnieniowe z zespołem zaworów kłapowych



Fot. 11.
Pompy obiegowe – poziome



Fot. 12.
Zespół pomiarowo – sterujący – dozujący



Fot. 13.
Reaktor niskociśnieniowy UV w zabudowie poziomej

z zanieczyszczeń. Po przefiltrowaniu woda tłoczona jest najpierw na lampy UV, a później na wymienniki ciepła, gdzie następuje jej podgrzanie do wymaganej temperatury. Po podgrzaniu do wody dawkuje korektor pH oraz środek dezynfekcyjny w postaci płynnego podchlorynu sodu za pomocą pomp dozujących. W celu

korekty odczynu pH dawkowany jest do obiegu kwas solny. Uzdatniona woda basenowa jest doprowadzana do niecki basenu za pomocą systemu dennych dysz zasilających rozmieszczonych równomiernie w dnie niecek.

Kryta pływalnia w K

Kryta pływalnia w K została otwarta w grudniu 2018 r. Kompleks basenowy składa się z pięciu niezależnych instalacji obiegów wody:

- basen sportowy,
- basen rekreacyjny,
- whirlpool jacuzzi,
- brodzik dla dzieci,
- basenik schładzający wewnętrzny.

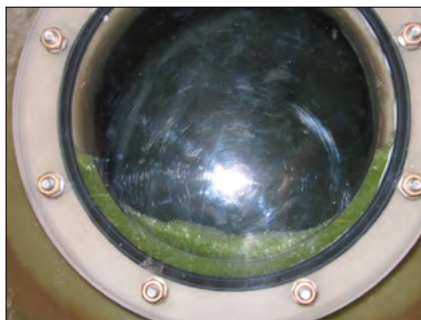
Pomieszczenie, w którym mieszczą się niecki basenowe podzielone jest na dwie strefy. Pierwszą z nich stanowi strefa rekreacyjna, w której zlokalizowany jest basen rekreacyjny z atrakcjami wodno-powietrznymi, wanny z hydromasażem, brodzik dla dzieci z matą oraz wysoką zjeżdżalnią zakończoną basenem hamownym. W drugiej strefie – sportowej, za przeszkloną ścianą oddzielającą znajduje się basen sportowy – do pływania.

Opis technologii uzdatniania

Woda z rynien przelewowych umieszczonych wzdłuż boków basenu, poprzez system przewodów odpływowych spływa grawitacyjnie z przerwą powietrzną do zbiornika wyrównawczego. Ze zbiornika wyrównawczego woda zasysana jest przez poziome pompy obiegowe (fot. 14) i dalej tłoczona poprzez filtry wypełnione aktywowanym złożem filtracyjnym Dryden Aqua z aktywowanego szkła o różnym stopniu granulacji AFM (fot.15). Przed filtrami, za pomocą automatycznej stacji dozującej do rurociągów wody cyrkulacyjnej za pośrednictwem mieszacza statycznego ZPM (fot. 16), wprowadzony zostaje środek do koagulacji APF(All Poly Floc) (fot.17). Kolejnym etapem przygotowania wody jest podgrzewanie jej z zastosowaniem wymienników ciepła. Dezynfekcja wody odbywa się podchlorynem sodu, za



Fot. 14.
Pozioma pompa wody basenowej



Fot. 15.
Filtr ciśnieniowy ze złożem AFM – aktywowane szkło filtracyjne



Fot. 16.
Stacyjny mieszalnik rurowy ZPM

pomocą automatycznej stacji dozującej. Podchloryn dozowany jest do rurociągów poprzez mieszacz statyczny ZPM. Dezynfekcja wody basenowej podchlorynem sodu połączona jest z automatycznym dozowaniem preparatu do korekty pH. Jako środek korygujący pH stosuje się kwas siarkowy.

Analiza wyników badań

Ocenę jakości wody dokonano w oparciu o laboratoryjne wyniki badań wody otrzymane z każdej z omawianych pływalni.

