

**Joanna WYCZARSKA-KOKOT, Florian G. PIECHURSKI**

*Institut Inżynierii Wody i Ścieków  
Politechnika Śląska  
Gliwice*

## **BADANIE UKŁADU OCZYSZCZANIA WODY BASENOWEJ Z ZASTOSOWANIEM WIELOWARSTWOWEGO FILTRA W SYSTEMIE ZASYSANIA WODY ORAZ TRÓJSTOPNIOWEJ DEZYNFEKCJI**

**ANALYSIS OF WATER TREATMENT SYSTEM IN SWIMMING POOL  
WITH APPLICATION OF MULTISTRATIFIED FILTER IN WATER SUCK  
SYSTEM AND THREE-STEP DISINFECTION**

*Water in indoor swimming pools creates a specific environment, where fulfilling of numerous sanitary requirements is crucial to minimize hazards to the personal health of the bathers. The work presents results of analysis of water treatment system in indoor swimming pool with application of multistratified filter in water suck system and three-step disinfection (I step - dosage of nanosilver colloid, II-step - irradiation of water by means of UV rays, III-step - dosage of hypochlorite sodium). Including modern processes in water treatment system in swimming pool, allowed to reduce concentration of chlorine in water without negative influence on water quality (especially on microbiological purity) were showed. Suitability of swimming pool water for bathing was appraised on the basis of comparison of bacteriological, physical and chemical tests results (for samples taken from five points located in experimental swimming circulation system) with admissible value specified in hygienic requirement for indoor swimming pools. On the basis of obtained results of research, exploitation and technical data for analyzed installation conclusions were presented.*

### **1. Wprowadzenie**

Polskie baseny to dziś obiekty na wysokim, europejskim poziomie. Najnowocześniejsze niecki, wyszukane atrakcje czy niezawodny system obsługi klienta to jednak nie wszystko co decyduje o standardzie pływalni. By zbudować pływalnię na wysokim poziomie należy pamiętać o wysokosprawnej technologii oczyszczania wody, zapewniającej maksymalne ograniczenie zagrożeń dla zdrowia osób kąpiących się.

Infrastruktura obiektów basenowych, dzięki współdziałaniu inwestorów, projektantów i wykonawców, stale się rozwija. Wobec bardzo rygorystycznych wymagań co do

jakości wody basenowej tradycyjne układy filtracji i jednostopniowe systemy dezynfekcji stały się niewystarczające. Duża część istniejących obiektów jest modernizowana i wyposażana w dodatkowe urządzenia podwyższające sprawność pracy ciągów technologicznych wody basenowej.

Dzięki ogromnemu zapotrzebowaniu na pływalnie, rekreację ruchową w wodzie i rehabilitację wodną niezawodność i bezpieczeństwo instalacji basenowych to podstawa prawidłowego funkcjonowania wszystkich obiektów basenowych.

W Polsce jedynym przepisem prawnym formułującym wymagania jakościowe, jakim powinna odpowiadać woda w basenach, jest Ustawa z 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (Dz. U. Nr 72, poz. 747). Stwierdza się w niej, że jakość wody na potrzeby basenów kąpielowych i pływalni powinna odpowiadać jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [4, 7].

Przepisem określającym parametry jakościowe wody w basenach oraz dodatkowo wymagania projektowe i eksploatacyjne jest niemiecka norma DIN 19643. Na podstawie tej normy w 1998 roku zostały opracowane wymagania sanitarno-higieniczne dla krytych pływalni, wydane przez Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych [1, 6].

Wytyczne te zostały zaakceptowane przez Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej – Departament Zdrowia Publicznego pismem ZN.ZPN-093-21/9 z 1998 roku i przeznaczone dla stacji sanitarno-epidemiologicznych oraz rzeczoznawców ds. opiniowania dokumentacji inwestycji w zakresie wymagań sanitarno-higienicznych.

Wśród sposobów oczyszczania wody basenowej pozwalających na uzyskiwanie wody o zadowalających parametrach jakościowo-higienicznych wyróżnić można układy technologiczne obejmujące: filtrację wstępną, koagulację powierzchniową na złożach filtracyjnych, filtrację właściwą prowadzoną w filtrach o różnej konstrukcji, dezynfekcję prowadzoną różnymi metodami (chlorowanie, ozonowanie, naświetlanie promieniami UV) i korektę pH [8, 9].

Nowoczesne technologie uzdatniania wody, dobór właściwych preparatów chemicznych, wysoka efektywność filtrowania, zapewnienie mikrobiologicznej stabilności wody poprzez stosowanie oprócz dezynfekcji związkami chloru dodatkowych zabiegów dezynfekcyjnych oraz umiejętność dostosowywania układów oczyszczania wody basenowej do warunków eksploatacji danego basenu, tzn. frekwencji i jakości wody uzupełniającej, gwarantują uzyskanie wody kąpielowej o jakości wody do spożycia i zapewniającej osobom kąpiącym się komfort i bezpieczeństwo pod względem zdrowotnym [8, 9, 10].

