

Marta Bożym, Małgorzata Wzorek¹, Iwona Kłosok-Bazan²

STOPIEŃ NARAŻENIA KORZYSTAJĄCYCH Z PŁYWALNI NA DZIAŁANIE WYBRANYCH TOKSYCZNYCH PRODUKTÓW DEZYNFEKCJI WODY

Katedra Inżynierii Środowiska
Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej
Kierownik: dr hab. inż. *N. Szmolke* prof. PO

¹ Katedra Inżynierii Procesowej
Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej
Kierownik: prof. dr hab. inż. *S. Witzak*

² Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej
Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej
Kierownik: dr hab. inż. *B. Dobrowolski* prof. PO

Słowa kluczowe: woda, basen, produkty dezynfekcji wody, trihalometany.
Keywords: water, swimming pool, disinfection by-product, trihalomethans.

Wstęp

Podczas dezynfekcji wody przy wykorzystaniu związków chloru powstają związki chemiczne będące produktami reakcji chloru z materią organiczną. Niektóre z tych związków są obojętne dla ludzi, jednak wiele z nich stwarza poważne zagrożenie zdrowotne. Związki te nazywane są ogólnie: ubocznymi produktami dezynfekcji wody (*DBP – Disinfection By-Products*). Już w 1974 r. stwierdzono ich obecność w wodzie pitnej (1). Okazało się, że DBP powstają także w wodzie basenowej. Do tego w znacznie większych ilościach niż w wodzie pitnej, z uwagi na wyższy stopień chlorowania oraz zwiększoną zawartość materii organicznej. Pierwsze informacje na temat DBP w wodzie basenowej pojawiły się w roku 1980 w badaniach niemieckich i amerykańskich (2). Zidentyfikowano już ponad 600 rodzajów tych związków i wciąż odkrywano nowe. Wśród produktów dezynfekcji wody wyróżnia się trzy najważniejsze grupy:

1. trihalometany (THM), w tym: chloroform (TCM, trichlorometan), dichlorobromometan (DCBM), chlorodibromometan (CDBM) i bromoform (TBM, tribromometan),
2. kwasy halogenooctowe (HAAs, halogenated acetic acids), takie jak: kwas mono-, di-, tri- chlorooctowy lub bromooctowy i inne,
3. chloraminy (CAM), w tym monochloramina (MCAM), dichloroaminy (DCAM) i trichloroaminy (TCAM) (3).

Do grupy THM zalicza się czasem tak zwane trihaloetany (THE), ale ich stężenie w wodzie jest znacznie mniejsze (3). Wszystkie trzy grupy różnią się właści-

wościami fizykochemicznymi oraz toksycznością. W przeciwieństwie do kwasów halogenooctowych, trihalogenometany łatwo uwalniają się z wody do powietrza, ze względu na dużą lotność (4). Lotnymi substancjami są także chloroaminy, odpowiedzialne za charakterystyczny zapach „chloru”. Są to związki szkodliwe dla ludzi. Do związków toksycznych obecnych w chlorowanej wodzie zalicza się także 3-chloro-4-dichlorometylo-5-hydrokso-2(5H)-furanon (MX). Związek ten został po raz pierwszy zidentyfikowany w latach 80. XX wieku. Prekursorami MX są głównie kwasy organiczne oraz aldehydy. Są one również prekursorami innego toksycznego związku obecnego w wodzie basenowej, czyli chlorku 2-chloro-5-okso-3-heksen diacylu (COHC) o mutagenności podobnej do MX.

