

Joanna Wyczarska-Kokot, Florian Piechurski

Ocena skuteczności filtracji wody i jakości wód popłucznych w instalacjach basenowych

W systemach uzdatniania wód basenowych najczęściej wykonywane są procesy jednostkowe prowadzone w zamkniętym obiegu wody basenowej z wykorzystaniem tzw. czynnego przelewu, który zapewnia właściwą cyrkulację wody w basenie oraz oszczędną gospodarkę wodą. Wodę do basenu doprowadza się systemem dennych lub bocznych dysz z regulowanym przepływem, natomiast odprowadza poprzez rynną przelewową oraz spusty denne. Woda z rynny trafia do zbiornika przelewowego, wyposażonego najczęściej w układ do automatycznej regulacji ilości wody w obiegu. Pompy obiegowe, zintegrowane z łapaczami włókien i włosów, pobierają wodę ze zbiornika wyrównawczego lub – jak to jest jeszcze często spotykane na starych obiektach basenowych – z dna basenu i tłoczą do stacji filtrów, gdzie zostają zatrzymane zanieczyszczenia znajdujące się w wodzie. Proces ten często wspomagany jest dawkowaniem koagulantu. Przefiltrowana woda jest podgrzewana do właściwej temperatury w wymiennikach ciepła i dezynfekowana.

Większość nowych i modernizowanych obiektów basenowych ma instalacje technologiczne wyposażone w automatyczny układ do ciągłej kontroli jakości wody, który jednocześnie steruje dawkowaniem czynnika do korekty pH wody i środka do dezynfekcji, zapewniając jakość wody w niecce basenowej zgodną z wymaganiami [1–3]. Działania mające na celu zapewnienie odpowiedniej jakości wody basenowej powinny obejmować nie tylko stosowanie odpowiedniej technologii uzdatniania wody obiegowej, z uwzględnieniem metod zapewniających skuteczne usuwanie zawiesin, ale także optymalizację warunków hydraulicznych panujących w niecce basenowej, polegającą na unikanii tzw. obszarów martwych, przeciwdziałaniu gromadzenia się osadów na dnie i ścianach basenu, jak również prawidłową eksploatację całego układu, obejmującą czyszczenie niecki basenowej i przewodów doprowadzających wodę, płukanie filtrów i zapewnienie ciągłej cyrkulacji wody.

Układy technologiczne uzdatniania wody basenowej różnią się między sobą sposobem dezynfekcji wody lub rodzajem stosowanego koagulantu, jednak we wszystkich główną rolę odgrywa proces filtracji. Systemy uzdatniania wody basenowej najczęściej oparte są na filtracji przez złoża wielowarstwowe, których odpowiednio dobrany materiał filtracyjny pozwala na równomierne i stopniowe usuwanie zanieczyszczeń z wody wzdłuż całej drogi przepływu wody przez złożo.

Poszukiwanie optymalnego sposobu gospodarowania wodą na obiektach basenowych sprowadza się między innymi do podnoszenia efektywności procesu filtracji, ze szczególnym uwzględnieniem czasu trwania cyklu filtracyjnego i etapu płukania filtrów oraz do możliwości odzyskania lub wykorzystania

wody po procesie płukania. Czynnikiem wpływającym na obniżenie kosztów całej instalacji są mniejsze zużycie wody uzupełniającej, rzadsza całkowita wymiana wody w niecce basenowej i co za tym idzie – mniejsze nakłady na energię zasilającą zespoły pompowe, dłuższy czas pracy warstwy filtracyjnej i mniejsze zużycie środków do koagulacji i dezynfekcji wody.

W niniejszej pracy określono sprawność działania układów do filtracji wody na trzech obiektach basenowych o podobnych sposobach uzdatniania wody obiegowej (koagulacja – filtracja przez złożo wielowarstwowe – dezynfekcja związkami chloru) i różnym stopniu obciążenia powierzchni wody przez użytkowników (tab.1, 2).