## **2. Charakterystyka badanego układu oczyszczania wody basenowej**

Podstawą prawidłowej cyrkulacji wody w badanym obiekcie basenowym jest system zamkniętego obiegu z czynnym przelewem. Wprowadzanie oczyszczonej wody do niecki basenu następuje poprzez dysze usytuowane w jej dnie. Woda z basenu (w 100%-tach) odprowadzana jest poprzez rynny przelewowe do zbiornika wyrównawczego. W okresie badawczym ze zbiornika wyrównawczego woda zasysana była przez pompę napływu do filtra wyposażoną w łapacz włosów (filtr wstępny). Pompa tłoczyła wodę do filtra, skąd następnie kierowana była za pomocą pompy obiegowej do istniejącej instalacji, do której "wpięcie" wykonano przed wymiennikami do podgrzewania wody basenowej.

W badanym układzie filtracja realizowana była przy wykorzystaniu nowej, wdrażanej w Polsce technologii wielowarstwowego filtra podciśnieniowego. Zabrudzona woda basenowa wprowadzana była do filtra poprzez koryto przelewowe i równomiernie rozprowadzana na górnej powierzchni złoża filtracyjnego. Skoagulowane w wodzie cząstki zanieczyszczeń, zatrzymywane były w złożu filtracyjnym a czysta woda poprzez system dysz umieszczonych w dnie filtra wypływała do dalszego oczyszczania. Do wody przed filtrem dozowany był koagulant, natomiast za filtrem - korektor pH oraz środek do dezynfekcji – podchloryn sodu. Środki dozowane były automatycznie przez membranowe pompy tłoczące.

Podstawowe dane i parametry charakteryzujące rozpatrywany obieg basenowy zestawiono w tabeli 1.

### 3. Cel i metodyka badań

Celem podjętych badań była analiza innowacyjnego układu oczyszczania wody basenowej z zastosowaniem:

- wielowarstwowego filtra w systemie zasysania wody (rys. 1),
- systemu dozowania koloidalnego roztworu nanosrebra jako środka podnoszącego efekty końcowej dezynfekcji wody basenowej związkiem chloru,
- lamp UV jako urządzeń wspomagających dezynfekcję końcową i określenie możliwości obniżenia stężenia dezynfekanta w wodzie basenowej bez ujemnego wpływu na jej jakość (zwłaszcza czystość mikrobiologiczną).

Jako dane do rozwiązania problemu przyjęto:

- stanowisko do badań zamontowane w jednym z Centrów Rehabilitacji, Odnowy Biologicznej i Sportu,
- wyniki badań fizyczno-chemicznych i bakteriologicznych próbek wody pobieranych z doświadczalnego obiegu basenowego,
- dane eksploatacyjne i techniczne ustalone w trakcie rozruchu instalacji i w poszczególnych cyklach jej pracy.



Rys. 1. Instalacja filtra podciśnieniowego (fotografia autorów)

Fig. 1. Installation of pressure below filter (authors photography)

Koncepcja badań polegała na określeniu jakości wody pobieranej z eksperymentalnego obiegu basenowego i porównanie jej z wymaganiami normatywnymi [1, 2, 4, 6].

Próbki wody pobierane były z pięciu charakterystycznych punktów rozpatrywanego obiegu basenowego:

- WODA\_1 - próbka wody pobrana z niecki basenowej;
- WODA\_2 - próbka wody pobrana ze zbiornika wyrównawczego;
- WODA\_3 - próbka wody pobrana przed filtrem (przed procesem filtracji);
- WODA\_4 - próbka wody pobrana za filtrem (po procesie filtracji - filtrat);
- WODA\_5 - próbka wody uzupełniającej straty w obiegu basenowym (woda wodociągowa).

Analizie poddano wyniki badań wykonanych w okresie od 27 lipca 2009 do 21 sierpnia 2009 roku.

Próbki wody poddawano analizie bakteriologicznej (1 raz w tygodniu) i fizykochemicznej (2 razy w tygodniu), w zakresie podstawowych parametrów jakości wody basenowej oraz w zakresie parametrów kontrolnych wynikających z innowacyjności zastosowanej technologii.