Aby doszło do powstania DPB w chlorowanej wodzie, oprócz związków chloru muszą być obecne substancje organiczne, czyli prekursorzy tych związków. Nie wszystkie związki organiczne zawarte w wodzie są zdolne do reakcji z chlorem. Stwierdzono, że reakcji najłatwiej ulegają związki węgla rozpuszczalne w wodzie, tak zwane DOC (*Dissolved Organic Carbon*) (2). Na rodzaj powstających związków w wodzie poddawanej chemicznej dezynfekcji wpływa rodzaj stosowanego środka dezynfekującego. Do tego celu wykorzystuje się najczęściej związki chloru, ale także alternatywne metody: ozonowanie połączone z chlorowaniem, promieniowanie UV, metody elektrochemiczne czy też inne związki niezawierające chloru (bromowanie, jodowanie). Jednak w badaniach toksyczności wykazano, że związki bromowane wykazują wyższą toksyczność od chlorowanych (2). W literaturze opisuje się także próby wykorzystania do dezynfekcji wody nanocząstek metali (Ag, Cu) (5). Z badań wynika, że niektóre z alternatywnych metod dezynfekcji nie redukują ilości powstających DPB, a wręcz ją zwiększają (6). Na ilość i rodzaj powstających DPB w wodzie basenowej wpływa wiele więcej czynników. Dla przykładu niskie pH zmniejsza tworzenie THM, ale jednocześnie powoduje znaczny wzrost powstawania kwasów halogenooctowych (HAAs) (2). Na ilość DPB w wodzie basenowej wpływają także sami pływacy. Użytkownicy basenów wprowadzają do wody różne zanieczyszczenia (np. cząstki naskórka, pot, mocz), a także mikroorganizmy. Według *Wyczarskiej-Kokot* (7) jedna osoba może wprowadzić do wody basenowej nawet do miliarda bakterii, w tym również chorobotwórczych, co przy znacznej frekwencji może prowadzić do bardzo szybkiego rozprzestrzenienia się infekcji. Głównym prekursorem DPB jest mocznik. Ludzie wprowadzają go do wody wraz z potem. Związek ten jest prekursorem tworzenia mutagennych chloroamin, przyczyny alergii i podrażnień oczu, błon śluzowych nosa, górnych dróg oddechowych oraz układu pokarmowego u pływających (7). Korzystający z basenów powinni mieć świadomość, że przyczyniają się do powstawania toksycznych związków w wodzie, w której pływają.

W 2015 r. weszła w życie nowelizacja przepisów dotyczących jakości wody w pływalniach (8). Nakazują monitorowanie stężenia trihalometanów, należących do DPB, w wodzie basenowej oraz określają ich graniczne wartości ($100 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). Nie są normowane natomiast pozostałe grupy należące do DPB, czyli chloroaminy i kwasy halogenooctowe. W wielu krajach europejskich konieczność badania stężenia THM w wodzie basenowej obowiązuje już od wielu lat. Normowana jest suma THM, która wynosi np. w Portugalii $100 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, w Niemczech $20 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, w Danii $50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, w USA (wg EPA) $80 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, w Kanadzie $100 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (oraz 16

$\mu\text{g}/\text{dm}^3$ BDCM (bromodichlorometanu)). Natomiast WHO ogranicza stężenia poszczególnych związków należących do trihalometanów na poziomach: $300 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ dla TCM, $60 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ dla BDCM oraz $100 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ zarówno dla CDBM, jak i TBM (9). Z powodu konieczności badania tych związków również w krajowych kąpieliskach, w dalszej części pracy skupiono się na toksyczności oraz ograniczeniu negatywnego wpływu trihalometanów zawartych w wodzie basenowej.

Toksyczność produktów dezynfekcji wody basenowej

Już w latach 70. XX w. stwierdzono potencjalnie rakotwórcze działanie chloroformu, należącego do THM (10). Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) klasyfikuje chloroform i bromodichlorometan, do związków przypuszczalnie rakotwórczych dla ludzi (grupa 2B), mających negatywny wpływ na układ nerwowy, wątrobę oraz nerki (11, 12). Sugeruje się, że picie chlorowanej wody może zwiększyć częstość występowania raka pęcherza, odbytnicy oraz raka jelita grubego (10). Niezależnie od drogi ich wchłonięcia, trihalometany wraz z krwią przemieszczają się do narządów wewnętrznych, a wydalanie następuje głównie z moczem. U ssaków, w tym u ludzi, THM są dobrze wchłaniane i metabolizowane, ale też szybko eliminowane (13). Na szkodliwość trihalometanów wpływa droga ich wchłonięcia. W badaniach naukowych nie stwierdzono jednoznacznie, które ze źródeł narażenia są najbardziej niebezpieczne dla korzystających z basenów. Według niektórych autorów THM z wody basenowej wchłaniane są głównie przez skórę (5). W innych doniesieniach jako główną drogę narażenia pływaków na THM wskazuje się drogę oddechową, gdyż są to związki bardzo lotne, a ich najwyższe stężenie stwierdza się nad taflą wody (4). Sugeruje się jednak, że trihalometany pobrane drogą oddechową w większości zostają usunięte wraz z wydychanym powietrzem, a niewielka ilość przedostaje się do krwi, a następnie mocz (10, 12). Wielu autorów zwraca też uwagę, że niewłaściwie działająca wentylacja wpływa bezpośrednio na stopień narażenia pływaków. Sprawny system wentylacji w hali basenowej nie jest jedynym rozwiązaniem w kwestii wchłaniania trihalometanów drogą oddechową. Na ich nagromadzenie w powietrzu hali basenowych wpływa stopień chlorowania wody, jej temperatura, ale także liczba pływaków oraz intensywność ich pływania (5). Stwierdzono, że pływacy wyczynowi są bardziej narażeni na występowanie chorób górnych dróg oddechowych, w tym astmy, w porównaniu do sportowców uprawiających inne dyscypliny sportowe (12, 14). Okazuje się, że na stopień wchłonięcia THM przez osoby przebywające na basenach wpływa ich aktywność fizyczna. W badaniach hiszpańskich stwierdzono wyższy poziom tych związków w wydychanym powietrzu u osób pływających w porównaniu do ratowników czy osób pracujących na danym obiekcie (15). Wykazano, że poziom THM we krwi pływaków jest skorelowany z poziomem tych substancji w powietrzu pływalni, natomiast nie zależy od ich stężenia w wodzie (12).

