

Joanna WYCZARSKA-KOKOT, Florian G. PIECHURSKI

*Institut Inżynierii Wody i Ścieków
Politechnika Śląska*

ANALIZA PRACY ZŁOŻA FILTRACYJNEGO PIASKOWEGO I Z WARSTWĄ ANTRACYTU W SYSTEMIE OCZYSZCZANIA WODY BASENOWEJ

ANALYSIS OF WORK OF SAND FILTER BED AND WITH ANTHRACITE LAYER IN THE POOL WATER TREATMENT SYSTEM

Results of two stages of research are presented and compared. The main aim of presented research was to estimate the efficacy of a vacuum filtration system for two types of bed layer. The two stages of researches were conducted for the filtration process in closed circulation pool water treatment circulation system. In the 1st stage of research a filter containing a layer of anthracite and a layer of quartz sand was tested. In the 2nd stage of research the same filter was used, but the layer of anthracite was replaced by a second layer of quartz sand. The efficacy of the vacuum filter was determined by comparing chemical, physical and bacteriological water samples taken from the swimming pool and samples taken from the filtrate. The modification of the bed filter resulted in a significant reduction of the concentration of free chlorine in the process of filtration and the total number of cfu of bacteria in the filtrate.

1. Wprowadzenie i założenia badawcze

W układach oczyszczania wody basenowej, gwarantujących uzyskanie wody zapewniającej osobom kąpiącym się komfort i bezpieczeństwo pod względem zdrowotnym, decydujące są wysokosprawne systemy filtracji i dezynfekcji wody.

Oczyszczanie wody dla krytych pływalni realizowane jest w obiegach zamkniętych z czynnym przelewem. Wprowadzanie oczyszczonej wody do basenu następuje poprzez dysze usytuowane w dnie lub bocznych ścianach niecki. Woda z basenu odprowadzana jest poprzez rynny przelewowe do zbiornika wyrównawczego, skąd za pomocą pompy napływa do filtra.

Systemy oczyszczania wody basenowej składają się z jednostkowych procesów: filtracja wstępna (w tzw. łapaczach włókien i włosów), koagulacja powierzchniowa prowadzona w różnego rodzaju złożeń i w filtrach o różnej konstrukcji, dezynfekcja podchlorynem sodu lub podchlorynem wapnia wspomagana coraz częściej ozonowaniem lub naświetlaniem promieniami UV oraz proces korekty pH wody [11, 12].

Wobec braku polskiego rozporządzenia w sprawie wymagań co do jakości wody basenowej projektanci, osoby zarządzające obiektami basenowymi oraz kontrolujące jakość wody w obiegach basenowych z reguły odnoszą się do wymagań niemieckiej normy DIN 19643 oraz opracowanych na jej podstawie wymagań sanitarno-higienicznych dla krytych pływalni, wydanych przez Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych [1, 10].

Zawarte w wymienionych dokumentach wysokie wymagania w zakresie jakości wody basenowej są powodem poszukiwania nowych rozwiązań w zakresie technologii jej oczyszczania oraz udoskonalania rozwiązań już istniejących [11, 12].

W technice basenowej od wielu lat z powodzeniem stosowane są systemy filtracji ciśnieniowej i podciśnieniowej, spełniające wymagania norm DIN 19643 [1] i DIN 19605 [2].

Omówione w artykule zagadnienia są kontynuacją tematu podjętego w 2009 roku, kiedy to analizowano efekty pracy układu oczyszczania wody basenowej z zastosowaniem: filtra podciśnieniowego nowej generacji i naświetlaniem strumienia wody obiegowej promieniami UV, jako procesu wspomagającego dezynfekcję końcową podchlorynem sodu [13, 14].

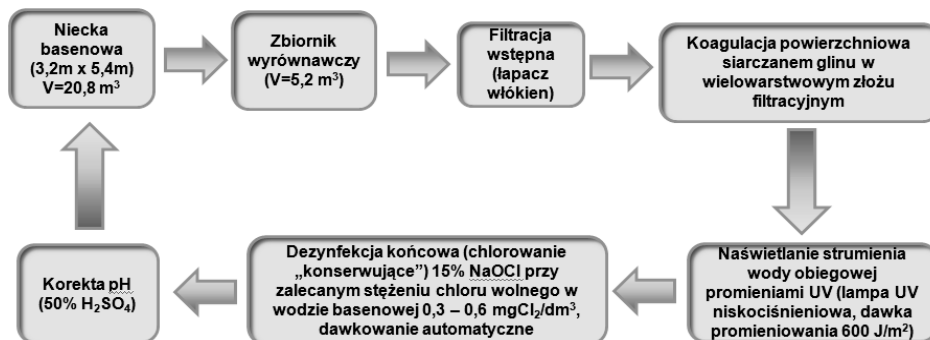
Autorzy, na podstawie analizy wyników badań oraz wniosków z zasadniczego etapu badań, zadali sobie pytanie: w jaki sposób zmiana rodzaju złoża filtracyjnego wpłynie na pracę systemu oczyszczania wody basenowej, a zwłaszcza jak zmienią się fizyczno-chemiczne i bakteriologiczne parametry filtratu?

2. Charakterystyka układu technologicznego i zastosowanego w nim filtra

W badanym obiegu basenowym wprowadzanie oczyszczonej wody do niecki basenu następuje poprzez zespół 14 dysz zainstalowanych w jej dnie. Odbiór wody następuje przez przelew górny (do rynny przelewowej) i woda kierowana jest do zbiornika wyrównawczego (przelewowego) o pojemności 5,2 m³. Woda zasysana jest ze zbiornika przez pompę cyrkulacyjną. Przed pompą zainstalowany jest kosz z filtrem siatkowym (tzw. łapacz włosów) wychytujący większe zanieczyszczenia stałe. Pompa tłoczy wodę do filtra, skąd po przepływie przez lampę UV, dozowaniu dezynfektanta i korektora pH kierowana jest (poprzez wymienniki ciepła) do basenu (rys. 1).

W dnie basenu zainstalowana jest krata spustowa, która podłączona jest w instalacji obiegu wody do kolektora ssawnego przed pompą. Zawór na rurociągu ssawnym z kraty dennej w trakcie normalnej pracy jest zamknięty. Otwierany jest w sytuacjach, gdy konieczne jest obniżenie poziomu wody w basenie (np. dla nauki pływania dzieci, w celu poboru wody do płukania filtra lub w celu całkowitego opróżniania basenu).