Tab. 1. Charakterystyka badanego obiegu wody basenowej

Tab. 1. Characteristic of analyzed swimming pool water circulation system

BASEN	Doświadczalny obieg basenowy;
Czas eksploatacji instalacji badawczej	24.07.09 - 21.08.09
System przepływu wody	pionowy
Wydajność obiegu wodnego Q [m <sup>3</sup> /h]	29.2 - 30.0
Wymiary niecki basenowej [mxm]	3.2 x 5.4
Głębokość niecki basenowej [m]	1.2
Pojemność wodna [m <sup>3</sup> ]	20.8
Całkowita powierzchnia użytkowa [m <sup>2</sup> ]	17.2
Minimalna wymagana PU dla jednej osoby [m <sup>2</sup> /os.]	2.7
Frekwencja [os./dobę]	1-wszy tydzień: 17; 2-gi tydzień: 27; 3-ci tydzień: 32; 4-ty: 14; (średnio: 3.4 os./godz.)
Basen czynny:	od 8.00 do 17.00
Rzeczywista powierzchnia użytkowa [m <sup>2</sup> /os.]	5.1
Charakterystyka wody uzupełniającej	zasilanie obiegu wodą z miejskiej sieci wodociągowej;
Ilość wody uzupełniającej [dm <sup>3</sup> /os.]	uzupełnianie obiegu następuje po każdorazowym płukaniu złoża filtracyjnego wodą o objętości 3.25 m <sup>3</sup>
Ilość filtrów [szt.]	1
Rodzaj filtra	filtr podciśnieniowy wielowarstwowy ze złożem węglowo - piaskowym
Wysokość warstwy filtracyjnej [m]	1,2 m (warstwa koksu z węgla brunatnego, piasek kwarcowy, filtracyjny o grubości ziaren 0.4-0.8 mm i 1.0-2.0 mm);
Rodzaj złoża	piaskowe wielowarstwowe z warstwą węgla aktywnego;
Powierzchnia filtracji 1-go filtra [m <sup>2</sup> ]	1
Wydajność zespołu filtracyjnego [m <sup>3</sup> /h]	30
Prędkość filtracji [m/h]	30
Czas cyklu filtracyjnego [doba]	3
Sposób płukania filtra	powietrzem oraz wodą obiegową pobieraną ze zbiornika wyrównawczego;
Prędkość płukania [m/h]	60 - powietrzem, 50 - wodą
Ilość wody do płukania filtra [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> złoża]	3.25
Miejsce odprowadzania popłuczyn	miejska sieć kanalizacji sanitarnej;
Technologia uzdatniania wody obiegowej	filtracja wstępna (łapacz włókien) - koagulacja powierzchniowa (kontaktowa) -filtracja przez złożo wielowarstwowe uaktywnione nanosrebrem - naświetlanie strumienia wody obiegowej promieniami UV - dezynfekcja NaOCl - korekta pH;
Rodzaj koagulantu	wodny roztwór Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> x 18 H <sub>2</sub> O
Środek do korekty pH	kwas siarkowy roztwór 50% (pH minus)
Rodzaj lampy UV i czas jej pracy	Włączenie lampy UV AQUAFIDES 1AF400T , 17.08.09 - 144 godz. pracy, 194 W/m <sup>2</sup> , 20.08.09 - 194 godz. pracy, 194 W/m <sup>2</sup>
Dezynfekcja końcowa / Chlorowanie "konserwujące"	za pomocą wodnego roztworu NaOCl o stęż. 15 %, przy zalecanym stężeniu chloru wolnego w wodzie basenowej 0,3-0,6 mgCl <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> - dawkowanie automatyczne;
Zabiegi dodatkowe	dawkowanie ( tu: jednorazowo) do wody przed filtrem 11 dm <sup>3</sup> koloidu na bazie wody z nanocząsteczkami srebra;

## 4. Wyniki badań i ich omówienie

Przydatność wody basenowej do kąpielii oceniono na podstawie porównania wyników badań bakteriologicznych i fizyczno-chemicznych z dopuszczalnymi wartościami wskaźników zanieczyszczeń określonymi w:

- Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. U. Nr 61, poz. 417 [4],
- Niemieckiej normie DIN 19643 i wymaganiach sanitarno – higienicznych dla krytych pływalni. MZiOS, Departament Zdrowia Publicznego, PZITS, Warszawa 1998, nr arch. 760 [1, 6].

Na podstawie analiz fizyczno-chemicznych i bakteriologicznych próbek wody pobieranych z pięciu punktów doświadczalnego obiegu basenowego w okresie czterech tygodni badań ogólnie można było stwierdzić dobrą jakość wody basenowej i jej przydatność do kąpielii.

Szczegółowa analiza pobranych próbek wody:

- **Azot amonowy, azotanowy i azotynowy** - stężenia jonów azotynowych, azotanowych i amonowych przekraczające dopuszczalne wartości normatywne dla wód basenowych informują o wzroście zanieczyszczenia materią organiczną, nieskutecznej dezynfekcji i niskiej sprawności procesu oczyszczania; ponadto duża zawartość jonów amonowych w wodzie basenowej stwarza trudności przy jej chlorowaniu; z kolei duże stężenia azotanów mogą być wynikiem niedostatecznego uzupełniania świeżą wodą wodociągową.

Stężenia azotu amonowego w każdej próbce wody nie przekroczyły wartości dopuszczalnej określonej w normie DIN19643 ( $0,5 \text{ mgN-NH}_4/\text{dm}^3$ ) i wynosiły: dla WODA\_1  $0,04\text{-}0,19 \text{ mgN-NH}_4/\text{dm}^3$ ; dla WODA\_2  $0,04\text{-}0,20 \text{ mgN-NH}_4/\text{dm}^3$ ; dla WODA\_3  $0,04\text{-}0,21 \text{ mgN-NH}_4/\text{dm}^3$ ; dla WODA\_4  $0,04\text{-}0,19 \text{ mgN-NH}_4/\text{dm}^3$  i dla WODA\_5  $0,04\text{-}0,16 \text{ mgN-NH}_4/\text{dm}^3$ .

Stężenia azotu azotanowego również spełniały wymogi normy (stężenie dopuszczalne:  $20 \text{ mgNO}_3/\text{dm}^3$  czyli  $4,43 \text{ mgN-NO}_3/\text{dm}^3$ ) i wynosiły odpowiednio:  $0,47\text{-}1,26 \text{ mgN-NO}_3/\text{dm}^3$ ;  $0,48\text{-}1,25 \text{ mgN-NO}_3/\text{dm}^3$ ;  $0,48\text{-}1,27 \text{ mgN-NO}_3/\text{dm}^3$ ;  $0,48\text{-}1,25 \text{ mgN-NO}_3/\text{dm}^3$  i  $0,17\text{-}0,60 \text{ mgN-NO}_3/\text{dm}^3$ .