Przypuszcza się, że pewne objawy występujące u pływaków i obsługi pływalni, takie jak podrażnienie oczu i skóry, czy problemy z oddychaniem, mogą być spowodowane działaniem chloroamin obecnych w powietrzu pływalni, nie zaś trihalometanów. Potwierdzają to badania *Thicketta* i współpr. (16), którzy opisali trzy przypadki wystąpienia astmy i alergii skórnych u ratowników wskutek dzia-

łania trichloroaminy. *Massin* i współpr. (17) stwierdzili, że trichloroamina obecna w powietrzu francuskich basenów była przyczyną podrażnienia oczu i nosa wśród 334 badanych ratowników. Podobne wyniki uzyskali *Jacobs* i współpr. (18), którzy przeprowadzili badania 624 pracowników basenów w Holandii. Stwierdzili u nich podrażnienia skóry i górnych dróg oddechowych, bez zwiększonej zachorowalności na astmę. Obecnie wiele badań skierowanych jest na bezpieczeństwo zdrowotne dzieci korzystających z basenów (12, 19). Należy tutaj zaznaczyć, że astma to najczęściej występująca choroba przewlekła u dzieci (12). W badaniach przeprowadzonych w Hiszpanii wśród dzieci korzystających z basenów nie stwierdzono jednoznacznie wpływu DBP na zwiększone ryzyko astmy czy też pogorszenia stanu zdrowia. Natomiast zauważono negatywny wpływ wody basenowej na skórę i zwiększenie występowania skórnych zmian atopowych (12). W innej publikacji (20) przeprowadzono badania dotyczące narażenia dzieci w wieku 9-12 lat na działanie trihalometanów pochodzących z wody pitnej oraz basenowej. Okazało się, że dzieci uczęszczające na baseny miały cztery razy większy wychwyty THM w porównaniu do dzieci nieumiejących pływać. W przypadku dzieci niekorzystających z pływalni, głównym źródłem narażenia na działanie THM był kontakt z wodą podczas kąpieli pod prysznicem. Podobne badania prowadzone były we Włoszech, Niemczech, Irlandii czy Belgii. Efektem badań belgijskich było stworzenie raportu, w którym odradza się korzystanie z basenów przez dzieci do 1. roku życia, zwłaszcza u których rodzice chorowali na astmę lub atopowe zapalenie skóry.

Grupą szczególnie narażoną na działanie substancji toksycznych są kobiety ciężarne. Podejrzewa się, że związki z grupy trihalometanów pobrane przez matkę podczas korzystania z basenu, mogą przenikać przez łożysko. Jednak nie uzyskano jednoznacznych dowodów na to, że związki szkodliwe z wody basenowej mają jakikolwiek wpływ na zdrowie kobiet ciężarnych, a także na powstawanie wad rozwojowych płodów lub niską masę urodzeniową dzieci. Nie stwierdzono także bezpośredniego wpływu THM pochodzących z wody basenowej na rozrodność kobiet (11).

Z uwagi na możliwość rakotwórczego działania niektórych trihalometanów, w badaniach pływaków ocenia się także obecność biomarkerów genotoksyczności. Tego typu badania przeprowadzili *Villanueva* i współpr. (21), którzy potwierdzili wpływ tych związków na zwiększenie ryzyka zachorowania na raka pęcherza wśród osób korzystających z basenów. Podobnie *Kogevinas* i współpr. (22) oznaczyli obecność biomarkerów w moczu pływaków i potwierdzili tym samym potencjalnie genotoksyczne skutki ekspozycji na THM przez korzystających z basenów. Autorzy ci zwracają jednak uwagę, że pozytywne skutki pływania są nieocenione, a zagrożenia ze strony toksycznych substancji powinny być minimalizowane poprzez właściwie stosowane zabiegi techniczne w oczyszczaniu wody oraz sprawne działanie systemu wentylacji.