Sprawność działania filtrów basenowych

Badaniami objęto wodę pobraną z niecek basenowych, ze zbiorników wyrównawczych, wodę przed i po filtrach, wodę uzupełniającą (tzw. woda świeża) oraz wodę z płukania filtrów (tzw. woda popłuczna). Próbki wody pobierane były zawsze podczas normalnej eksploatacji basenu.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki analiz fizyczno-chemicznych próbek wody przed i za filtrami. Przy analizie związków azotowych wzięto również pod uwagę zawartość chloramin (oznaczonych jako chlor związany), jako związków niepożądanych w wodzie basenowej ze względu na ich drażniące działanie na błony śluzowe, a także właściwości mutagenne oraz powodujące silny i drażniący zapach wody [4].

Zanieczyszczenia przedostające się do wody basenowej pochodzą z dwóch źródeł, tj. z powierzchni ciała osób kąpiących się (złuszczający się naskórek, tłuszcz, wydzieliny) oraz z otaczającego powietrza i posadzek. Stopień zanieczyszczenia wody basenowej zależy więc przede wszystkim od obciążenia basenu użytkownikami. Sprawność procesu filtracji, bez względu na stopień obciążenia basenu, powinna zapewnić jakość wody basenowej zgodną z wymaganiami [1–3].

Jakość wód popłucznych

Założenia techniczne dotyczące obsługi filtrów określają czas filtracji na minimum 24 godz. i rozpoczęcie płukania po stwierdzeniu na manometrach założonej różnicy ciśnień w filtrze (0,3 bar). Stosunkowo częste płukanie filtrów pozwala na uzyskanie wody popłucznej o parametrach jakościowych zbliżonych do parametrów wód powierzchniowych, odpowiadających przynajmniej trzeciej klasie czystości. Można więc przypuszczać, że woda po procesie płukania filtrów w instalacjach basenowych nie musi być odprowadzana do kanalizacji i mogłaby być zagospodarowana [5].

Tabela 1. Charakterystyka badanych układów basenowych

Parametry techniczne basenu	Basen 1	Wymiary 25x12,5 m, powierzchnia 312,5 m ² , głębokość 1,2+1,8 m, pojemność 468,8 m ³ , przepływ wody obiegowej 138 m ³ /h
	Basen 2	Wymiary 10x4,7 m + 5x4 m, powierzchnia 67 m ² , głębokość 0,85+1,0 m, pojemność 60 m ³ , przepływ wody obiegowej 84,9 m ³ /h
	Basen 3	Wymiary 12,5x7,2 m, powierzchnia 90 m ² , pojemność 162 m ³ , przepływ wody obiegowej 39,6 m ³ /h
Cyrkulacja wody basenowej	Basen 1	Doprowadzenie wody do basenu przez 44 dysze wmontowane w dno basenu (D _n =40 mm) Odprowadzenie wody z basenu przez dwa przelewy (2x25 m) typu Wiesbaden z króćcami przelewowymi (D _n =80 mm) (38 dysz) do zbiornika przelewowego (V=28,33 m ³) Spust wody z basenu przez 8 odpływów dennych (D _n =50 mm) wmontowanych w dno niecki Odprowadzenie wody bezpośrednio do kanalizacji deszczowej
	Basen 2	Doprowadzenie wody do basenu przez 25 dysz wmontowanych w dno basenu (D _n =40 mm) Odprowadzenie wody z basenu przez dwa przelewy (1,0x4,7 m, 1,0x10,0 m) typu Wiesbaden z króćcami przelewowymi (D _n =80 mm) (10 dysz) do zbiornika przelewowego (V=20,25 m ³) Spust wody z basenu przez 5 odpływów dennych (D _n =50) wmontowanych w dno niecki Odprowadzenie wody bezpośrednio do kanalizacji deszczowej
	Basen 3	Doprowadzenie wody do basenu przez dysze (d=25 mm) wmontowane w ściany boczne (2x6 dysz) i w ścianę czołową płytą (3 dysze) Odprowadzenie wody z basenu przez rynny przelewowo ułożone wzdłuż ścian bocznych i dalej za pomocą wpustów (2x5) na ścianach dłuższych i (2x2) na ścianach krótszych do zbiornika wody obiegowej oraz za pomocą 3 odpływów dennych bezpośrednio do rurociągu ssawnego zespołu filtrów; dołem odpływa ok. 30%, a górą ok. 70% wody obiegowej