Zawartość azotu azotynowego we wszystkich próbkach wody wynosiła:  $<0,01 \text{ mgN-NO}_2/\text{dm}^3$ .

- **Barwa** - parametr fizyczny wody pozwalający ocenić efekty pracy stacji oczyszczania wody basenowej. W rozpatrywanym obiegu basenowym barwa określana była w WODA\_1, WODA\_2, WODA\_4 i WODA\_5. We wszystkich próbkach wody wartość barwy wynosiła:  $<5 \text{ mgPt}/\text{dm}^3$ , a więc znacznie poniżej wartości dopuszczalnej ( $15 \text{ mgPt}/\text{dm}^3$ ).
- **Chlor wolny, związany i całkowity** - parametry jakości wody basenowej określające zdolność antyseptycznego działania środka dezynfekcyjnego; chlor wolny i związany stanowią chlor użyteczny (całkowity); ponieważ chlor wolny i związany mogą występować równocześnie ustalenie postaci chloru pozostałego jest bardzo ważne ze względu na przebieg i efekt dezynfekcji wody oraz jej właściwości organoleptyczne i zdrowotne.

Badania kontrolne przeprowadzone *in situ* wykazały wysoką sprawność prowadzonych procesów dezynfekcji wody basenowej. Stężenia chloru wolnego w wodzie basenowej (WODA\_1), dzięki zastosowanej precyzyjnej automatyce procesu dozowania dezynfektanta w postaci NaOCl charakteryzowały się stabilnością i wynosiły:  $0,38\text{-}0,43 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$  (średnio:  $0,41 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$ ). Podobnie było w pozostałych punk-

tach pomiarowych. Średnie stężenie chloru wolnego dla WODA\_2 wynosiło: 0,29 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>; dla WODA\_3 0,26 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>; dla WODA\_4 0,06 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> i dla WODA\_5 0,02 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Obserwowano systematyczne zmniejszanie się stężenia chloru wolnego w kolejnych punktach obiegu basenowego.

Filtracja wody przez złożę z warstwą antracytu powodowała redukcję stężenia chloru wolnego w granicach: 57,1-100% (średnio: 77,8%).

Zawartość chloru związanego (w postaci chloramin) w wodzie basenowej, ograniczona jest wymogami normy (wartość dopuszczalna według DIN - 0,2 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, według Rozporządzenia Min. Zdrowia - 0,5 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) ze względu na możliwość powodowania alergii, podrażnienia górnych dróg oddechowych oraz układu pokarmowego u osób kąpiących się, właściwości mutagenne i możliwość powstawania nieprzyjemnego zapachu wody.

Stężenia chloru związanego wynosiły: dla WODA\_1 0,24-0,39 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>; dla WODA\_2 0,2-0,28 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>; dla WODA\_3 0,2-0,23 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>; dla WODA\_4 0,08-0,24 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> i dla WODA\_5 0,05-0,35 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Większe niż wymagane w normie DIN stężenia chloru związanego w próbkach wody z niecki basenowej (średnio o 0,11 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) nie powodowały skarg osób korzystających z kąpeli.

- **Chlorki** - parametr jakości wody, którego nagły wzrost w basenie może świadczyć o zanieczyszczeniu wody produktami metabolizmu od osób kąpiących się, a więc o przeciążeniu basenu lub niedostatecznej wymianie wody w obiegu basenowym.

Stężenia chlorków w próbkach wody basenowej w okresie pierwszych dwóch tygodni badań nie budziły zastrzeżeń i nie przekraczały 200 mgCl/dm<sup>3</sup>. W trzecim i czwartym tygodniu badań odnotowano duże stężenia chlorków: 261-316 mgCl/dm<sup>3</sup> dla WODA\_1; 266-306 mgCl/dm<sup>3</sup> dla WODA-2; 268-307 mgCl/dm<sup>3</sup> dla WODA\_3 i 256-368 mgCl/dm<sup>3</sup> dla WODA\_4. Ponieważ woda uzupełniająca straty w obiegu basenowym charakteryzowała się małymi stężeniami chlorków (8,8-17,7 mgCl/dm<sup>3</sup>) stwierdzono niewystarczające uzupełnianie obiegu basenowego "świeżą" wodą wodociągową.

- **Glin ogólny** - parametr jakości wody wskazujący na sprawność procesu koagulacji i filtracji wody w obiegu basenowym.

W analizowanych próbkach odnotowano bardzo małe stężenia glinu ogólnego nie przekraczające wartości 0,05 mgAl<sup>+</sup><sub>3</sub>/dm<sup>3</sup> i wynoszące: dla WODA\_1 0,01-0,034 mgAl<sup>+</sup><sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>; dla WODA\_2 0,01-0,024 mgAl<sup>+</sup><sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>; dla WODA\_3 0,01-0,037 mgAl<sup>+</sup><sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>; dla WODA\_4 0,01-0,037 mgAl<sup>+</sup><sub>3</sub>/dm<sup>3</sup> i dla WODA\_5 0,01-0,034 mgAl<sup>+</sup><sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>.