Podstawowe dane techniczne i eksploatacyjne, dla pierwszego i drugiego etapu badań zestawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Schemat badanego obiegu basenowego

Fig. 1. Diagram of water circulation for tested swimming pool

W analizowanym układzie oczyszczania wody basenowej zastosowany filtr podciśnieniowy jest zbiornikiem otwartym o przekroju prostokątnym i powierzchni filtracji $F = 1 \text{ m}^2$, wykonany z płyt PP z korytem obwodowym zapewniającym równomierny dopływ wody w trakcie filtracji i odpływ popłuczyn. Złoże ułożone jest na płycie drenażowej z dyszami szczelinowymi, a koryto przelewowe znajduje się 0,5 m powyżej poziomu warstwy złoża filtracyjnego. W rozwiązaniu tego filtra zastosowano pompę do włączania wody do koryta przelewowego oraz zasysanie wody z przestrzeni międzysennej. Zastosowanie dwóch pomp z przemiennikami częstotliwości (falownikami) pozwoliło na uzyskanie stałej wydajności filtra zarówno na początku, jak i na końcu cyklu filtracyjnego, ze stałą prędkością filtracji $v = 30 \text{ m/h}$. Nominalna wydajność takiego systemu filtracyjnego wynosi: $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ i może być dostosowywana do wydajności wymaganej, poprzez optymalne ustawienie prędkości obrotowej wirnika pomp przez zmianę częstotliwości podawanego prądu na uzwojenie silnika. Złoże filtracyjne jest płukane powietrzem i wodą za pomocą pompy o pełnej wydajności przy maksymalnych obrotach ($n = 2950$).

Czas pomiędzy kolejnymi płukaniami złoża wynosi maksymalnie trzy doby. Złoże należy oczyszczać – płukać według ustalonego przez producenta schematu [15]:

- uspokojenie przed rozpoczęciem płukania (filtr powinien zostać wyłączony i znajdować się w nastawionej fazie uspokojenia; czas trwania: 60 sekund),
- zrzucanie (obniżenie poziomu wody w filtrze do poziomu niewiele ponad warstwę filtracyjną; woda zostaje odpompowana przy użyciu pompy zasysającej do filtratu i jest ponownie wpompowana do obiegu cyrkulacyjnego, przez co nie następuje jej utrata),
- opróżnienie rynny przelewowej (rynną przelewową zostaje opróżniona poprzez odprowadzenie wody do filtra; przy otwartej klapie przepustnicy wody zanieczyszczonej następuje jej odpływ),
- drugi zrzut (kolejny krok w odpływie wody następuje po uprzednim nastawieniu czasu odpływu, który jest inny dla każdego filtra i zależy od długości rurociągów- odległości od zbiornika wody do płukania),
- płukanie powietrzem (powietrze płuczące włączane jest do filtra od dołu poprzez dysze filtracyjne z prędkością 60 m/h; następuje wtedy spulchnienie warstwy podtrzymującej i złoża filtracyjnego, co powoduje odrywanie się złożeń zanieczyszczeń od ziaren złoża; czas trwania: 80 sekund).

- przerwa po płukaniu powietrzem (w celu uspokojenia złoża; czas trwania: 30 sekund),
- zalanie (w celu usunięcia pozostałości powietrza ze złoża następuje jego krótkotrwałe zalanie; czas trwania: 10 sekund; zalanie powtarzane jest trzykrotnie; w międzyczasie następuje przerwa – uspokojenie złoża),
- płukanie wodą (właściwe płukanie następuje przy użyciu wody, objętość wody do płukania: ok. 3,25 m³ na 1 m² powierzchni złoża; warunkiem przeprowadzenia płukania jest posiadanie zbiornika na wodę do płukania o wystarczającej pojemności, a także zbiornika na popłuczyny dostosowanego do danej instalacji; płukanie następuje z prędkością 50 m/h; kryterium nastawiania objętości wody przeznaczonej do płukania stanowi czysta, klarowna woda uzyskiwana na odpływie popłuczyn) - rys. 2,
- przerwa po płukaniu wodą (w celu uspokojenia złoża; długość przerwy: 3 minuty; w tym czasie kłapa przepustnicy popłuczyn pozostaje otwarta, by mogła spłynąć woda pozostała w rynnie),
- napełnianie filtra (napełnienie następuje aż po obszar regulacji, który powinien być podzielony na: dolny obszar roboczy ok. 20–30 mm powyżej krawędzi odpływu popłuczyn, górny obszar roboczy ok. 30 mm powyżej dolnego obszaru roboczego, obszar regulacji ok. 10 mm powyżej górnego obszaru roboczego, obszar maksymalny wyłączenie 30 mm ponad przelewem koryta filtra),
- pierwszy filtrat i woda nieuzdatniona doprowadzane są do filtra za pomocą pompy filtratu, po czym ponownie doprowadzane do filtra; czas tego procesu: 120 sekund,
- aktywna filtracja (po zakończeniu programu płukania następuje automatyczne włączenie obiegu filtracyjnego).

Proces filtracji wspomagany był procesem koagulacji. W trakcie badań stosowano roztwór koagulantu glinowego $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$.



Rys. 2. Widok górnej części filtra w czasie płukania

Fig. 2. View of the upper part of the vacuum filter during cleaning

Tab. 1. Podstawowe dane techniczne i eksploatacyjne dla I i II etapu badań

Tab. 1. Basic technical and operational requirements for stages I and II of research