Zbrane i opracowane wyniki przedstawiają wartości średnie zarejestrowa-



Fot. 17.
Zbiorniki i pompa dozująca APF

nych parametrów jakościowych wody w obiektach w okresie:

- **O**, trzech lat po modernizacji obiektu – od stycznia 2017 r. do maja 2019 r.
- **C**, około czterech lat badań – od listopada 2016 r. do lipca 2019 r.
- **K**, od początku funkcjonowania obiektu – od grudnia 2018 r. do lipca 2019 r.

Analizę wyników jakościowych wody oceniono na podstawie wymogów wyszczególnionych w ww. rozporządzeniu. Zakres analizowanych parametrów obejmował:

- Ogólną liczbę mikroorganizmów;
- Liczbę bakterii *Escherichia coli*;
- *Pseudomonas aeruginosa*;
- Legionella;
- Mętność;
- Utlenialność;
- Chlor wolny;
- Chlor związany;

Tabela 2. Charakterystyka obiektów

Lokalizacja obiektu	Temperatura			
	Obciążenie nominalne	O	C	K
Brodzik	[°C]	30	30	30
	[osób/h]	14	13	11
Basen rekreacyjny	[°C]	28	29	28-30
	[osób/h]	59	72	85
Basen do pływania	[°C]	26-28	27	26-28
	[osób/h]	69	69	69
SPA/Jacuzzi	[°C]	35	32	32-36
	[osób/h]	14	14	20

oraz wykorzystują w końcowym etapie uzdatniania podchloryn sodu jako zabezpieczenie przed ponownym zakażeniem. Dwa obiekty wykorzystują w swoim systemie technologicznym lampy UV niskociśnieniowe. Szczegółowe parametry dla każdego z kompleksów przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Technologia wykorzystywana w poszczególnych obiektach

Obiekt	O	C	K
Rodzaj złoża filtracyjnego	Złoże jednowarstwowe zeolitytowe	Złoże wielowarstwowe piaskowo antracytowe	Złoże filtracyjne Dryden Aqua z aktywowanego szkła o różnym stopniu granulacji
Technologia uzdatniania	Filtracja wstępna, filtracja na filtrze jednowarstwowym, naświetlanie promieniami UV, dezynfekcja końcowa NaOCl	Filtracja wstępna, koagulacja powierzchniowa (siarczan glinu), filtracja na filtrze wielowarstwowym, naświetlanie promieniami UV, dezynfekcja końcowa NaOCl	Filtracja wstępna, koagulacja powierzchniowa (siarczan glinu), filtracja na filtrze jednowarstwowym, dezynfekcja końcowa NaOCl
Metoda dezynfekcji	Po procesie filtracji woda poddawana jest naświetlaniu promieniami UV, końcowa dezynfekcja za pomocą płynnego NaOCl – metoda elektrolizy membranowej	Po procesie filtracji woda poddawana jest naświetlaniu promieniami UV, końcowa dezynfekcja za pomocą płynnego NaOCl.	Kończąca dezynfekcja za pomocą płynnego NaOCl

- Redox;
- pH;
- chloroform.

Badania były prowadzone zgodnie z harmonogramem ustalonym z państwowym inspektorem sanitarnym oddzielnie dla każdego z obiektów.

Kluczem do utrzymania prawidłowej jakości wody basenowej jest dobranie odpowiedniego środka dezynfekującego. Skuteczność dezynfekcji jest zależna zarówno od stężenia dezynfekanta jak i od jego obecności w wodzie. Do najważniejszych parametrów określających efektywność dezynfekcji jest utlenialność, informująca o zawartości substancji organicznych i nieorganicznych oksydujących w wodzie, stężenie chloru wolnego oraz zawartość chloru związanego.

Analizowane obiekty basenowe charakteryzują się średnim obciążeniem nominalnym.