- **Indeks nadmanganianowy (utlenialność), ogólny węgiel organiczny (OWO)** - parametry jakości wody basenowej określające stopień jej zanieczyszczenia związkami organicznymi. Wysoka zawartość rozpuszczonego węgla organicznego w wodzie basenowej może być przyczyną szybkiego rozwoju bakterii, w tym bakterii chorobotwórczych. Różnica wartości utlenialności wody basenowej i uzupełniającej nie powinna przekraczać 0,75 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> (według DIN 19643). Według Rozporządzenia Min. Zdrowia wartość utlenialności nie powinna przekraczać 5 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, a wartość OWO - 5 mgC/dm<sup>3</sup>.

W cyklu badań odnotowywano niskie wartości indeksu nadmanganianowego i ogólnego węgla organicznego. W większości próbek oznaczono indeks nadmanganianowy < 0,5 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. W pojedynczej próbce wody z niecki basenowej oznaczono utlenialność na poziomie 9,46 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. W tej samej próbce wartość OWO również przekraczała wartość dopuszczalną i wynosiła 14,5 mgC/dm<sup>3</sup>. Wysoki stopień

zanieczyszczenia wody w niecce basenowej określony w analizowanej próbce potwierdzało dodatkowo duże stężenie chlorków:  $282 \text{ mgCl}^-/\text{dm}^3$ .

W wodzie uzupełniającej straty w obiegu basenowym wartości OWO wynosiły: 2,0-3,5  $\text{mgC}/\text{dm}^3$ , za wyjątkiem próbki z dnia 10.08.09, w której oznaczono: 17,5  $\text{mgC}/\text{dm}^3$ . Wartość utlenialności w tej próbce wynosiła: 2,83  $\text{mgO}_2/\text{dm}^3$  i była najwyższa spośród wszystkich oznaczonych w tej wodzie.

▪ **Mętność, zawiesiny ogólne**

Mętność to cecha określająca optyczne właściwości wody zależne w dużym stopniu od zawartości i charakteru zawiesin w wodzie. Oznaczenie mętności w wodzie basenowej jest wymagane ze względu na jej wartości użytkowe (wartość dopuszczalna według DIN 19643: 0,5 NTU, według Rozporz. Min. Zdrowia: 1,0 NTU). Z higienicznego punktu widzenia istotny jest czynnik powodujący mętność.

We wszystkich analizowanych próbkach wody wartości mętności były niskie i wynosiły 0,04-0,33 NTU. Dodatkowo oznaczone ilości zawiesin ogólnych w rozpatrywanych punktach obiegu basenowego na poziomie 2-3  $\text{mg}/\text{dm}^3$  świadczyły o bardzo niskim zanieczyszczeniu wody basenowej materią zawieszoną.

Oznaczona ilość zawiesin ogólnych (2,00-2,75  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) w próbkach wody przed (WODA\_3) i za filtrem (WODA\_4) wskazywała na bardzo niską (praktycznie zerową) sprawność usuwania substancji zawieszonych w wodzie basenowej i niską sprawność procesu koagulacji.

▪ **Odczyn - pH** - parametr jakości wody o podstawowym znaczeniu dla prawidłowego przebiegu procesów uzdatniania wody basenowej.

Wartości odczynu wody (pH) w każdym z pięciu punktów poboru próbek mieściły się w wymaganym zakresie (6,5 - 7,6) i wynosiły: 7,03-7,38 dla WODA\_1; 6,94-7,41 dla WODA\_2; 7,18-7,44 dla WODA\_3; 7,00-7,44 dla WODA\_4 i 7,33-7,57 dla WODA\_5.

▪ **Potencjał redox** - parametr wody basenowej, określający jej zdolność utleniająco-redukcyjną; daje możliwość oceny procesu chlorowania i prędkości niszczenia bakterii.

Wartości potencjału redox uzyskane w trakcie badań kontrolnych *in situ* dla wody z niecki basenowej mieściły się w granicach: 725-759 mV (średnio: 748 mV) i wskazywały na dobre zabezpieczenie osób kąpiących się przed ryzykiem zakażenia w czasie kąpieli.

▪ **Srebro** - w badanym obiegu parametr analizowany ze względu na dozowanie do wody obiegowej, przed filtrem koloidu z nanocząsteczkami srebra. W trakcie badań do wody dodano w sumie 11  $\text{dm}^3$  roztworu koloidu "nanosrebra". Celem było utrzymanie stężenia srebra na poziomie 0,05  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , które według informacji producenta powinno zapewnić stabilność mikrobiologiczną wody w niecce basenowej.

Według Rozporz. Min. Zdrowia z 2007 roku (Dz. U. Nr 61, poz. 417) srebro zawarte w wodzie przeznaczonej do spożycia nie powinno przekraczać stężenia: 0,01  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . W wodzie w obiegu basenowym stężenia srebra wynosiły: 0,01-0,006  $\text{mg}/\text{dm}^3$  dla WODA\_1, 0,002-0,005  $\text{mg}/\text{dm}^3$  dla WODA\_2, 0,002-0,007  $\text{mg}/\text{dm}^3$  dla WODA\_3, <0,002  $\text{mg}/\text{dm}^3$  dla WODA\_4 i WODA\_5.