Czas eksploatacji instalacji badawczej	Etap I: 24.07.09-21.08.09; Etap II: 20.04.10-28.05.2010
System przepływu wody	pionowy
Wydajność obiegu wodnego Q [m ³ /h]	29,2 - 30,0
Wymiary niecki basenowej [mxm]	3,2 x 5,4
Głębokość niecki basenowej [m]	1,2
Pojemność wodna [m ³]	20,8
Całkowita powierzchnia użytkowa [m ²]	17,2
Minimalna wymagana PU dla jednej osoby [m ² /os.]	2,7
Średnia frekwencja [os./h]	Etap I: 3,4; Etap II: 6,8
Basen czynny:	od 8.00 do 17.00
Rzeczywista powierzchnia użytkowa [m ² /os.]	Etap I: 5,08; Etap II: 2,54
Charakterystyka wody uzupełniającej	zasilanie obiegu wodą z miejskiej sieci wodociągowej po każdorazowym płukaniu złoża filtracyjnego wodą o objętości 3,25 m ³ ;
Liczba filtrów [szt.]	1
Rodzaj filtra	filtr podciśnieniowy wielowarstwowy ze złożem: w etapie I antracytowo - piaskowym, w etapie II ze złożem piaskowym
Wysokość warstwy filtracyjnej [m]	1,2
Powierzchnia filtracji 1-go filtra [m ²]	1
Wydajność zespołu filtracyjnego [m ³ /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 ³ /m ² złoża]	3,25
Miejsce odprowadzania popłuczyn	miejska sieć kanalizacji sanitarnej
Technologia uzdatniania wody obiegowej	filtracja wstępna (łapacz włókien) + koagulacja powierzchniowa (kontaktowa) + filtracja przez złożę wielowarstwowe + naświetlanie strumienia wody obiegowej promieniami UV + dezynfekcja NaOCl + korekta pH
Rodzaj koagulantu	wodny roztwór Al ₂ (SO ₄) ₃ x 18 H ₂ O
Środek do korekty pH	kwask siarkowy roztwór 50% (pH minus)
Rodzaj lampy UV	Lampa UV niskociśnieniowa AQUAFIDES 1AF400T
Dezynfekcja końcowa	za pomocą wodnego roztworu NaOCl o stęż. 15 %, przy zalecanym stężeniu chloru wolnego w wodzie basenowej 0,3-0,6 mgCl ₂ /dm ³ - dawkowanie automatyczne

3. Etapy badań i efekty technologiczne

Przedstawione w artykule wyniki dotyczą badań, których głównym celem było określenie efektów działania filtra podciśnieniowego ze złożem antracytowo-piaskowym (I etap badań) i ze złożem piaskowym (II etap badań) zamontowanego w doświadczalnej instalacji wody basenowej. W II etapie badań wymiana dotyczyła warstwy antracytu, którą zastąpiono warstwą piasku kwarcowego, a decyzja o wymianie złoża została podjęta na podstawie rezultatów badań uzyskanych w etapie I. Stwierdzono bardzo wysoką redukcję chloru wolnego (średnio: 85,7%) oraz w próbkach filtratu dużą liczbę jtk bakterii wyhodowanych w temperaturze 37°C w ciągu 48 godzin (570 - 2800 jtk).

Układ warstw złoża, ich wysokość i uziarnienie, dla I i II etapu badań, zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Charakterystyka złoża filtracyjnego

Tab. 2. Characteristics of the filter bed

Etap I			Etap II		
rodzaj złoża	uziarnienie [mm]	wysokość warstwy [m]	rodzaj złoża	uziarnienie [mm]	wysokość warstwy [m]
antracyt	0,6 - 2,3	0,6	piasek kwarcowy	0,4 - 0,8	1,1
piasek kwarcowy	0,4 - 0,8	0,5			
piasek kwarcowy	1,0 - 2,0	0,1	piasek kwarcowy	1,0 - 2,0	0,1

Pierwszy etap badań prowadzony był w okresie od 27 lipca 2009 do 21 sierpnia 2009 roku. Drugi etap badań prowadzony był w okresie od 20 kwietnia 2010 do 28 maja 2010 roku. Próbkę wody poddawano analizie bakteriologicznej 1 raz w tygodniu i fizyczno-chemicznej 2 razy w tygodniu.

W I i II etapie badań, w sposób szczegółowy, analizowano wyniki badań dla próbek wody pobieranych przed procesem filtracji (z niecki basenowej) i dla próbek wody pobieranych po procesie filtracji (filtrat).

Próbki wody poddawano analizie bakteriologicznej i fizyczno-chemicznej w zakresie podstawowych parametrów jakości wody basenowej oraz w zakresie parametrów charakterystycznych, właściwych dla zastosowanej technologii (tabela 3).

Pobór próbek oraz oznaczenia wykonane zostały przez akredytowane laboratorium zgodnie z obowiązującymi normami i metodami. Uzyskane rezultaty badań porównano z wymaganiami normatywnymi [1, 6, 7, 8, 10].

Pośród badanych parametrów fizyczno-chemicznych, które w przepisach higieniczno-sanitarnych określają jakość wody basenowej szczególną uwagę zwrócono na:

- indeks nadmanganianowy (utlenialność) - parametr jakości wody basenowej określający stopień jej zanieczyszczenia związkami organicznymi. Wysoka wartość utlenialności 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 mg O₂/dm³ (według DIN 19643). Według rozporządzenia Ministra. Zdrowia wartość utlenialności w wodzie przeznaczony do zasilania basenów nie powinna przekraczać 5 mg O₂/dm³;

- chlor wolny - parametr jakości wody basenowej określający zdolność antyseptycznego działania środka dezynfekcyjnego. Według DIN 19643 stężenie chloru wolnego w wodzie w nieszce basenowej powinno wynosić od 0,3 do 0,6 mg Cl_2/dm^3 . 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;
- chloraminy - oznaczane jako chlor związany, będące wynikiem reakcji związku chloru dodawanego do wody w procesie jej dezynfekcji z solami amonowymi obecnymi w wodzie basenowej. Zawartość chloramin w wodzie basenowej, ograniczona jest wymogami normy (wartość dopuszczalna według DIN - 0,2 mg Cl_2/dm^3 , według rozporządzenia Ministra Zdrowia - 0,5 mg Cl_2/dm^3) ze względu na możliwość powodzenia alergii, podrażnienia górnych dróg oddechowych oraz układu pokarmowego u osób kąpiących się, posiadające właściwości mutagenne i odpowiedzialne za nieprzyjemny zapach wody [3, 4, 5].

W tabeli 3 zestawiono wartości median dla wszystkich analizowanych parametrów jakości wody basenowej.