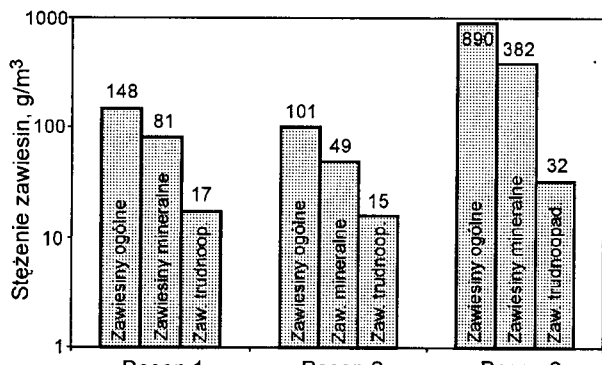
Tabela 2. Charakterystyka układów uzdatniania wody

Proces	Basen 1	Basen 2	Basen 3
Koagulacja	siarczan glinu (10%)	siarczan glinu (10%)	koagulant Superflock
Filtracja Średnica filtru Wysokość filtru Wysokość złoża Powierzchnia filtru Prędkość filtracji Wydajność filtru	Dwa zestawy filtracyjne 1800 mm 3150 mm 1500 mm 2,54 m ² 30 m/h 73 m ³ /h	Dwa zestawy filtracyjne 1600 mm 3000 mm 1500 mm 2,01 m ² 30 m/h 60 m ³ /h	Dwa zestawy filtracyjne 765 mm 2100 mm 1200 mm 0,46 m ² 30 m/h 23 m ³ /h
Charakterystyka złoża	górną warstwę filtracyjną: hydroantracyt (d=0,71+1,25 mm, h=600 mm) środkową warstwę filtracyjną: piasek kwarcowy (d=0,4+0,8 mm, h=500 mm) górną warstwę podtrzymującą: żwir kwarcowy (d=1,0+2,0 mm, h=100 mm) środkową warstwę podtrzymującą: żwir kwarcowy (d=2,0+3,15 mm, h=100 mm) dolną warstwę podtrzymującą: żwir kwarcowy (d=3,15+5,60 mm, h=100 mm)	górną warstwę filtracyjną: hydroantracyt (d=0,71+1,25 mm, h=600 mm) środkową warstwę filtracyjną: piasek kwarcowy (d=0,4+0,8 mm, h=500 mm) górną warstwę podtrzymującą: żwir kwarcowy (d=1,0+2,0 mm, h=100 mm) środkową warstwę podtrzymującą: żwir kwarcowy (d=2,0+3,15 mm, h=100 mm) dolną warstwę podtrzymującą: żwir kwarcowy (d=3,15+5,60 mm, h=100 mm)	górną warstwę filtracyjną: hydroantracyt (d=0,8+1,6 mm, h=600 mm) środkową warstwę filtracyjną (część górną): piasek kwarcowy (d=0,4+0,8 mm, h=350 mm) środkową warstwę filtracyjną (część dolną): piasek kwarcowy (d=2,0+3,15 mm, h=150 mm) warstwę podtrzymującą: żwir kwarcowy (d=3,15+5,6 mm, h=100 mm)
Czas trwania cyklu filtracji (t) Spadek ciśnienia (h)	t=3 d lub t=4 d (naprzemiennie) h=0,15+0,3 bar	t=3 d lub t=4 d (naprzemiennie) h=0,15+0,3 bar	t=2 d h=0,3 bar
Płukanie	Basen 1	Płukanie poprzez ręczne sterowanie zaworami; płukanie powietrzem przez 2+3 min, przerwa 2 min., płukanie wodą ze zbiornika przelewowego przez 3+5 min., spust pierwszego filtratu trwa ok. 1 min, objętość wody do płukania 15,3 m ³ , prędkość płukania 65 m/h	
	Basen 2	Płukanie poprzez ręczne sterowanie zaworami; płukanie powietrzem przez 2+3 min, przerwa 2 min, płukanie wodą ze zbiornika przelewowego przez 3+5 min, spust pierwszego filtratu trwa ok. 1 min, objętość wody do płukania 12,1 m ³ , prędkość płukania 65 m/h	
	Basen 3	Płukanie poprzez ręczne sterowanie zaworami; płukanie wodą ze zbiornika przelewowego przez 3+5 min., objętość wody do płukania 3 m ³ , prędkość płukania 65 m/h	
Dezynfekcja i korekta pH	Basen 1 Basen 2 Basen 3	Układ sterowany automatycznie (pomiar stężenia chloru wolnego, pH, potencjału redox) Dezynfekcja podchlorynem sodu (3%) dawką 0,3+0,5 gCl ₂ /m ³ , Korekta pH wodorotlenkiem sodu (10%) lub węglanem sodu (10%); kwasem solnym (30%) lub wodorosiarczanem sodu (10%)	
Frekwencja	Średnio 400+450 os./d (35 os./h)	Średnio 200 os./d (16 os./h)	Średnio 300 os./d (25 os./h)
Powierzchnia użytkowa	8,93 m ² /os.	4,19 m ² /os.	3,75 m ² /os.