▪ **Trihalometany (suma THM-ów)** - związki silnie toksyczne i trudno biodegradowalne. Poprzez kumulowanie się w komórkach żywych organizmów wykazują m.in. działanie karcynogenne, mutagenne i teratogenne. Powstają głównie w końcowych etapach procesu uzdatniania wody (dezynfekcja związkami chloru). Zawartość sumy THM-ów w wodach jest ściśle normowana. Ich łączne stężenie nie może przekroczyć odpowiednio 100  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$  w wodzie do spożycia i 20  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$  w wodzie basenowej.



Rygorystyczne przestrzeganie zawartości sumy THM-ów w wodzie basenowej jest szczególnie istotne dla basenów sportowych, przeznaczonych do kilkugodzinnych treningów.

Suma THM-ów oznaczana była w wodzie z niecki basenowej oraz w wodzie uzupełniającej. We wszystkich próbkach stężenie sumy THM-ów nie przekroczyło  $20 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ .

- **Temperatura** - wskaźnik fizyczny wody, wpływający na sprawność procesów koagulacji, dezynfekcji i korekty pH wody w obiegu basenowym.

Temperatura wody w niecce basenowej na podstawie bezpośrednich pomiarów wynosiła  $28-30^\circ\text{C}$  i w całym okresie badań odpowiadała wymaganiom normatywnym dla basenów pływackich i do nauki pływania. W punktach pomiarowych: WODA\_2, WODA\_3, WODA\_4 temperatura wody wynosiła ok.  $27-28^\circ\text{C}$ . Temperatura wody wodociągowej uzupełniającej wynosiła:  $12-15^\circ\text{C}$ .

- **Twardość ogólna** - wskaźnik chemiczny istotny dla zachowania odpowiednich parametrów jakościowych wody basenowej zwłaszcza przy wzroście temperatury wody i silnym jej nasłonecznieniu; poza tym wysoka twardość wody jest jedną z przyczyn, dla których woda w basenach pływackich powinna być corocznie całkowicie wymieniana na świeżą wodę wodociągową.

Wartości twardości wody z obiegu basenowego nie przekraczały  $97,5 \text{ mgCaCO}_3/\text{dm}^3$  i wynosiły:  $74,4-97,5 \text{ mgCaCO}_3/\text{dm}^3$  dla WODA\_1,  $70,4-93,4 \text{ mgCaCO}_3/\text{dm}^3$  dla WODA\_2,  $72,0-90,1 \text{ mgCaCO}_3/\text{dm}^3$  dla WODA\_3,  $69,9-86,6 \text{ mgCaCO}_3/\text{dm}^3$  dla WODA\_4 i  $67,6-91,4 \text{ mgCaCO}_3/\text{dm}^3$  dla WODA\_5.

- ***Pseudomonas aeruginosa*** (pałeczka ropy błękitnej) [3, 5] – jest bakterią, żyjącą w glebie i wodzie, a także w organizmach ludzi i zwierząt. Optymalną temperaturą do wzrostu jest  $37^\circ\text{C}$ . Bakterie te wykazują odporność na działanie związków chloru, mogą tworzyć kolonie (biofilm) przyłączone do powierzchni albo bytować w formie wolnej jako organizmy jednokomórkowe. *P. aeruginosa* może wywoływać takie infekcje oportunistyczne u człowieka jak zapalenie ucha środkowego, zakażenia przyranne, a u osób z ogólnym osłabieniem – nawet posocznice. Typowym siedliskiem dla *P. aeruginosa* jest pogranicze pomiędzy wodą i powietrzem, np. kurki do wody, prysznice, kałuże w obrębie pomieszczeń przybasenia (szatnie i natryski).

Według DIN 19643 bakteria *Pseudomonas aeruginosa* nie może występować w objętości  $100 \text{ cm}^3$  wody dopływającej (uzdatnionej) do niecki basenowej i wody w niecce basenowej.

W czasie trwania badań, we wszystkich próbkach poddanych analizie mikrobiologicznej nie oznaczono jtk (jednostek tworzących kolonie) *Pseudomonas aeruginosa*.

- ***Legionella pneumophila*** [3, 5] - jest największym na świecie problemem higieniczno-infekcyjnym we wszystkich systemach ciepłej wody użyteczności publicznej (pływalnie, szpitale, hotele, ośrodki sportowe), a także w pomieszczeniach prywatnych (prysznic), w systemach klimatyzacyjnych i obiegach wody chłodzącej. Optymalna temperatura do rozmnażania dla *L. pneumophila* wynosi od  $30^\circ\text{C}$  do  $45^\circ\text{C}$ . Dopiero w temperaturze powyżej  $60^\circ\text{C}$  bakterie te obumierają. Bakterie *L. pneumophila* wywołują choroby z grupy legioneloz, które mogą występować w formie ciężkiego zapalenia płuc lub w formie przypominającą zwykłą grypę. Do zakażenia u ludzi dochodzi głównie drogą wziewną, w wyniku inhalacji aerozoli zawierających bakterie *Legionella pneumophila*.

Według DIN 19643 bakteria *Legionella pneumophila* nie może występować w objętości  $1 \text{ cm}^3$  wody w niecce basenowej i nie może występować w objętości  $100 \text{ cm}^3$  wody dopływającej (uzdatnionej) do niecki basenowej. Na obecność bakterii *Legionella pneumophila* powinno się sprawdzać whirlpool'e i inne baseny z napowietrzaniem wody.