Pośród badanych parametrów bakteriologicznych szczególną uwagę zwrócono na:

- *Pseudomonas aeruginosa* - nie mogą występować w objętości 100 cm^3 wody dopływającej (uzdatnionej) do niecki basenowej i wody w nieszce basenowej;
- *Legionella pneumophila* - nie mogą występować w objętości 1 cm^3 wody w nieszce basenowej i nie mogą występować w objętości 100 cm^3 wody dopływającej do niecki basenowej. Obecność bakterii *L. pneumophila* powinno się sprawdzać w basenach z napowietrzaniem wody;
- *Escherichia coli* nie mogą występować w objętości 100 cm^3 wody dopływającej do niecki basenowej i wody w nieszce basenowej [6];
- Gronkowce koagulazo-dodatnie (*Staphylococcus sp.*) - według wymagań sanitarnych i przeciwepidemicznych dla basenów kąpielowych (EN-4435-26/86) liczba kolonii gronkowców koagulazo-dodatnich nie może przekraczać 2 w 100 cm^3 próbki wody pobranej z niecki basenowej;
- Ogólna liczba bakterii – jest to bardzo ważne kryterium jakości wody przeznaczonej do spożycia i kąpieli. Liczba kolonii bakterii > 100 (w 1 cm^3) świadczy o zagrożeniu skażenia wody bakteriami chorobotwórczymi i nieprawidłowo zachodzących procesach jej uzdatniania [9]; według niemieckiej „normy basenowej” (DIN 19643) oraz rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi liczba kolonii bakterii wyhodowana w temperaturze 37°C w ciągu 48 godzin nie może przekraczać 100 w 1 cm^3 wody.

Szczególnym miejscem dużej koncentracji *P. aeruginosa* i *L. pneumophila* są złoża filtrów piaskowych i z antracytem, stosowane w systemach oczyszczania wody basenowej. Ze względu na panującą tam temperaturę, wystarczającą ilość pożywienia oraz idealne warunki do rozmnażania, zasiedla się tam również wiele innych bakterii.

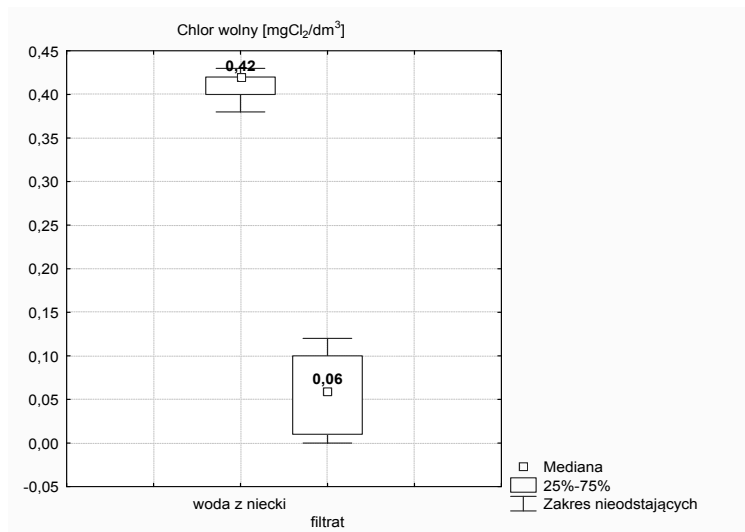
W tabeli 4 zestawiono wyniki analiz bakteriologicznych dla I i II etapu badań.

3.1. Efekty technologiczne dla układu z filtrem ze złożem antracytowo-piaskowym (etap I badań)

Na podstawie uzyskanych wyników analiz w I etapie badań stwierdzono, jako efekt końcowy, dobrą jakość wody basenowej. Zastrzeżenia budziła natomiast jakość filtratu.

Badania przeprowadzone *in situ* wykazały wysoką sprawność prowadzonych procesów dezynfekcji wody basenowej. Stężenia chloru wolnego w próbkach wody pobranych z niecki basenowej, dzięki zastosowanej precyzyjnej automatyce procesu dozowania dezynfektanta w postaci NaOCl, charakteryzowały się stabilnością i wynosiły: 0,38 - 0,43 mg Cl₂/dm³ (mediana: 0,42 mg Cl₂/dm³). W filtracji stężenie chloru wolnego było bardzo małe i wynosiło średnio 0,06 mg Cl₂/dm³ (rys. 3).

W wyniku filtracji wody przez złożo z warstwą antracytu następowała bardzo wysoka redukcja stężenia chloru wolnego – średnio o 85,7%.