Jak zmniejszyć narażenie?

Według danych Ministerstwa Sportu i Rekreacji z 2015 r. (23) w Polsce funkcjonuje 736 krytych pływalni, w tym 12 pływalni olimpijskich, 66 pływalni typu sportowego, 489 pływalni długości 25 m i 169 pływalni szkoleniowo-rekreacyj-

nych. Łączna liczba niecek basenowych we wszystkich 736 pływalniach w kraju to 849 obiektów. Największa liczba krytych pływalni znajduje się w województwie śląskim (120 obiektów), następnie w województwie mazowieckim (84 obiekty) i pomorskim (62 obiektów). Na terenie Opolszczyzny funkcjonuje 18 krytych pływalni. Ministerstwo nie podaje liczby użytkowników tych obiektów. Według szacunków *Zwienera* i współpr. (2) w Niemczech z krytych pływalni korzysta 250–300 milionów osób, a w USA aż 400 milionów. W Stanach Zjednoczonych funkcjonuje 250 000 basenów publicznych i ok. 10 milionów basenów prywatnych. Natomiast w Europie najwięcej basenów znajduje się we Francji (773 000), Niemczech (625 000), Wielkiej Brytanii (155 000) i Włoszech (94 000). W Wielkiej Brytanii jedna trzecia dzieci i prawie połowa dorosłych korzysta z basenów co najmniej raz w tygodniu (2). Wszyscy korzystający z basenów są narażeni na szkodliwe działanie ubocznych produktów dezynfekcji wody. Na stężenie tych związków w wodzie basenowej wpływa między innymi rodzaj czynnika stosowanego do dezynfekcji. **Chlorowanie** wody polega na dodaniu do wody basenowej podchlorynu wapnia lub sodu, rzadziej w postaci gazowego chloru lub przez elektrolityczną syntezę podchlorynu sodu (5). W badaniach *Righi* i współpr. (11) stwierdzono największe stężenie trihalometanów w wodzie basenowej chlorowanej przy wykorzystaniu dichloroizocyanuranu sodu, następnie podchlorynu sodu, kwasu trichloroizocyanurowego, najmniej tych związków powstawało przy dezynfekcji podchlorynem wapnia. Coraz częściej w celu zmniejszenia ilości DBP w wodzie stosuje się alternatywne metody dezynfekcji, np. **bromowanie**. Okazuje się jednak, że związki bromoorganiczne są dla ludzi bardziej toksyczne (cytotoksyczne i mutagenne) niż chlorowane. Udowodniono, że związek bromu wykorzystywany do dezynfekcji wody (HBrO) jest bardziej reaktywny niż HClO i ma większy potencjał do tworzenia THM (15). Poza tym stwierdza się liczniejsze występowanie podrażnień skóry u osób korzystających z basenów poddawanych bromowaniu (24). Obecność bromowanych THM oznacza się także w wodzie dezynfekowanej metodą **elektrochemiczną** (*EGMO – Electrochemically Generated Mixed Oxidants*). W metodzie tej wykorzystuje się między innymi sole bromkowe, stąd podwyższone stężenie bromowanych THM w wodzie poddawanej tej metodzie dezynfekcji (5). Do alternatywnych metod dezynfekcji, które mają obniżyć potencjał tworzenia DBP w wodzie basenowej należy wykorzystanie ozonowania czy **promieniowania UV**. Okazuje się jednak, że promieniowanie UV zmniejsza ilość powstającej chloroaminy w wodzie basenowej, ale jednocześnie zwiększa stężenie trihalometanów (6, 25). Promieniowanie UV zmienia strukturę związków organicznych zawartych w wodzie, powodując wzrost udziału frakcji o mniejszej masie cząsteczkowej, które łatwo reagują z chlorem i azotem. Jak podaje *Włodyka-Bergier* i *Bergier* (26) tak zmienione substancje doprowadzają do powstawania związków toksycznych na przykład halonitrometanów. Autorzy stwierdzili największy przyrost potencjału tworzenia DBP w wodzie, gdzie dawka promieniowania UV była największa.