Tabela 3. Średnie wartości parametrów jakości wody przed filtrami (a) i po filtrach (b)

Parametr, jednostka	Woda	Basen 1	Basen 2	Basen 3
pH, –	a	7,57	7,37	6,95
	b	7,53	7,36	6,95
Temperatura, °C	a	25	26	28
	b	24	25	27
Barwa, gPt/dm ³	a	1	1	1
	b	0	0	0
Mętność, g/m ³	a	5	5	5
	b	0	0	0
Azotyny, gN/m ³	a	0,026	0,013	0,046
	b	0,012	0,013	0,043
Azotany, gN/m ³	a	3,95	4,58	3,73
	b	3,97	4,36	3,96
Azot amonowy, gN/m ³	a	0,021	0,004	0,016
	b	0,010	0,003	0,009
Utleniałość, gO ₂ /m ³	a	3,36	1,75	2,88
	b	2,55	1,51	2,77
Tlen rozpuszczony, gO ₂ /m ³	a	6,98	3,04	4,37
	b	6,46	1,27	4,72
Chlor wolny, gCl ₂ /m ³	a	0,30	0,26	0,34
	b	0,05	0,04	0,25
Chlor związany, gCl ₂ /m ³	a	0,45	0,24	0,61
	b	0,28	0,14	0,62
Chlorki, gCl/m ³	a	182,8	124,0	208,0
	b	164,8	114,5	196,4
Twardość ogólna, gCaCO ₃ /m ³	a	433	463	495
	b	384	457	478
Glin, gAl/m ³	a	0,34	0,37	0,01
	b	0,09	0,11	0,00
Zawiesiny ogólne, g/m ³	a	20	18	13
	b	12	9	6

W tabeli 4 dokonano porównania średnich wartości parametrów jakości wody popłucznej dla badanych obiektów basenowych. Stężenia większości zanieczyszczeń wód popłucznych odpowiadały parametrom jakościowym wód drugiej i trzeciej klasy czystości oraz parametrom stężenia zanieczyszczeń ścieków odprowadzanych do wód i ziemi [6,7]. Wskaźnikiem dyskwalifikującym wody popłuczne, jako nadające się do bezpośredniego odprowadzenia do cieków wodnych lub do nawadniania terenów zielonych były zawiesiny oraz ogólny węgiel organiczny i chemiczne zapotrzebowanie wody na tlen. Zawiesiny trudnoopadające stanowiły zaledwie 11,6% ilości zawiesin ogólnych dla basenu 1, 14,8% dla basenu 2 i 3,6% dla basenu 3. Zawiesiny mineralne stanowiły około 50% zawiesin ogólnych dla wszystkich badanych obiektów basenowych (rys.1).



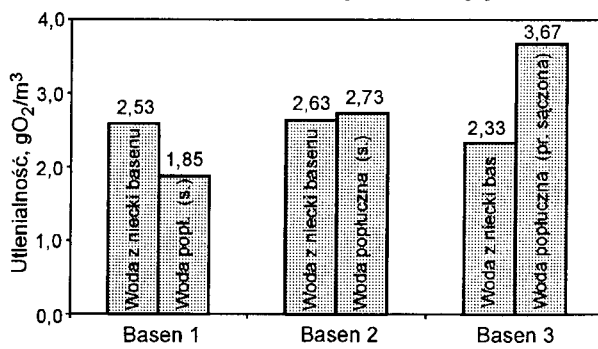
Rys. 1. Porównanie zawartości zawiesin w wodach popłucznych