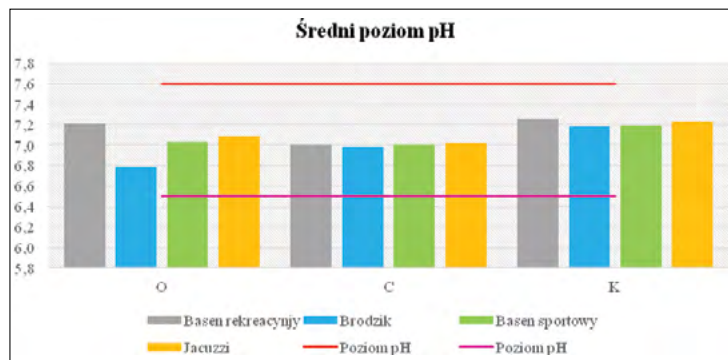
W tabeli 2 przedstawiono obciążenie nominalne w każdej z nieek basenowych oraz temperaturę.

Wszystkie niecki basenowe wyposażone są w pionowy system przepływu wody

Poziom pH w wodzie basenowej powinien zwiierać się w zakresie 6,5-7,6. Zachowanie odpowiedniej wartości pH na poziomie 7,2 – 7,4 wpływa pozytywnie na proces niszczenia bakterii – przekroczenie górnej dopuszczalnej granicy może skutkować spadkiem skuteczności działania dezynfektantów. We wszystkich analizowanych przypadkach dezynfekcja wody odbywa się poprzez dodanie płynnego podchlorynu sodu. Na wykresie rys.1. przedstawiono średnie poziomy pH dla każdego z rozpatrywanych obiektów.

Na podstawie wykresu (rys.1) stwierdza się, iż wszystkie średnie wartości z próbek wody basenowej mieszczą się w granicach dopuszczalnych przez Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 2015 r. [8]. Najniższe średnie wynosiło w brodziku obiektu **O** – pH 6,8, a najwyższe w wszystkich basenach obiektu **K** – pH 7,2.

Kończącym etapem uzdatniania wody basenowej jest chlorowanie. Chlor ma za zadanie niwelować wszystkie nieodfiltrowane zanieczyszczenia organiczne, które przedostały się przez złoża filtracyjne oraz usuwać bakterie. Zbyt wysokie jego stężenie



Rys.1. Wykresy rozkładu poziomu pH w badanych nieckach basenowych

go w O, a w C jest za wysoki, natomiast w K za niski (rys.4). Jednak nie są to wartości, które można uznać za obniżającą jakość wody.

Zawartość chloroformu jedynie w obiekcie C nie budzi zastrzeżeń. W dwóch kolejnych przypadkach zawartość chloroformu przekracza wartości normatywne (rys.5). W obiekcie C przekroczenia zanotowano w brodziku i basenie sportowym. W obiekcie K w brodziku.

może jednak prowadzić do niepożądanych efektów jakimi są liczne reakcje chemiczne, w wyniku których powstają produkty uboczne tj. THM, chloroform.

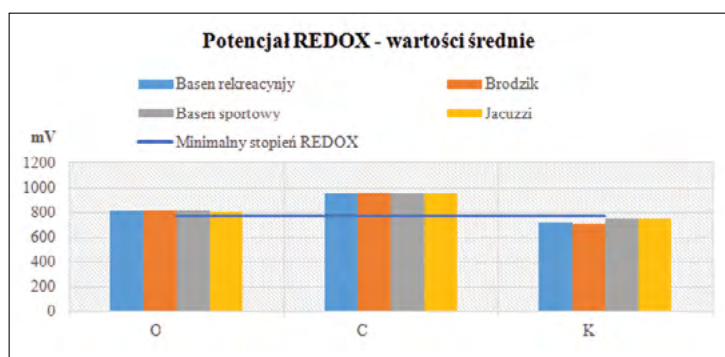
Wykresy (rys.2 - 3) przedstawiają średnie stężenia chloru wolnego i związanego po modernizacji. W każdym z rozpatrywanych obiektów widoczne jest przekroczenie dopuszczalnych norm.