Ozonowanie jest kolejną alternatywną metodą dezynfekcji wody, jednak o krótkim czasie działania (20–30 min.). Dlatego stosuje się je zwykle łącznie z chlorowaniem. Ozonowanie wody może powodować powstawanie w niej szkodliwych substancji, np. aldehydów, w tym toksycznego formaldehydu (3). Innymi związkami powstającymi podczas ozonowania wody są kwasy karboksylowe. Kolejną

metodą dezynfekcji wody basenowej, obecnie testowaną w USA, jest stosowanie **nanocząstek** srebra lub miedzi. Wstępne badania potwierdzają zmniejszenie ilości powstających w wodzie THM oraz minimalizację efektów podrażnienia oczu czy skóry (5). Przy ocenie tej metody dezynfekcji, należy zachować ostrożność, gdyż do tej pory jest jeszcze zbyt mało danych na temat toksyczności nanocząstek i oddziaływania na ludzki organizm.

Innym zagadnieniem dotyczącym problemu produktów dezynfekcji wody basenowej jest ilość materii organicznej zawartej w wodzie. Rodzaj i ilość substancji organicznych wprowadzanych do wody wraz z użytkownikami jest trudna do oszacowania. Człowiek wnosi na skórę mocznik, kreatyniny, aminokwasy, części naskórka, będące prekursorami tworzenia DBP, w tym chloroamin i trihalometanów. Szacuje się, że na skórę człowieka znajduje się około 100–160 mg mocznika. Zatem im więcej osób korzysta z basenów, tym więcej mocznika znajduje się w wodzie. Zwiększa to ilość ubocznych produktów dezynfekcji. Zmniejszenie ilości mocznika i innych zanieczyszczeń wprowadzanych przez ludzi można osiągnąć dzięki obowiązkowi kąpeli pod prysznicem przed wejściem do basenu. Sugeruje się nawet kąpiel z użyciem mydła, co może zredukować ilość wprowadzanego mocznika nawet o ponad 90%. Oprócz kąpeli przed wejściem do basenu warto również zwrócić uwagę na zalecenia dotyczące zakładania czepków, gdyż włosy uznaje się za najbardziej zanieczyszczoną część ciała (5).

Kolejnym zagadnieniem związanym z redukcją DBP w wodzie basenowej jest oczyszczanie wody. Normy jakości wody, określone w przepisach prawnych, muszą być zachowane przez eksploatatora basenów. Priorytetem jest czystość mikrobiologiczna, na drugim miejscu jest stężenie niebezpiecznych związków (12). Zarządzający obiektem są zobowiązani nie tylko do utrzymania poziomu mikroorganizmów czy chloru na odpowiednim poziomie, ale także produktów dezynfekcji takich jak THM, co wpływa na konieczność zastosowania odpowiednich metod oczyszczania wody. W większości krajowych basenów stosuje się filtrację na złożach piaskowych czy krzemkowych oraz flokulację. Droższą metodą, ale dającą lepsze efekty, jest połączenie filtracji membranowej i intensywnego utleniania, które eliminują większość DOC (o 60%) oraz mikroorganizmów, w porównaniu do metod tradycyjnych (2). Proponowane są także nowe technologie w poprawieniu czystości wody basenowej, np. poprzez zastąpienie kwasów nieorganicznych stosowanych do korekacji pH wody przez gazowy CO₂ (27). Jednym z najważniejszych czynników wpływających na zdrowie pływaków jest sprawnie działający system wentylacji krytych pływalni. Zaleca się, żeby system wentylacyjny pracował tylko w oparciu o świeże powietrze, co ma zapewnić odpowiednie usuwanie ubocznych produktów dezynfekcji wody z powietrza. Jest to jednak rozwiązanie niekorzystne z uwagi na zużywanie dużych ilości energii do jego podgrzania. Dlatego można zastosować zdecentralizowany system wentylacji, dzięki czemu poprawia się jakość powietrza i zmniejsza zużycie energii elektrycznej i ciepła (5).

Podsumowując, toksyczność ubocznych produktów dezynfekcji wody dla pływaków zależy od stężenia tych związków w wodzie oraz powietrzu pływalni, na co z kolei ma wpływ temperatura i sposób dezynfekcji wody, efektywność jej oczyszczania oraz sprawność systemu wentylacji. Niebagatelny wpływ mają także sami pływacy, ich liczba, intensywność pływania oraz czas korzystania z basenu. W celu

minimalizacji narażenia warto sprawdzić jaki rodzaj dezynfekcji jest stosowany w danym obiekcie, czy parametry wody spełniają normy jakości, jaki zastosowano system wentylacji. Ważnym też jest aby każdy korzystający z basenu miał świadomość, że biorąc prysznic przed wejściem, wpływa bezpośrednio na jakość wody.