Szczególnym miejscem dużej koncentracji *P. aeruginosa* i *L. pneumophila* są złoża filtrów piaskowych i z węglem aktywnym, stosowane w systemach uzdatniania wody basenowej. Ze względu na panującą tam temperaturę, wystarczającą ilość pożywienia oraz idealne warunki do rozmnażania, zasiedla się tam również wiele innych bakterii. Skażenia bakteryjnego filtra można uniknąć jedynie poprzez wysoko efektywne i systematyczne płukanie go, z zachowaniem odpowiedniego stężenia chloru w wodzie do płukania.

W próbkach wody uzupełniającej obieg (WODA\_5) bakterie *Legionella sp.* oznaczono trzykrotnie. W próbce z dnia 03.08.09 oznaczono 140 jtk *Legionella sp.* (oznacza średnie skażenie, należałoby uznać sieć wodociagową za skolonizowaną przez pałeczki *Legionella* i podjąć działania zmierzające do redukcji ich liczby), w próbce z dnia 10.08.09 oznaczono 14 jtk i w próbce z dnia 17.08.09 oznaczono 4 jtk *Legionella sp.* (oznacza skażenie znikome; system pod kontrolą; nie wymaga podjęcia specjalnych działań). Pomimo obecności jtk *Legionella sp.* w wodzie zasilającej obieg analizowanego basenu w pozostałych próbkach z punktów: WODA\_1, WODA\_2, WODA\_3 i WODA\_4 nie oznaczono jtk *Legionella sp.*, co świadczyło o wysokiej sprawności prowadzonego procesu dezynfekcji wody.

- ***Escherichia coli*** (pałeczka okrężnicy) [3, 5] –wchodzi w skład fizjologicznej flory bakteryjnej jelita grubego człowieka i dlatego też stanowi wskaźnik zanieczyszczenia wody przez bakterie kałowe. Wytrzymałość *E. coli* na czynniki środowiskowe jest stosunkowo mała. Ginie ona po 20 minutach ogrzewania w temperaturze 60°C, jest wrażliwa na wszystkie znane środki dezynfekcyjne. Jednakże w środowisku o temperaturze niższej i odpowiedniej wilgotności może utrzymywać się miesiącami.

Wykrycie *E. coli* w próbce wody wskazuje na możliwość zakażenia wody przez zarazki chorobotwórcze oraz konieczność podjęcia niezbędnych środków ostrożności.

Bakterie *E. coli*, które są nieszkodliwe w jelicie, mogą powodować: zakażenia dróg moczowych, zatrucia pokarmowe, zapalenie otrzewnej, a przy występujących powikłaniach posocznicy i wstrząs endotoksyczny tzw. sepsę.

Według DIN 19643 bakteria *Escherichia coli* nie może występować w objętości 100 cm<sup>3</sup> wody dopływającej (uzdatnionej) do niecki basenowej i wody w niecce basenowej. W czasie badań, w próbkach, nie oznaczono jtk *Escherichia coli* i bakterii grupy *coli* typu fekalnego, za wyjątkiem próbek wody pobranych do analizy z dnia 27.07.09, w których oznaczono < 5 jtk *Escherichia coli* i < 5 jtk bakterii grupy *coli* typu fekalnego.

- **Gronkowce koagulazo-dodatnie** (*Staphylococcus sp.*) [3, 5] – są odpowiedzialne za większości zakażeń gronkowcowych u ludzi.. Zakażenia dotyczą przede wszystkim skóry i tkanek podskórnych, zwykle z udziałem procesu ropnego. Rozprzestrzenianiu *Staphylococcus aureus* (Gronkowca złocistego) sprzyja bezobjawowe nosicielstwo. Szacuje się, że co najmniej 10% ludzi zdrowych to stali nosiciele gronkowca złocistego, zaś 70-90% należy do tzw. nosicieli przejściowych. Bakteria zasiedla głównie błony śluzowe nosa oraz gardła.

Według wymagań sanitarnych i przeciwepidemicznych dla basenów kąpielowych (EN-4435-26/86) liczba kolonii gronkowców koagulazo-dodatnich nie może przekraczać 2 w 100 cm<sup>3</sup> próbki wody pobranej z niecki basenowej.

W czasie trwania badań, we wszystkich próbkach poddanych analizie nie oznaczono jtk gronkowców koagulazo-dodatnich.

- **Ogólna liczba bakterii** – jest to bardzo ważne kryterium jakości wody przeznaczonej do spożycia i kąpieli. Liczba kolonii bakterii > 100 (w 1cm<sup>3</sup>) świadczy o zagrożeniu skażenia wody bakteriami chorobotwórczymi i nieprawidłowo zachodzących procesach jej uzdatniania.

Według niemieckiej „normy basenowej” oraz Rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia liczba kolonii bakterii wyhodowana w temperaturze 37°C w ciągu 48 godzin nie może przekraczać 100 w 1 cm<sup>3</sup> wody.