Stężenie chloru wolnego w obiekcie O w zależności od rodzaju basenu wynosi od 0,73 do 0,77 mg/dm³, a stężenie chloru związanego od 0,21 do 0,43 mg/dm³. Najwyższe stężenia chloru wolnego i związanego możemy zauważyć przy najnowszym obiekcie w K. Zawartości chloru związanego przekraczają dopuszczalne wartości średnio o 150% (rys. 3).

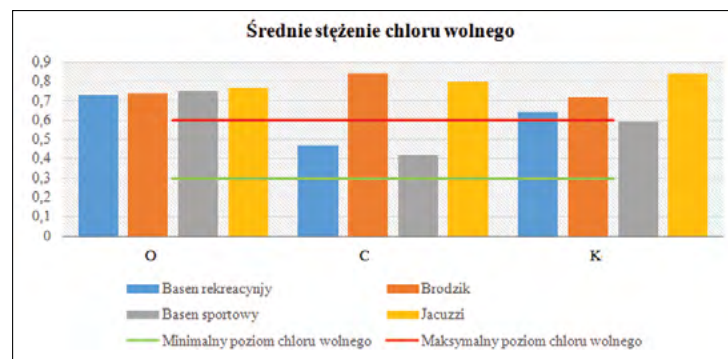
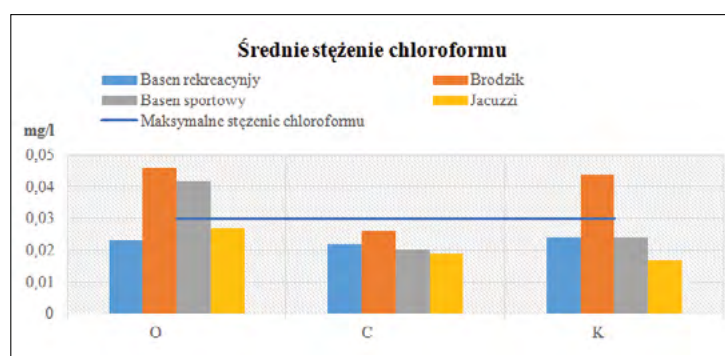
Wykresy (rys.4-6) obrazują potencjał Redox, średnie zawartości chloroformu i THM, które zostały odnotowane podczas badań.

Poziom Redox nie budzi zastrzeżeń tylko w przypadku obiektu zlokalizowane-

Rys.4. Wykres rozkładu potencjału Redox w badanych nieckach basenowych



Rys. 5. Wykres rozkładu zawartości chloroformu w badanych nieckach basenowych



Rys.2. Wykresy rozkładu zawartości chloru wolnego w badanych nieckach basenowych

Zawartości THM nie budzą zastrzeżeń we wszystkich nieckach basenów badanych obiektów (rys.6).

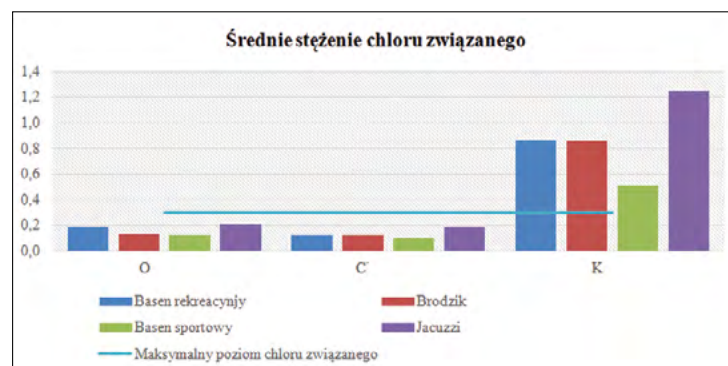
Bardziej szczegółowa analiza wody w poszczególnych nieckach w badanych obiektach związana z problemami z chlоровaniem może być przydatna do oceny skuteczności poszczególnych systemów oczyszczania wody basenowej.