Zawartość trihalometanów w polskich basenach

Do niedawna nie było konieczności oznaczania trihalometanów w wodzie basenowej. Limitowane było stężenie chloru wolnego, chloru całkowitego i węgla organicznego (TOC). W 2015 roku w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia (8) ustalono graniczne wartości nie tylko dla sumy trihalometanów (Σ THM), ale także chloroformu. Ustalono wartości graniczne dla tych związków: stężenie sumy THM nie powinno przekraczać $100 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a chloroformu $30 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, za wyjątkiem wody w nieckach basenowych dla dzieci, gdzie stężenie chloroformu nie może przekroczyć wartości $20 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. W krajowej literaturze można znaleźć niewiele wyników badań dotyczących stężenia THM w wodzie basenowej, inaczej niż w przypadku wody pitnej. W tabeli I przedstawiono przykładowe wyniki badań jakości wody pochodzącej z krajowych pływalni i stężenia trihalometanów w kilku nieckach basenowych. Każda niecka miała niezależny system oczyszczania wody. Autorzy (28) zbadali sumę THM na dopływie i odpływie z każdej niecki. W wodzie zasilającej kompleks oznaczyli stężenie tych związków na bardzo niskim poziomie: $1,2 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Natomiast na w wodzie z poszczególnych niecek od 17 do $28 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Niepokojąco wysokie stężenie autorzy uzyskali dla wody pobranej z brodzika dla dzieci. Jest to prawdopodobnie związane z wyższym udziałem węgla organicznego w wodzie w tej niecce. W badaniach *Czajki* i współpr. (29) oceniono wpływ chlorowania solanki w basenie leczniczym na zawartość w niej trihalometanów. Sumę THM autorzy oznaczyli w granicach $42\text{--}68 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w świeżej wodzie oraz $72\text{--}101 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ po dwóch miesiącach eksploatacji, co tłumaczą zwiększeniem ilości węgla organicznego w wodzie. Uzyskane przez w/w autorów wyniki mieszczą się w granicach ustalonych w Rozporządzeniu (8). W badaniach własnych przeprowadzonych w 2015 r. na pięciu krytych oraz pięciu odkrytych basenach Opolszczyzny, oznaczono THM w bardzo szerokich granicach: od 27 do $279 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ dla basenów krytych oraz od 15 do aż $551 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ dla odkrytych (tab. I) (30).

Tabela I. Stężenie trihalometanów (THM) w wodzie krajowych pływalni

Table I. Concentration of trihalomethans (THMs) in Polish swimming pools

Kompleks basenowy (28)	Solanka uzdrowskowego basenu leczniczego (29)	Badania własne 2015 r. (30)
$(\mu\text{g}/\text{dm}^3)$		
Woda zasilająca 1, 2 Niecka sportowa 24–25 Niecka rekreacyjna 19–23 Wanny spa 17–22 Brodzik dla dzieci 25–28	Przed eksploatacją 42–68 Po 2 mies. eksploatacji 72–101	Baseny kryte 27–279* Baseny odkryte 15–551*

* – w badaniach stwierdzono liczne przekroczenia dopuszczalnych wartości dla trihalometanów ($100 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) (8) w wodzie pobranej z pływalni Opolszczyzny

Stwierdzono, że po wymianie wody w nieckach basenowych udział THM zmniejszył się. Natomiast w trakcie eksploatacji stężenie tych związków rosło w czasie. Może to świadczyć o niskiej sprawności systemu oczyszczania wody z materii organicznej. W badanych basenach stosowano proste systemy oczyszczania wody, bazujące głównie na złożach filtracyjnych różnego typu. We wszystkich basenach stosowano chlorowanie wody, w jednym przypadku zastosowano dodatkowo promieniowanie UV. Najmniej korzystny okazał się system bazujący na złożu żwirowo-piaskowo-antracytowym. Pozostałe obiekty posiadały filtry na bazie ziemi okrzemkowej. Nieco inaczej sytuacja wyglądała w przypadku obiektów otwartych. Niektóre z nich funkcjonują od ponad 80 lat. Większość nie posiadała systemu recyrkulacji i filtracji wody, poza jednym wyjątkiem. Ich eksploatacja polega głównie na napełnieniu niecki basenowej wodą podziemną, ręcznym dozowaniu związków chloru i monitorowaniu jakości wody. Przy znaczącym jej pogorszeniu, niecka była opróżniana i po oczyszczeniu, napełniana świeżą wodą. Wyższy udział THM w wodzie z basenów odkrytych wiąże się najprawdopodobniej z wyższym stopniem chlorowania wody oraz zwiększonym udziałem materii organicznej w stosunku do wód z krytych pływalni. Jednak narażenie ze strony trihalometanów w basenach odkrytych jest mniejsza, gdyż ograniczone jest ich wchłanianie drogą oddechową. W badaniach stwierdzono, że dominującym związkiem z grupy THM był chloroform i bromoform. Planuje się rozszerzenie badań o większą liczbę obiektów oraz ocenę jakości powietrza w basenach krytych, w celu identyfikacji potencjalnych źródeł tworzenia się tych związków oraz ich eliminacji.