Tabela 4. Średnie wartości parametrów jakości wód popłucznych

Parametr, jednostka	Basen 1	Basen 2	Basen 3
pH, –	7,36	7,50	6,72
Temperatura, °C	26	26	27
Barwa, gPt/m ³	4	9	4
Mętność, g/m ³	73	38	134
Azotyny, gN/m ³	0,020	0,023	0,116
Azotany, gN/m ³	2,90	4,21	3,36
Azot amonowy, gN/m ³	0,020	0,024	0,040
Fosforany, gPO ₄ ³⁻ /m ³	0,81	0,21	2,39
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,03	0,02	0,04
Tlen rozpuszczony, gO ₂ /m ³	1,6	1,4	3,8
OWO, gC/m ³	58	48	88
ChZT, gO ₂ /m ³	97	89	236
BZT ₅ , gO ₂ /m ³	13	10	16
Chlor wolny, gCl ₂ /m ³	0,06	0,04	0,08
Chlor związany, gCl ₂ /m ³	0,21	0,19	0,47
Chlor całkowity, gCl ₂ /m ³	0,28	0,19	0,51
Chlorki, mgCl/m ³	134	135	200
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	375	453	165
Twardość ogólna, gCaCO ₃ /m ³	479	487	525
Glin, gAl/m ³	0,04	0,09	0,01
Substancje rozpuszczone, g/m ³	1322	1198	1437
Zawiesiny ogólne, g/m ³	148	101	890
Zawiesiny trudnoopadające, g/m ³	17	15	32
Zawiesiny mineralne, g/m ³	81	49	382
Utleniałość (pr. sącz.), gO ₂ /m ³	1,85	2,73	3,67
Miano col/typu kalowego	>20	>20	>20
Bakterie chorobotwórcze	niewykrywalne		

Wprowadzenie na obiektach basenowych odstożników wód popłucznych, pozwalających na oddzielenie zawiesin łatwoopadających (85,2+96,4% ogólnej ilości zawiesin) z pewnością podniosłoby jakość popłuczyn i umożliwiłoby ich zagospodarowanie jako nadających się np. do nawodnień. Jednym ze wskaźników określających stopień czystości wód popłucznych po usunięciu z nich zawiesin jest utleniałość. Jej wartość odpowiadała utleniałości mierzonej w wodzie z niecki basenowej, a więc w wodzie przeznaczonej do kąpieli, spełniającej wysokie wymagania sanitarne i higieniczne (rys.2).

Świadomość zagrożeń, jakie mogą być powodowane niewłaściwym podejściem do zagadnień uzdatniania wody basenowej przyczyniła się do rozwoju technik jej uzdatniania



Rys. 2. Porównanie utleniałości wody z niecek basenów i sączonych wód popłucznych

i wyposażenia obiektów basenowych w systemy skutecznej filtracji przez złoża wielowarstwowe oraz stosowania coraz doskonalszych sposobów dezynfekcji wody. Niestety, koszty takich systemów uzdatniania wody są bardzo wysokie, dlatego też projektanci i inwestorzy poszukują metod ich obniżenia. Obniżenie oporów filtracji, zmniejszenie zużycia wody uzupełniającej oraz częstości wymiany wody w basenie i możliwości zagospodarowania wód popłucznych, to bez wątpienia czynniki wpływające na obniżkę kosztów eksploatacji obiektów basenowych związanych z wodą.

W Polsce obowiązującymi przepisami z zakresu eksploatacji obiektów basenowych są wytyczne Ministra Zdrowia, bazujące na normach niemieckich [1]. Nie opracowano natomiast krajowych wytycznych odnośnie filtracji wód basenowych oraz możliwości zagospodarowania wód popłucznych. Przedstawione w artykule analizy fizyczno-chemiczne i bakteriologiczne wód popłucznych z różnych instalacji basenowych dają podstawy do określenia możliwości ich dalszego wykorzystania.