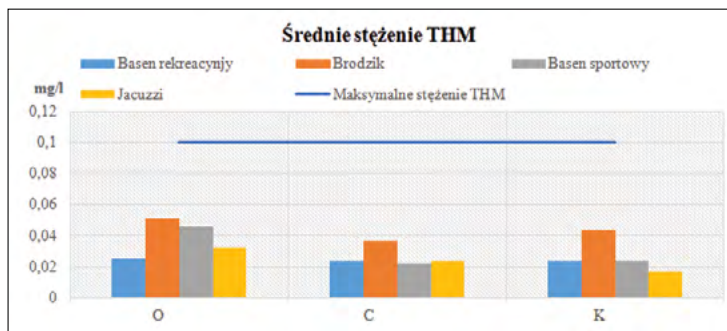
W obiekcie O wartości stężenia chloru związanego w niecce brodzika wahały się między 0,04 a 1,13 mg/dm³ i niejednokrotnie przekraczały dopuszczalne poziomy zawartości chloru. Od końca września 2018 roku możemy zauważyć znaczną poprawę tego parametru o 22,36%, co może świadczyć o skuteczności zainstalowanego reaktora UV, w związku z ówczesną modernizacją instalacji wody basenowej.

Zawartość chloroformu również uległa zmianie – po zamontowaniu lamp, stężenie THM trichlorometanu wzrosło o 27%. Poziom mętności nie zmienił się.

Wartości stężenia chloru wolnego w niecce basenu rekreacyjnego przed

Rys.3. Wykresy rozkładu zawartości chloru związanego w badanych nieckach basenowych





Rys.6. Wykresy rozkładu zawartości THM w badanych nieckach basenowych

modernizacją wahały się między 0,63 a 1,00 mg/dm³, a po modernizacji wynosiły już od 0,54 do 0,91 mg/dm³. Poprawie uległy również parametry chloru związanego – ze średniego poziomu 0,64 do 0,19 mg/dm³. Zawartość chloroformu nie uległa zmianie i utrzymywała się na poziomie 0,023 mg/dm³.

Średnia wartość stężenia chloru związanego w niecce basenu sportowego przed modernizacją wynosiła 0,52 mg/dm³, a po modernizacji 0,14 mg/dm³. Poziom mętności przed i po instalacji promienników UV nie przekroczył maksymalnej wartości.

Zawartość chloroformu może budzić zastrzeżenia, ponieważ (pomimo wspomaganego dezynfekcji promieniowaniem lamp UV) zawartość chloroformu w większości prób przekraczała dopuszczalne wartości wahać się w granicach od 0,024 do 0,082 mg/dm³.

Średnia wartość stężenia chloru związanego w nieckach jacuzzi przed, a także po modernizacji, utrzymywała się na poziomie 0,21 mg/dm³. Poziom mętności w trakcie trzech lat badań nie przekroczył maksymalnej wartości. Zawartość chloroformu, podobnie jak chloru, nie uległa zmianie i utrzymywała się na średnim poziomie 0,028 mg/dm³. Zawartość chloru wolnego utrzymywała się średnio na poziomie 0,78 mg/dm³, czyli mieściła się w wymaganych zakresach.

W obiekcie C wartość stężenia chloru związanego w niecce brodzika dziecięcego przed modernizacją utrzymywała się na poziomie od 0,48 mg/dm³ do 1,09 mg/dm³ przekraczając dopuszczalne wartości. Pod koniec stycznia 2018 roku możemy zauważyć znacząco poprawę tego parametru o 79,82% co może świadczyć o uruchomieniu promienników UV. Zawartość chloroformu nie uległa zmianie i utrzymywała się na poziomie 0,025 mg/dm³, nie przekraczając dopuszczalnej wartości. Poziom mętności nie przekraczał 0,5 NTU. Woda w niecce brodzika odpowiadała obowiązującym parametrom i nie stanowiła zagrożenia dla dzieci.