Podsumowanie

Korzyści zdrowotne wynikające z pływania przewyższają potencjalne ryzyko dla zdrowia ze strony zanieczyszczeń chemicznych obecnych w wodzie basenowej. Zapewnienie bezpieczeństwa sanitarnego, ale także chemicznego wody powinno być priorytetem dla właścicieli basenów. Jako korzystający z basenów, nie mamy większego wpływu na stosowany rodzaj dezynfekcji, system oczyszczania wody czy wentylacji na danym obiekcie. Warto jednak wiedzieć jaki rodzaj dezynfekcji stosuje się w basenie, z którego korzystamy, jak często wymieniana jest woda w niecce, czy zachowane są normy jakości wody oraz jaki system wentylacji jest stosowany. Dla pływaków ważne jest także uświadomienie sobie, że bezpośrednio wpływają na czystość wody basenowej. Wcześniejsze wzięcie prysznic powoduje zmycie mikroorganizmów, drobin naskórka i zanieczyszczeń, które zwiększają ilość toksycznych produktów dezynfekcji wody, co bezpośrednio wpływa na nasze zdrowie.

PIŚMIENNICTWO

1. *Rook, J. J.*: Formation of haloforms during chlorination of natural waters. *Water Treat. Exam.*, 1974; 23: 351-357. – 2. *Zwiener C., Richardson S.D., DeMarini D.M., Grummt T., Glauner T., Frimmel F.*: Drowning in disinfection byproducts? Assessing swimming pool water. *Environ. Sci. Techn.*, 2007; 41: 363-372. – 3. *Nawrocki J.*: Uboczne produkty utleniania i dezynfekcji wody – doświadczenia ostatnich 30 lat. *Ochrona Środowiska*, 2005; 27(4): 3-12. – 4. *Catto C., Simard S., Charest-Tardif G., Rodriguez M., Tardif R.*: Occurrence and spatial and temporal variations of disinfection by-products in the water and air of two indoor swimming pools. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2012; 9: 2562-2586. – 5. *Bożym M., Klosok-Bazan I., Wzorek M.*: Problem powstawania i toksyczności trihalometanów w wodach basenowych. *Instal*, 2016; 11: 57-61. – 6. *Biń A.K.*: Uboczne produkty dezynfekcji wody w basenach pływackich. *Instal*, 2009; 2: 30-36. – 7. *Wyczarska-Kokot J.*: Wpływ metody dezynfekcji na zawartość chloramin w wodzie basenowej. *Ochr. Środ.*, 2014; 36(2): 37-42. – 8. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 roku w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach, Dz.U. 2015 poz. 2016. – 9. *Maia R., Correia M., Brás Pereira I.M., Beleza V.M.*: Optimization of HS-SPME analytical conditions using factorial design for trihalomethanes determination in swimming pool water samples. *Microchem. J.*, 2014; 112: 164-171. – 10. *Pentamwa P., Sukton B., Wongklom T., Pentamwa S.*: Cancer risk assessment from trihalomethanes. *Int. J. Environ. Sci. Develop.*, 2013; 4(5): 538-544.
11. *Righi E., Fantuzzi G., Predieri G., Aggazzotti G.*: Bromate, chlorite, haloacetic acids, and trihalomethanes occurrence in indoor swimming pool waters in Italy. *Microchem. J.*, 2014; 113: 23-29. – 12. *Villanueva C.M., Font-Ribera L.*: Health impact of disinfection by-products in swimming pools. *Ann. Ist Super Sanita*, 2012; 48(4): 387-396. – 13. IPCS: Disinfectants and disinfectant by-products. International programme on chemical safety. Environmental Health Criteria Geneva, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2000; 23-26. – 14. *Fisk M.Z., Steigerwald M.D., Smoliga J.M., Rundell K.W.*: Asthma in swimmers: A review of the current literature. *Phys. Sportsmed.*, 2010; 38(4): 28-34. – 15. *Lourencetti C., Grimalt J.O., Marco E., Fernandez P., Font-Ribera L., Villanueva C.M., Kogevinas M.