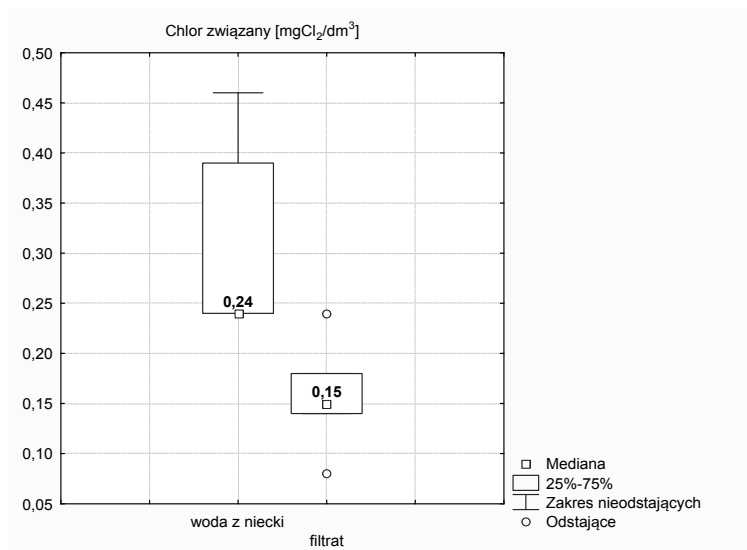


Rys. 3. Stężenia chloru wolnego w I etapie badań

Fig. 3. Concentration of free chlorine in stage I of research

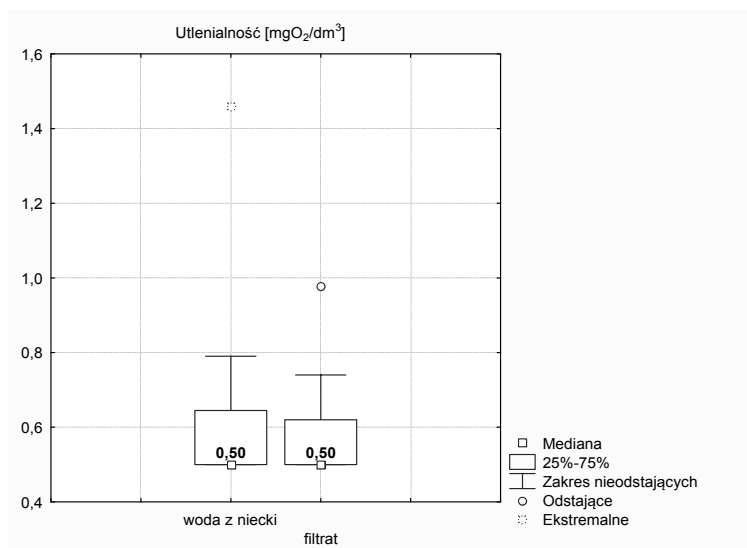
Stężenia chloru związanego wynosiły: w próbkach wody z niecki basenowej: 0,24-0,46 mg Cl₂/dm³, a w próbkach filtratu: 0,08 - 0,24 mg Cl₂/dm³ (rys. 4). Większe niż wymagane w normie DIN stężenia chloru związanego w próbkach wody pobranych z niecki basenowej (średnio o 0,11 mg Cl₂/dm³) nie powodowały skarg osób korzystających z kąpieli.

W trakcie badań odnotowywano niskie wartości indeksu nadmanganianowego. W większości próbek oznaczono indeks nadmanganianowy < 0,5 mg O₂/dm³. W pojedynczej próbce wody z niecki basenowej oznaczono utlenialność: 1,46 mg O₂/dm³ (rys. 5).



Rys. 4. Stężenia chloru związanego w I etapie badań

Fig. 4. Concentration of chloramines in stage I of research



Rys. 5. Wartości utlenialności w I etapie badań

Fig. 5. Value of chemical oxygen demand in stage I of research

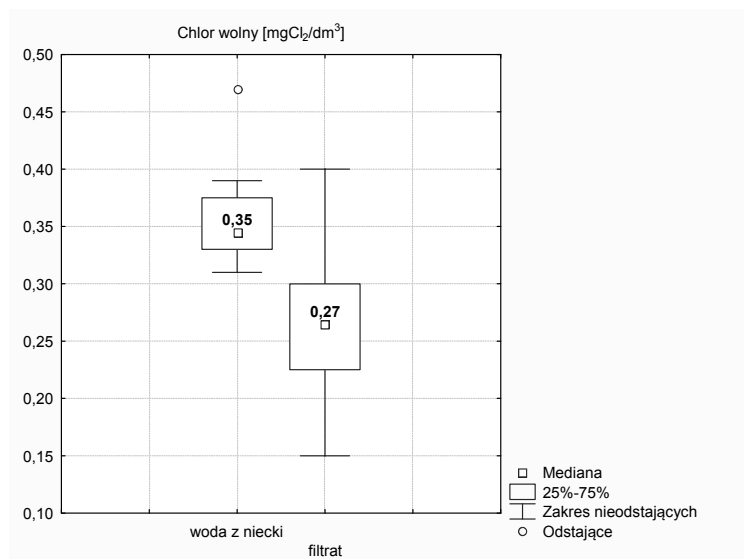
W próbkach poddanych analizie mikrobiologicznej nie stwierdzono obecności jtk (jednostek tworzących kolonie) *P. aeruginosa*, *L. pneumophila* oraz gronkowców koagulazo-dodatnich. Jtk *E. coli* i bakterii grupy *coli* typu fekalnego stwierdzono w próbkach wody pobranych do analizy w pierwszym tygodniu badań, w których oznaczono < 5 jtk *E. coli* i < 5 jtk bakterii grupy *coli* typu fekalnego.

W trzech pobranych próbkach wody z niecki basenowej oznaczono ogólną liczbę bakterii: 1 jtk/cm³, natomiast we wszystkich pobranych próbkach filtratu oznaczono ogólną liczbę bakterii > 100 jtk/cm³. W pierwszej próbce poddanej analizie oznaczono 2500 jtk, w drugiej 570 jtk, w trzeciej 2800 jtk i w czwartej 2600 jtk. Tak duża liczba jtk bakterii w filtracie świadczyła o ich wypłukiwaniu ze złoża i występowaniu sprzyjających warunków do ich rozwoju w złożu (tabela 4).

3.2. Efekty technologiczne dla układu z filtrem ze złożem piaskowym (etap II badań)

Podobnie jak w etapie I, badania prowadzone w etapie II, również wykazały wysoką sprawność prowadzonego procesu dezynfekcji wody basenowej. Stężenia chloru wolnego w wodzie z niecki basenowej, charakteryzowały się stabilnością i wynosiły: 0,31 - 0,47 mgCl₂/dm³ (mediana: 0,35 mg Cl₂/dm³). Stężenia chloru wolnego w filtracie wynosiły: 0,15 - 0,4 mg Cl₂/dm³ (mediana: 0,27 mg Cl₂/dm³) i były znacznie większe niż w etapie I (rys. 6).

Dzięki zastąpieniu warstwy antracytu warstwą piasku w złożu filtracyjnym stężenie chloru wolnego w obiegu wody basenowej było bardziej stabilne niż w etapie I, a jego redukcja w trakcie filtracji była znacznie mniejsza – średnio wynosiła: 25%.



Rys. 6. Stężenia chloru wolnego w II etapie badań

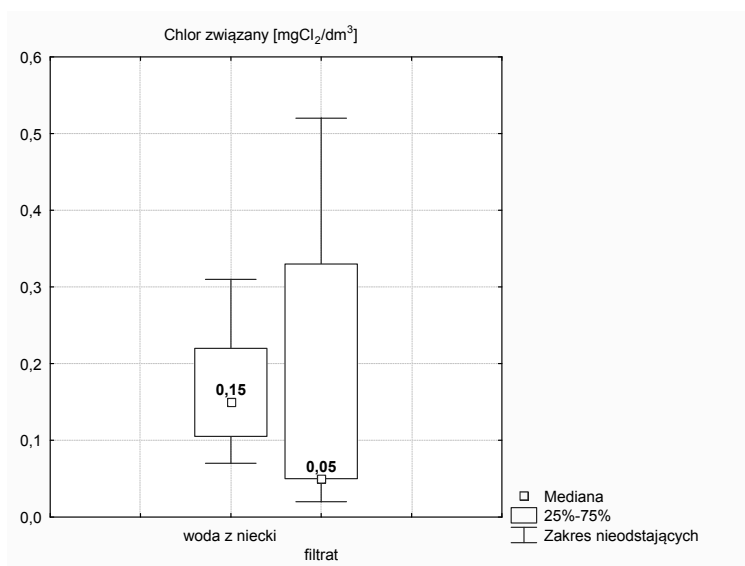
Fig. 6. Concentration of free chlorine in stage II of research

Ponieważ duże stężenia chloramin w wodzie basenowej są przyczyną alergii, podrażnień oczu i błon górnych dróg oddechowych oraz nieprzyjemnego ("chlorowego") zapachu wody [3, 4, 5], w II etapie badań, do układu pomiarowego włączono dodatkową elektrodę do ciągłego pomiaru chloru związanego.