Średnie stężenie chloru wolnego w niecce basenu rekreacyjnego w przecię-

gu czterech lat utrzymywało się na poziomie 0,45 mg/dm³ i mieści się w normach. Zawartość chloru związanego przed modernizacją niejednokrotnie przekraczała dopuszczalne parametry, nawet czterokrotnie. W momencie rozpoczęcia pracy lamp UV średni poziom chloru związanego obniżył się o 79,17%. Poziom mętności przed, jak również po instalacji promienników UV nie przekroczył maksymalnej wartości. Średnia zawartość chloroformu wynosiła 0,022 mg/dm³.

Woda w basenie do pływania posiadała podobne parametry jak w basenie rekreacyjnym. Średnie stężenie chloru wolnego w niecce basenu utrzymywało się na poziomie 0,43 mg/dm³ i mieściło się w normach. Wartość chloru związanego przed modernizacją niejednokrotnie przekraczała dopuszczalne parametry. W momencie rozpoczęcia pracy lamp UV poziom chloru związanego wahał się między 0,04 mg/dm³ a 0,20 mg/dm³. Poziom mętności przed, jak również po instalacji promienników UV nie przekroczył maksymalnej dopuszczalnej wartości. W przypadku obiegu basenu do pływania nie zarejestrowano podwyższonych wartości chloroformu, co może świadczyć o niewielkim udziale związków organicznych, przyczyniających się do powstawania niebezpiecznych dla zdrowia ubocznych produktów dezynfekcji. Zawartość chloroformu utrzymywała się na poziomie 0,022 mg/dm³ nie przekraczając dopuszczalnych parametrów.

Niecki wani z hydromasażem ze względu na wysoką temperaturę oraz małą powierzchnię lustra wody pozostają najtrudniejsze do utrzymania w odpowiednich parametrach jakościowych. Zarejestrowane wyniki badań wykazały, że średnia zawartość chloru wolnego utrzymywała się na poziomie 0,78 mg/dm³ i tym samym mieściła się w dopuszczalnym zakresie. Średnia wartość chloru związanego w nieckach jacuzzi przez okres prawie czterech lat badań utrzymywała się na poziomie 0,19 mg/dm³. Poziom mętności w czasie badań nie przekroczył maksymalnej wartości. Zawartość chloroformu waha-

ła się między 0,011 mg/dm³ a 0,029 mg/dm³ i nie przekraczała określonych górnych granic stężeń.

W obiekcie K stężenie chloru wolnego w niecce brodzika dziecięcego wahało się między 0,1 mg/dm³ a 4,81 mg/dm³, sporadycznie wykraczając poza określone standardy. Zastrzeżenia można mieć do wartości chloru związanego, ponieważ w większości przypadków przekraczała dopuszczalne stężenie. Zawartość chloru związanego wahała się w dość szerokich granicach od 0,27 mg/dm³ do 2,12 mg/dm³.

Stężenie chloru wolnego w niecce basenu rekreacyjnego utrzymywało się na poziomie 0,64 mg/dm³, sporadycznie wykraczając poza określone standardy. Wartość chloru związanego wahała się między 0,32 mg/dm³ a 1,26 mg/dm³. Parametry zarejestrowane od początku użytkowania basenu nie odpowiadały określonym normom.

Stężenie chloru wolnego w niecce basenu sportowego utrzymywało się na poziomie 0,59 mg/dm³. Wartość chloru związanego wahała się między 0,32 mg/dm³ a 0,78 mg/dm³. Podobnie jak w obiegu wody basenu rekreacyjnego, wyżej przedstawione wyniki nie mieszczą się w zakresie norm i mogą w przyszłości stanowić zagrożenie dla osób przebywających w obiekcie.