*: Trihalomethanes in chlorine and bromine disinfected swimming pools: Air-water distributions and human exposure. *Environ. Int.*, 2012; 45: 59-67. – 16. *Thickett K.M., McCoach J.S., Gerber J.M., Sadhra S., Burge P.S.*: Occupational asthma caused by chloramines in indoorswimming-pool air. *Eur. Respir. J.*, 2002; 19(5): 827-832. – 17. *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 pools. *Occup. Environ. Med.*, 1998; 55(4): 258-263. – 18. *Jacobs J.H., Spaan S., van Rooy G.B., Meliefste C., Zaat V.A., Rooyackers J.M., Heederik D.*: Exposure to trichloramine and respiratory symptoms in indoor swimming pool workers. *Eur. Respir. J.*, 2007; 29(4): 690-698. – 19. *Weisel C.P., Richardson S.D., Nemery B., Aggazzotti G., Baraldi E., Blatchley E.R. III, Blount B.C., Carlsen K.H., Eggleston P.A., Frimmel F.H.*: Childhood asthma and environmental exposures at swimming pools: state of the science and research recommendations. *Environ. Health Perspect.*, 2009; 117: 500-507. – 20. *Font-Ribera L., Kogevinas M., Nieuwenhuijsen M.J., Grimalt J.O., Villanueva C.M.*: Patterns of water use and exposure to trihalomethanes among children in Spain. *Environ. Res.*, 2010; 110: 571-579.
21. *Villanueva C.M., Cantor K.P., Cordier S., Jaakkola J.J., King W.D., Lynch C.F., Porru S., Kogevinas M.*: Disinfection byproducts and bladder cancer: a pooled analysis. *Epidemiology*, 2004; 15(3): 357-67. – 22. *Kogevinas M., Villanueva C.M., Font-Ribera L., Liviac D., Bustamante M., Espinosa F., Nieuwenhuijsen M.J., Espinosa A., Fernandez P., DeMarini D.M., Grimalt J.O., Grummt T., Marcos R.*: Genotoxic effects in swimmers exposed to disinfection by-products in indoor swimming pools. *Environ. Health Perspect.*, 2010; 118: 1531-1537. – 23. Raport Ministerstwa Sportu i Turystyki „Pływalnie kryte w Polsce. Inwentaryzacja bazy sportowej”, Warszawa, kwiecień 2015 r. <http://www.msport.gov.pl/badania-i-analizy/infrastruktura>. – 24. *Pardo A., Nevo K., Vigiser D., Lazarov A.*: The effect of physical and chemical properties of swimming pool water and its close environment on the development of contact dermatitis in hydrotherapists. *Am. J. Ind. Med.*, 2007; 50: 122-126. – 25. *Cassan, D., Mercier, B., Castex, F., Rambaud, A.*: Effects of medium-pressure UV lamps radiation on water quality in a chlorinated indoor swimming pool. *Chemosphere*, 2006; 62: 1507-1513. – 26. *Włodyka-Bergier A., Bergier T.*: Wpływ dezynfekcji wody promieniami nadfioletowymi na potencjał tworzenia halogenowych produktów chlorowania w sieci wodociągowej. *Ochr. Środ.*, 2013; 35(3): 53-57. – 27. *Gomra A., Guisasola A., Tayr C., Baeza J.A., Baeza M., Bartroli A., Lafuente J., Bartroli J.*: Benefits of carbon dioxide as pH reducer in chlorinated indoor swimming pools. *Chemosphere*, 2010; 80: 428-432. – 28. *Szczygłowska R., Chyc M., Burzala*

B., Kołwzan B.: Ocena jakości bakteriologicznej i fizyczno-chemicznej wody basenowej w wybranym krytym obiekcie rekreacyjnym. *Ochr. Środ.*, 2012, 34(4): 51-56. – 29. *Czajka K., Sziwa D., Latour T., Adamczewska M.*: Badania zawartości trihalometanów w solance uzdrowiskowego basenu leczniczego i powietrza hali basenowej. *Roczn. PZH*, 2003; 54(1): 109-117. – 30. *Kłosok-Bazan I., Wzorek M. Bożym M.*: Projekt Politechniki Opolskiej pt. „Identyfikacja THM i THE w wodach basenowych województwa opolskiego.” dofinansowanego z Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Opolu w 2015 roku (nr 4/2015/G-41/BN-PO/D).

Adres: 45-271 Opole, ul. Mikołajczyka 5