Dzięki zastosowanemu monitoringowi stężeń chloru związanego możliwe było szybkie podejmowanie działań pozwalających zmniejszać stężenie chloramin w wodzie basenowej. Na podstawie wykazu z monitoringu dopuszczalne stężenie chloru związanego w okresie prowadzenia badań przekroczone było trzykrotnie o wartość: 0,06-0,08 mg Cl₂/dm³.

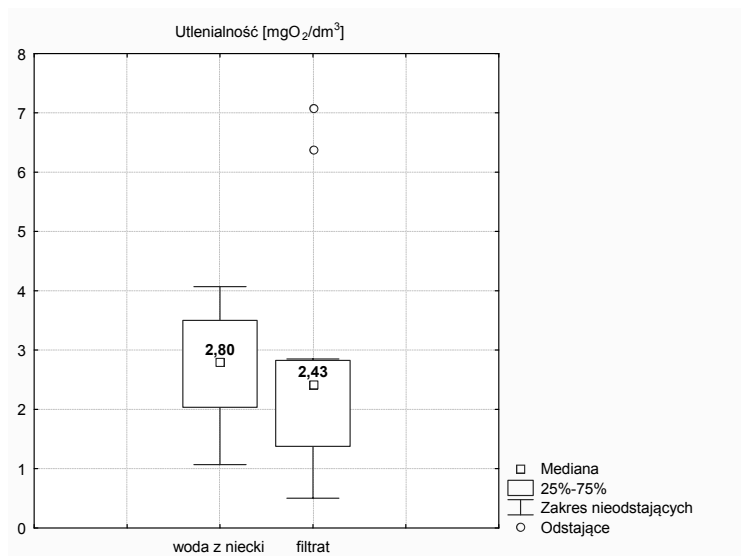
Stężenia chloru związanego w tym etapie badań były ciągle mierzone za pomocą urządzenia dsc compact SCL firmy Dinotec. W wodzie z niecki basenowej wynosiły: średnio: 0,15 mgCl₂/dm³, w filtracie wynosiły średnio: 0,05 mg Cl₂/dm³ – rys. 7.

W większości próbek oznaczono indeks nadmanganianowy < 5 mg O₂/dm³. W dwóch próbkach wody po filtrze oznaczono utlenialność > 5 mg O₂/dm³ (rys. 8).



Rys. 7. Stężenia chloru związanego w II etapie badań

Fig. 7. Concentration of chloramines in stage II of research



Rys. 8. Wartości utlenialności w II etapie badań

Fig. 8. Value of chemical oxygen demand in stage II of research

4. Porównanie efektywności badanych źródeł filtracyjnych

Na podstawie analiz fizyczno-chemicznych i bakteriologicznych próbek wody pobieranych z instalacji wody basenowej w I etapie badań (przed wymianą złoża) oraz na podstawie wyników badań uzyskanych w II etapie (po wymianie złoża) określono efektywność działania złoża piaskowo-antracytowego i złoża piaskowego.

Zarówno w I jak i w II etapie badań wielkości kontrolnych parametrów jakości wody basenowej t. j.: azotu amonowego, azotu azotanowego, barwy wody, chloru wolnego, chlorków, fosforanów, glinu, kwasowości i zasadowości wody, mętności, pH wody, twardości ogólnej, sumy trihalometanów, zawiesin ogólnych i indeksu nadmanganianowego w każdej pobranej próbce wody z niecki basenowej i filtratu odpowiadały wymaganiom normy DIN 19643.

Podstawowym założeniem przy projektowaniu technologii oczyszczania wody basenowej jest zapewnienie osobom korzystającym z kąpielii maksymalnie bezpiecznej pod względem zdrowotnym wody w nieszce basenowej. Z tego też względu, w badanym obiegu wody basenowej, specjalną kontrolą objęto wielkość stężenia chloramin.

W I etapie badań, w którym frekwencja wynosiła zaledwie: 3,4 osób/godzinę, a powierzchnia użytkowa lustra wody dla jednej osoby korzystającej z kąpielii 5,08 m² (minimum to 2,7 m²/osobę), stężenia chloramin w wodzie z niecki basenowej przekraczały wartość dopuszczalną we wszystkich próbkach o wartość od 0,04 mg Cl₂/dm³ do 0,26 mg Cl₂/dm³. Redukcja stężenia chloramin w wyniku filtracji przez złożo z warstwą antracytu wynosiła średnio: 33,3% (rys. 9).

W II etapie badań, w którym frekwencja była niemal dwukrotnie wyższa niż w etapie I i wynosiła 6,8 osób/godzinę, a powierzchnia użytkowa lustra wody dla jednej osoby korzystającej z kąpieli wynosiła zaledwie 2,54 m², stężenia chloramin w wodzie z niecki basenowej były znacznie mniejsze i tylko w 3 próbkach wody przekroczyły wartość dopuszczalną o 0,04 - 0,11 mg Cl₂/dm³. Redukcja stężenia chloramin, pomimo występujących małych ich stężeń w wodzie basenowej, w wyniku filtracji przez złożo piaskowe była dwukrotnie większa niż w etapie I i wynosiła średnio: 66,7% (rys. 9).

Najbardziej prawdopodobną przyczyną takiego stanu była większa stabilność stężeń chloru wolnego w etapie II. Mniejsza redukcja chloru wolnego z wody w wyniku filtracji przez złożo piaskowe (22,9% - rys. 9) spowodowała, że jego stężenie w całym obiegu wody basenowej (średnio w wodzie z niecki: 0,35 mg Cl₂/dm³ i w filtracie 0,27 mg Cl₂/dm³) było na stałym poziomie, tym samym jego zdolność do utleniania świeżej materii organicznej, pomimo wzrostu frekwencji w tym etapie badań, była większa.