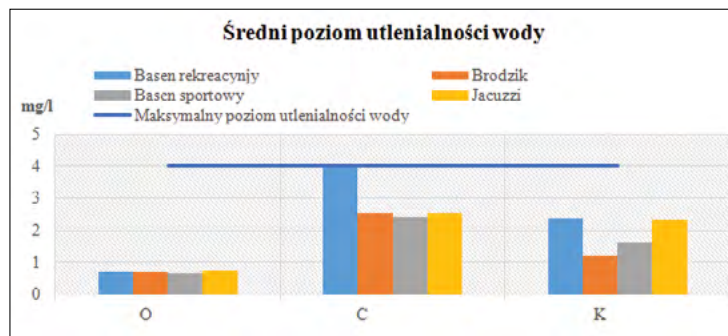
Stężenie chloru wolnego w niecce wani z hydromasażem utrzymywało się na poziomie 0,86 mg/dm³, sporadycznie przewyższając dopuszczalne normy. Wartość chloru związanego wahała się między 0,39 mg/dm³ a 4,60 mg/dm³ bardzo często przekraczając maksymalną wartość chloru związanego w wodzie.

Woda w nieckach basenowych znajdujących się w obiekcie w K w większości przypadków nie odpowiadała dopuszczalnym parametrom jakościowym co może świadczyć o niskiej efektywności uzdatniania wody i tym samym o nieodpowiednim doborze technologii.

Rozpatrując ostatni z analizowanych wskaźnik jakim jest utlenialność (rys.7), możemy określić zawartość substancji organicznych i tym samym ostatecznie dokonać oceny sprawności dezynfekcji wody.

Jak widać z wykresu – rys.7 najlepsze wyniki odnotowano we wszystkich basenach obiektu C, nieco gorsze w obiekcie K. Można zauważyć że w basenach rekreacyjnych występuje podwyższenie utlenialności co może świadczyć o pewnych problemach z ogólną czystością wody.

Poza prezentowanymi wynikami badań parametrów fizykochemicznych



Rys.7. Wykresy rozkładu poziomu utlenialności w badanych nieckach basenowych

trzeba również zwrócić uwagę na wskaźniki mikrobiologiczne. Do najniebezpieczniejszych mikroorganizmów możemy zaliczyć przede wszystkim pałeczki ropy błękitnej (*Pseudomonas aeruginosa*), bakterie Legionella (*Legionella pneumophila*) oraz pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*). Jednostkowa obecność któregokolwiek z wymienionych mikroorganizmów stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia osób korzystających z basenów. Na podstawie analizowanych wyników badań mikrobiologicznych można stwierdzić, iż w żadnej niecce basenowej omawianych obiektów nie odnotowano pojawienia się niebezpiecznych bakterii.

Podsumowanie

W większości, analizowane wyniki badań odpowiadały aktualnym wymaganiom jakościowym wody basenowej. Najczęściej pojawiającym się problemem, w każdym z basenów, był zbyt wysoki poziom chloru związanego oraz występowanie chloroformu odpowiadającego między innymi za problemy ze skórą wśród osób kąpiących się oraz za nieprzyjemny, duszący zapach odczuwalny w hali basenowej.

W układach technologicznych analizowanych basenów są zamontowane filtry ciśnieniowe ze złożem wielowarstwowym piaskowo – antracytowym, zeolitowym i aktywowanym szkłem filtracyjnym. Dodatkowo proces uzdatniania wody wspomagany jest przez naświetlanie promieniami z niskociśnieniowych reaktorów UV w obiektach O i C.

Na podstawie analizowanych wyników badań mikrobiologicznych można stwierdzić, iż w wodzie każdej z niecek basenów nie odnotowano pojawienia się niebezpiecznych bakterii.