Wnioski

♦ Wysoka sprawność stacji filtrów na obiektach nowych (baseny 1 i 2) oraz obiektach modernizowanych (basen 3) zapewnia jakość wody basenowej zgodną z przepisami polskimi oraz niemiecką normą DIN 19643. Zastrzeżenia może budzić jedynie poziom chloramin w filtracie (baseny 1 i 3), znacznie przekraczający wartość dopuszczalną. Obniżenie stężenia chloramin wymagałoby jednak zmiany lub usprawnienia technologii dezynfekcji wody na badanych obiektach. Zmiany te mogłyby polegać na wprowadzeniu częściowego ozonowania strumienia wody obiegowej lub zastosowaniu elektrolizy do wytwarzania roztworu podchlorynu sodu, zapewniającej całkowity brak produktów ubocznych po dezynfekcji [8,9]. Metody obniżenia stężenia chloramin, polegające na zwiększeniu krotności wymiany wody w niecce basenowej lub zmniejszeniu obciążenia basenu użytkownikami to jedynie metody doraźne i znacznie podnoszące koszty eksploatacji obiektów basenowych. Wyższe stężenia badanych parametrów jakości wody dla basenu 3 wynikały nie tyle ze sposobu płukania filtrów, wysokości i wieku złoża, co z obciążenia obiektu. Na jednego kąpielącego się przypadła tu zaledwie powierzchnia użytkowa basenu równa 3,75 m², podczas gdy minimalna powierzchnia użytkowa wynosi 4,5 m² na osobę.

♦ Stężenia większości zanieczyszczeń w wodzie popłucznej na badanych obiektach basenowych odpowiadały drugiej i trzeciej klasie czystości wód powierzchniowych. Jednakże wyniki badań wykazały, że woda z płukania filtrów ze względu na zawartość zawiesin nie może być bezpośrednio odprowadzana do odbiorników wodnych lub do ziemi. Wprowadzenie na obiektach basenowych odstojników wód popłucznych umożliwiłoby odciążenie systemów kanalizacji i zagospodarowanie tych wód jako nadających się do odprowadzania do wód powierzchniowych drugiej i trzeciej klasy czystości, nawadniania terenów zielonych lub odprowadzania do kanalizacji deszczowej. Taki sposób zagospodarowania wód popłucznych daje możliwości obniżenia kosztów eksploatacji obiektów basenowych.

LITERATURA

1. DIN 19643: Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser, 1997.
2. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 4 września 2000 r. w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarce, woda w kąpieliskach oraz zasad sprawowania kontroli jakości wody przez organy Inspekcji Sanitarnej. Dz. U. nr 82, poz. 937.
3. C. SOKOŁOWSKI: Wymagania sanitarno-higieniczne dla krytych pływalni. MZiOS, Departament Zdrowia Publicznego, wyd. PZITS nr 760, Warszawa 1998.
4. M. M. SOZAŃSKI: Chemizm i technologia uzdatniania wody dla basenów kąpielowych. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”, PZITS, Poznań 1994, ss. 415–422.
5. J. WYCZARSKA-KOKOT, F. PIECHURSKI. Ocena możliwości zagospodarowania wód popłucznych z instalacji basenowych. Mat. konf. „Instalacje Basenowe”, Pol. Śl., Ustroń 2001, ss. 103–116.
6. Aktualne przepisy w ochronie środowiska (stan prawny na 02-04-1993). Agencja Ochrony Środowiska, Gdańsk 1993.
7. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód i do ziemi. Dz. U. nr 116, poz. 503.
8. M. TAGGESELL. Wyjaśnienia techniczne dotyczące systemu ozonowania częściowego strumienia wody. Mat. konf. „Instalacje Basenowe”, Pol. Śl., Ustroń 2001, ss. 63–74.
9. M. TAGGESELL. Urządzenie do elektrolizy membranowej. Elektroliza do wytwarzania wodnego roztworu podchlorynu sodu ze sztucznie przygotowanej solanki. Mat. konf. „Instalacje Basenowe”, Pol. Śl., Ustroń 2001, ss. 43–51.

Assessing the Efficiency of Water Filtration and the Quality of Washings in Swimming Pools

The building and operating costs of sports and recreation facilities, especially those of the swimming pools, are very high. That is why designers and investors make a lot of effort to reduce them. The optimization of water management in swimming pools tends towards increasing the filtration efficiency, reducing the amount of water needed, decreasing the frequency of water replacement in the swimming pools and considering the possibility of reusing the effluents from the filtration systems. The

paper presents the profiles of three swimming pools and a detailed discussion of the results obtained, which makes it possible to assess the efficiency of filtration and the extent of pollution in the effluents from the filtration system. The effluents were analyzed for particular pollutants, especially nitrogen compounds and chloramines, to find out whether or not they can be discharged directly into rivers or reused for the watering of greens and commons.