W wyniku wzrostu frekwencji w II etapie badań odnotowano wyższe wartości indeksu nadmanganianowego i niższe potencjału redox w porównaniu do etapu I. O ile oznaczone wartości indeksu nadmanganianowego mieściły się w zakresie wymagań normatywnych, to wartości potencjału redox nie odpowiadały tym wymogom i mogły być przyczyną pojawienia się w 2 próbkach wody z niecki kolonii *Legionella sp.*(tabela 4), co dla niecek basenowych wyposażonych w dysze do hydromasażu jest niedopuszczalne.

Główną przyczyną podjętej decyzji o wymianie warstwy antracytowej złoża na warstwę piasku kwarcowego było pojawianie się we wszystkich próbkach filtratu ponadnormatywnej ogólnej liczby mikroorganizmów. Złożo antracytowe, charakteryzujące się dużo większą powierzchnią absorpcji niż kwarcowe, było dogodnym miejscem namnażania się i rozwoju bakterii.

W II etapie badań we wszystkich pobranych próbkach filtratu również stwierdzono ogólną liczbę bakterii, jednak ich liczba nie przekroczyła wartości 100 jtk. W porównaniu do wyników badań bakteriologicznych filtratu z etapu I, wymiana złoża pozwoliła na obniżenie ogólnej liczby bakterii w filtracie nawet o 99% (tabela 4).

Tab. 3. Porównanie wyników badań fizyczno-chemicznych wody basenowej z I i II etapu badań

Tab. 3. Comparison of results of physical and chemical sampling of swimming pool water from stages I and II of research

L.p.	Parametr	Jednostka	NORMA DIN 19643	ETAP 1			ETAP 2		
				złoże antracytowo-piaskowe			złoże piaskowe		
				woda z niecki	filtrat	% redukcji	woda z niecki	filtrat	% redukcji
1	Azot amonowy	mgN-NH ₄ /dm ³	0,50	0,06	0,07	-	0,05	0,05	-
2	Azot azotanowy	mgN-NO ₃ /dm ³	20***	0,91	0,9	-	2,04	2,06	-
3	Barwa	mgPt/dm ³	0.5 [1/m]*	5	5	-	5	5	-
4	Chlor wolny	mgCl ₂ /dm ³	0.3-0.6	0,42	0,06	85,7	0,35	0,27	22,9
5	Chlor całkowity	mgCl ₂ /dm ³	-	0,72	0,22	69,4	0,52	0,45	13,5
6	Chlor związany	mgCl ₂ /dm ³	0,20	0,24	0,16	33,3	0,15	0,05	66,7
7	Chlorki	mgCl/dm ³	-	202	212	-	94	95	-
8	Ortofosforany	mgP-PO ₄ ⁻³ /dm ³	-	0,25	-	-	0,08	-	-
9	Glin	mgAl ⁺³ /dm ³	0,100	0,020	0,018	10,0	0,017	0,010	41,2
10	Kwasowość	mval/dm ³	-	0,12	-	-	0,20	-	-
11	Mętność	NTU	0,50	0,09	0,09	0,0	0,08	0,06	25,0
12	Odczyn (pH)	-	6.5 - 7.6	7,24	7,31	-	7,18	7,43	-
13	Twardość ogólna	mg CaCO ₃ /dm ³	-	81,2	80,8	-	109,4	105,2	3,8
14	Suma trihalometanów	µgTHM/dm ³	20	20	-	-	21	18	14,3
15	Indeks nadmanganianowy	mgO ₂ /dm ³	0.75**	0,50	0,50	0,0	2,80	2,43	13,2
16	Zasadowość	mmol/dm ³	-	0,23	-	-	0,49	-	-
17	Zawiesiny ogólne	mg/dm ³	-	2	2	0	2	2	0
18	Potencjał redox	mV	przy pH 6,5-7,3: min. 750, przy pH 7,3-7,6 min. 770	748	-	-	705	-	-

* pomiar przy długości fali λ=432nm

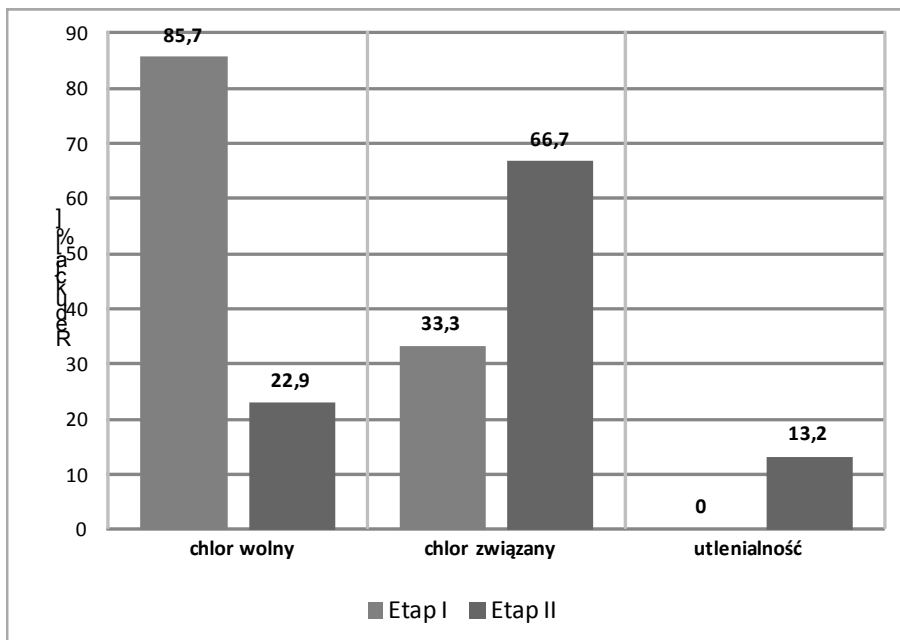
** ponad wartość w w odzie uzupełniającej (w odociągowej)

*** w przeliczeniu na azotany, ponad wartość w w odzie uzupełniającej (w odociągowej)

Tab. 4. Porównanie wyników badań bakteriologicznych wody basenowej z I i II etapu badań

Tab. 4. Comparison of results of bacteriological sampling of swimming pool water from stages I and II of research