Obiektem, który w najwyższym stopniu spełnia obecne wytyczne dotyczące jakości wody basenowej jest zespół basenów w C. Jest to obiekt, w którym wykonano modernizację. Zamontowane tu zostały nowe filtry ciśnieniowe wypełnione złożem piaskowym wielowarstwowym z warstwą antracytu. Dodatkowo proces uzdatniania wody wspomagany jest przez naświetlanie promieniami z lamp UV. W ogólnej ocenie można stwierdzić, że zastosowany układ technologiczny jest najbardziej efektywny spośród badanych układów oczyszczania wody basenowej.

Analizując wyniki badań z zespołu basenów w O można stwierdzić, iż przeprowadzona modernizacja, obejmująca wymianę złoża filtracyjnego na jednowarstwowe zeolitowe oraz dodanie do układu lamp UV poprawiło niektóre parametry jakościowe wody. Jednak poziom Redox oraz utlenialność pozostały bez większych zmian. W celu osiągnięcia lepszych wyników można byłoby obniżyć prędkość filtracji do 10 m/h i wyposażyć instalację w dodatkowe wspomaganie dezynfekcji czyli ozonowanie.

Pomimo nowej instalacji uzdatniania wody basenowej w obiekcie K jakość wody basenowej jest znacznie niższa niż w omawianych wcześniej obiektach. Największe zastrzeżenia można mieć do poziomu potencjału Redox, którego średnia wartość nie osiągała wymaganej war-

tości minimalnej. Problemem tu może być również zbyt duża prędkość filtracji, która dla złoża AFM nie powinna być wyższa niż 20 m/h.

LITERATURA

- [1] Ministerstwo Sportu i Turystyki, Pływalnie kryte w Polsce – Inwentaryzacja bazy sportowej, kwiecień 2015, 6-9
- [2] Wyczarska-Kokot J., Wpływ metody dezynfekcji na zawartość chloramin w wodzie basenowej, Ochrona Środowiska, 2014, Vol.36 nr 2, 37-38
- [3] Kanikowska A., Napiórkowska-Baran K., Graczyk M., Kucharski M.A., Influence of chlorinated water on the development of allergic diseases – An overview, Annals of Agricultural and Environmental Medicine 2018, Vol 25, No 4, 651, 1
- [4] Saunus Ch. Niemieckie standardy związane z projektowaniem basenów kąpielowych w oparciu o nową normę DIN 19643, II Sympozjum Naukowo-Techniczne – Instalacje Basenowe, 1999, 17
- [5] Wyczarska-Kokot J., Nowoczesne i innowacyjne technologie oczyszczania wody basenowej (cz. 1), Rynek Instalacyjny, 2013, Vol. 1-2, 1
- [6] Ustawa o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków Dz.U. 2001 Nr 72 poz. 747, 2001 z późniejszymi zmianami.
- [7] Piechurski F.G Badania zastosowania różnych rozwiązań urządzeń do wspomaganie oczyszczania wody basenowej w krytych pływalniach. INSTAL 11(4111)/2019s.39-44. DOI 10.36119/15.2019.11.4
- [8] Rozporządzenie Ministra zdrowia, w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach, Dz. U. Nr 208, poz. 1240, 2015
- [9] Wytyczne Głównego Inspektoratu Sanitarnego w sprawie wymagań jakości wody oraz warunków sanitarno-higienicznych na pływalniach, 2014
- [10] Ustawa o bezpieczeństwie osób przebywających na obszarach wodnych, Dz.U. 2011 nr 208 poz. 1240, 2011
- [11] Du1 Y., Xiao-Tong Lv , Qian-Yuan Wu, Da-Yin Zhang, Yu-Ting Zhou, Peng L., Hong – Ying Hu, Formation and control of disinfection byproducts and toxicity, during reclaimed water chlorination, Journal of Environmental Sciences, 2017, Vol 58, 52-54
- [12] Tardif1 R., Rodriguez M., Catto1 C., Charest-Tardif1 G., Simard S., Concentrations of disinfection by-products in swimming pool following modifications of the water treatment process, Journal of Environmental Sciences, 2017, Vol.58, 164-165