W trzech na cztery próbki wody basenowej (WODA\_1) poddanych analizie mikrobiologicznej oznaczono 1 jtk. W dwóch na cztery pobrane próbki wody ze zbiornika wyrównawczego (WODA\_2) oznaczono kolejno: 18 jtk i 5 jtk. We wszystkich próbkach wody przed filtrem (WODA\_3) oznaczono jtk bakterii wyhodowanych w temperaturze 37°C w ciągu 48 godzin - oznaczono kolejno: 42 jtk, 1 jtk, 12 jtk i 2 jtk. We wszystkich próbkach wody za filtrem (WODA\_4) również oznaczono ogólną liczbę bakterii. W pierwszej próbce oznaczono 2500 jtk, w drugiej 570 jtk, w trzeciej 2800 jtk i w czwartej 2600 jtk. Tak duża liczba jtk bakterii w filtracji z jednej strony świadczy o wypłukiwaniu biofilmu ze złoża filtracyjnego i braku skutecznej koagulacji powierzchniowej, z drugiej strony liczba jtk bakterii (znacznie poniżej 100) w pozostałych punktach pomiarowych potwierdza skuteczność zastosowanej metody dezynfekcji wody basenowej. W dwóch na cztery pobrane próbki wody uzupełniającej (WODA\_5) oznaczono: 4 jtk i 23 jtk.

## 5. Podsumowanie badań i wnioski

Przeprowadzone badania wskazują na skuteczność zaproponowanego układu oczyszczania wody basenowej z zastosowaniem wielowarstwowego filtra w systemie zasysania wody, układu dozowania koloidalnego roztworu nanosrebra oraz lampy UV jako wspomaganie procesu dezynfekcji końcowej.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- Wartości parametrów charakteryzujące jakość wody w niecce basenowej odpowiadały obowiązującym przepisom [1, 2, 4, 6, 7], a w większości przypadków wymagania te znacznie przewyższały.
- Obserwowano systematyczne zmniejszanie się stężenia chloru wolnego w kolejnych punktach obiegu basenowego. W wyniku filtracji wody basenowej przez złożo z warstwą antracytu redukcja stężenia chloru wolnego wynosiła średnio: 77,8%.
- Stężenia chloru związanego w próbkach wody pobranych z niecki basenowej, przekraczające wymagania normy DIN 19643 o średnio 0,11 mgCl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> nie powodowały skarg osób korzystających z kąpielni.
- Na podstawie analizy stężenia chlorków (systematyczny wzrost stężenia od 80 do 316 mgCl/dm<sup>3</sup>) w całym okresie badań, stwierdzono niewystarczające uzupełnianie obiegu basenowego "świeżą" wodą wodociągową.
- Oznaczona ilość zawiesin ogólnych (2,00 - 2,75 mg/dm<sup>3</sup>) w próbkach wody przed i za filtrem wskazuje na praktycznie zerową sprawność usuwania substancji zawieszonych i wytrąconych z wody basenowej i niską sprawność procesu koagulacji powierzchniowej.
- Niskie wartości stężeń sumy THM-ów (< 20 µg/dm<sup>3</sup>), związków powstających głównie w wyniku dezynfekcji związkami chloru, świadczą o wysokiej sprawności zaproponowanego systemu dezynfekcji wody basenowej wspomaganego działaniem nanosrebra i naświetlaniem promieniami UV-C.
- Wysoką sprawność zaproponowanego systemu dezynfekcji potwierdzają wyniki badań mikrobiologicznych. Pomimo obecności w próbkach filtratu dużej liczby jtk bakterii wyhodowanych w temperaturze 37°C w ciągu 48 godzin (570 - 2800 jtk),

w próbkach wody z niecki basenowej oznaczono zaledwie 1 jtk (liczba dopuszczalna 100 jtk).

- Potwierdzeniem wysokiej skuteczności zabezpieczenia wody basenowej przed skażeniem bakteriologicznym, w zaproponowanym układzie technologicznym, były wysokie wartości potencjału redox (średnio: 748 mV).

## Bibliografia

- [1] DIN 19643, Aufbereitung von Schwimm und Badebeckenwasser, Dusseldorf 1997.
- [2] Maziarka S.: Wymagania sanitarne i przeciwepidemiczne dla basenów kąpielowych. Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej - Departament Inspekcji Sanitarnej nr EN-4435-26/86 z 1986.
- [3] Roeske W.: Dezynfekcja wody pitnej. PROJPRZEMEKO, Bydgoszcz 2007.
- [4] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. U. Nr 61, poz. 417.
- [5] Schlegel H. G.: Mikrobiologia ogólna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
- [6] Sokołowski Cz.: Wymagania sanitarno – higieniczne dla krytych pływalni. MZiOS, Departament Zdrowia Publicznego, PZITS, Warszawa 1998, nr arch. 760.
- [7] Ustawa z 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków. Dz. U. Nr 72, poz.747.
- [8] Wyczarska-Kokot J., Piechurski F.: Modernizacja systemu uzdatniania wody basenowej warunkiem uzyskania normatywnych parametrów jej jakości. Mat. konf. XVIII Krajowa, VI Międzynarodowa Konferencja Nauk.-Techn. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód.” Poznań 2004, s. 875-888.
- [9] Wyczarska-Kokot J., Piechurski F.: Poprawa jakości wody basenowej przy zastosowaniu nowoczesnych technologii uzdatniania. II Kongres Inżynierii Środowiska. Lublin 2005, s. 309-319.
- [10] Wyczarska-Kokot J., Piechurski F.: Przyczyny modernizacji technologicznych układów oczyszczania wody basenowej. XX Krajowa, VIII Międzynarodowa Konf. Nauk.-Techn. „Zaopatrzenie w wodę jakość i ochrona wód,” Gniezno 2008, s. 737-748.