Punkt poboru próbki	Parametr	Jednostka	ETAP 1				ETAP 2						NORMA DIN 19643
			próbka nr 1	próbka nr 2	próbka nr 3	próbka nr 4	próbka nr 1	próbka nr 2	próbka nr 3	próbka nr 4	próbka nr 5	próbka nr 6	
woda z niecki	Ogólna liczba mikroorganizmów w 36±2°C po 48h	jtk/1ml	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	100
filtrat			2,5*10 ³	5,7*10 ²	2,8*10 ³	2,6*10 ³	4	8	1	10	56	6	100
woda z niecki	Bakterie grupy coli typu fekalnego	jtk/100ml	<5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
filtrat			<5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
woda z niecki	Escherichia coli	jtk/100ml	<5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
filtrat			<5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
woda z niecki	Legionella sp.	jtk/100ml	0	0	0	0	0	0	0	0	4	70	0 [jtk/1ml]
filtrat			0	0	0	0	104	0	0	0	14	39	0
woda z niecki	Pseudomonas aeruginosa	jtk/100ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
filtrat			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
woda z niecki	Gronkow ce koagulazo-dodatnie	jtk/100ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
filtrat			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-



Rys. 9. Porównanie wartości redukcji stężenia chloru wolnego, chloru związanego i utlenialności z I i II etapu badań

Fig. 9. Comparison of reduction in value for free chlorine and chloramines concentration and chemical oxygen demand from stages I and II of research

5. Podsumowanie wyników badań i wnioski

Przeprowadzona analiza efektów filtracji przez złożo antracytowo-piaskowe i przez złożo piaskowe, stanowiące wypełnienie filtra podciśnieniowego pracującego w rozpatrywanym systemie oczyszczania wody basenowej, wykazała zasadność zastąpienia warstwy antracytowej warstwą piasku kwarcowego.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- Zmiana części złoża filtra z antracytowo- piaskowego na piaskowe nie wpłynęła na pogorszenie jakości wody w nieszce basenowej i pozwoliła na zmniejszenie redukcji chloru wolnego w procesie filtracji. W pierwszym etapie badań redukcja stężenia chloru wolnego wynosiła 85,7%, w drugim 22,95%.
- Złożo filtracyjne antracytowo-piaskowe było miejscem rozwoju kolonii bakterii i następował ich wypływ do filtratu.
- Wymiana warstwy antracytowej złoża na piaskową zasadniczo wpłynęła na obniżenie ogólnej liczby bakterii w filtracie (w porównaniu do pierwszego etapu badań nawet o 99%).
- Wymiana warstwy złoża w II etapie badań przyczyniła się do zużycia mniejszej objętości roztworu podchlorynu sodu, stosowanego do dezynfekcji końcowej, przy zachowaniu wysokiej jakości wody oraz bezpieczeństwa zdrowotnego dla osób korzystających z kąpieli.
- Dwukrotnie większa frekwencja w II etapie badań nie wpłynęła na pogorszenie się jakości wody w nieszce basenowej i filtratu.
- Stosowanie systemów automatycznego pomiaru stężenia chloru wolnego, chloru związanego, potencjału redox i pH wody oraz automatycznego dozowania dezynfektanta i korektora pH do wody w obiegu basenowym jest gwarancją odpowiedniej jej jakości wody, zarówno pod względem fizyczno-chemicznym jak i bakteriologicznym. Monitorowanie podstawowych parametrów jakości wody basenowej i analiza ich zapisów pozwala w prosty i szybki sposób reagować na możliwość wystąpienia skażenia wody bakteriami chorobotwórczymi, w tym bakterią *Legionella sp.*

Bibliografia

- [1] DIN 19643: Aufbereitung von Schwimm und Badebeckenwasser (Uzdatnianie wody w pływalniach i basenach), Dusseldorf 1997.
- [2] DIN 19605: Festbettfilter zur Wasseraufbereitung – Aufbau und Bestandteile (Filtry ze stałą dennicą do uzdatniania wody – zabudowa i elementy składowe).
- [3] Freuze I., Brosillon S., Laplanche A., Tozza D., Cavard J.: Effect of chlorination on the formation of odorous disinfection by-products. *Water Research* 39 (2005), pp. 2636–2642.
- [4] Judd S.J., G. Bullock: The fate of chlorine and organic materials in swimming pools. *Chemosphere* 51 (2003) pp. 869–879.

- [5] Massin, N., Bohadana, A.B., Wild, P., Hery, M., Toamain, J.P., Hubert, G.: Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pool. *Occupational and Environmental Medicine*, 55 (1998), pp. 258–263. [5]
- [6] Maziarka S.: Wymagania sanitarne i przeciwepidemiczne dla basenów kąpielowych. Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej - Departament Inspekcji Sanitarnej nr EN-4435-26/86 z 1986.
- [7] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Dz. U. Nr 61, poz. 417.*
- [8] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Dz. U. Nr 72, poz. 466.*
- [9] Schlegel H. G.: *Mikrobiologia ogólna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
- [10] Sokołowski Cz.: Wymagania sanitarno – higieniczne dla krytych pływalni. MZiOS, Departament Zdrowia Publicznego, PZITS, Warszawa 1998, nr arch. 760.
- [11] 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, czerwiec 2008, s. 737-748.
- [12] Wyczarska-Kokot J.: Effect of disinfection methods on microbiological water quality in indoor swimming pools. *Architecture Civil Engineering Environment* No. 4/2009 p. 145-152 (ISSN 1899-0142).
- [13] Wyczarska-Kokot J., Piechurski F.: Badanie układu oczyszczania wody basenowej z zastosowaniem filtra podciśnieniowego ze złożem wielowarstwowym, koloidalnego roztworu nanosrebra oraz lampy UV. Praca zbiorowa pod red. Kuś K., Piechurski F. *Instalacje basenowe*. Politechnika Śląska, Gliwice 2011, s. 121-136. (ISBN: 978-83-925064-7-8, ISSN:2080-1580).
- [14] Wyczarska-Kokot J., Piechurski F.: Ocena efektów pracy filtra podciśnieniowego ze złożem piaskowym. Praca zbiorowa pod red. Kuś K., Piechurski F. *Instalacje basenowe*. Politechnika Śląska, Gliwice 2011, s. 137-149. (ISBN: 978-83-925064-7-8, ISSN:2080-1580).
- [15] www.wellpool.pl, materiały informacyjne firmy Intem sp. z o.o.

