

Jakość powietrza w obiektach basenowych w świetle występowania lotnych DBP

Air quality in swimming pool facilities in consideration of the occurrence of volatile DBPs

MAGDALENA ŻAK, EDYTA MELANIUK-WOLNY

DOI 10.36119/15.2023.1.4

W wodach basenowych identyfikuje się liczne uboczne produkty dezynfekcji wody (DBP). Część z nich ze względu na dużą lotność (trihalometany, chloraminy), jest przenoszona z wody do powietrza i przy szeroko opisywanej szkodliwości, może stanowić poważne zagrożenie zdrowotne, związane z narażeniem inhalacyjnym na te związki dla osób przebywających w obiektach basenowych. O istniejącym zagrożeniu decydować będzie w znacznej mierze stężenie tych związków w powietrzu, czas narażenia i aktywność osób. Stężenia będą determinowane licznymi czynnikami użytkowania obiektów, w tym zastosowanym systemem wentylacji. Z uwagi na liczne doniesienia dotyczące złej jakości powietrza w wielu obiektach, w artykule dokonano szerokiego przeglądu literatury nt. występujących poziomów stężeń lotnych DBP (trihalometany i chloraminy) w powietrzu nad basenami oraz w innych pomieszczeniach na terenie obiektów basenowych. Zaprezentowano też stan prawny dotyczący wymogów prowadzenia pomiarów lotnych DBP i norm stężeń trihalometanów i chloramin w powietrzu. Przybliżono również tematykę dotyczącą znaczenia wentylacji i stosowanych rozwiązań w tym zakresie mających wpływ na kształtowanie jakości powietrza w tego typu obiektach.

Słowa kluczowe: baseny, lotne DBP, trihalometany, chloraminy, powietrze wewnętrzne, stężenia, wentylacja

Numerous by-products of water disinfection (DBPs) are identified in pool waters. Some of them, due to their high volatility (trihalomethanes, chloramines), are transferred from water to air and, with their widely reported harmfulness, can pose serious health risks associated with inhalation exposure to these compounds for people staying in pool facilities. The existing risk will be largely determined by the concentration of these compounds in the air, the duration of exposure and the activity of people. Concentrations will be determined by numerous factors of facility use, including the ventilation system used. Due to numerous reports of poor air quality in many facilities, this article conducts a broad review of the literature on the occurring levels of volatile DBPs (trihalomethanes and chloramines) concentrations in the air above swimming pools and in other rooms within swimming pool facilities. The legal status of the requirements for conducting measurements of volatile DBP and standards for the concentration of trihalomethanes and chloramines in the air was also presented. The importance of ventilation and the solutions used in this type of area affecting the air quality was also described.

Keywords: swimming pools, volatile DBP, trihalomethanes, chloramines, indoor air, concentrations, ventilation

Wstęp

Pływanie w basenach to popularna i przynosząca wiele korzyści zdrowotnych aktywność fizyczna. Jednak zdrowie użytkowników basenów może być zagrożone z uwagi na stosowane metody dezynfekcji wody basenowej prowadzące do powstawania ubocznych produktów dezynfekcji (ang. Disinfection By-Products; DBPs). Należą do nich liczne grupy związków, wśród których wymienić można przykładowo: trihalometany, kwasy haloctowe, halokwasy, haloacetonitryle, halonitrometany, haloacetaldehydy, halo ketony oraz cały szereg innych halogenowych i niehalogenowych

DBP [1-4]. Obecność tych związków w wodzie basenowej związana jest z powszechnie stosowanymi metodami dezynfekcji wody. W wyniku procesu dezynfekcji z wykorzystaniem związków chloru powstają uboczne produkty będące związkami chloro-, bromo- i chlorobromoorganicznymi. Do ich powstawania dochodzi w obecności określonych związków, jak np. naturalna materia organiczna (NOM), zawartych w wodzie wodociągowej wykorzystywanej do napełniania niefekcyjnych basenów, ale także licznych prekursorów DBP, które wprowadzane są do wody basenowej przez osoby korzystające z basenów (wydzieliny oraz produkty higieny,

pielęgnacji, czystości, farmaceutyki, detergenty, filtry przeciwsłoneczne UV, środki zapachowe) [5-11].

Badania DBP w wodach basenowych skupiają się głównie na trzech grupach związków identyfikowanych w wodzie w największych ilościach: trihalometanach, kwasach haloctowych oraz chloraminach [12]. Należą one do ilościowo najliczniej występujących w wodach, natomiast trihalometany (THM) i chloraminy (CAM) występują również powszechnie w powietrzu hal basenowych. Związki te cechuje bowiem duża lotność i hydrofobowość, przez co łatwo odparowują z wody i w dużym stopniu przenikają do powietrza [13,14].

dr inż. Magdalena Żak <https://orcid.org/0000-0001-6906-1301>, dr inż. Edyta Melaniuk-Wolny <https://orcid.org/0000-0001-9131-9532> – Katedra Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska, Centrum Nowych Technologii, Gliwice. Adres do korespondencji/Corresponding author: magdalena.zak@polsl.pl

Obecność DBP w wodzie basenowej stanowi zagrożenie dla zdrowia przede wszystkim pływaków, pracowników basenów, jak również osób niepływających a przebywających w obiektach basenowych. DBP mogą dostawać się do ich organizmów trzema drogami: pokarmową, inhalacyjną i przez skórą. Badania wykazywały, że w ekspozycji na lotne DBP, w tym THM i CAM, podczas przebywania w basenach, dominującą drogą narażenia jest inhalacja i droga przek skórna [15-21].

Trihalometany (THM) są organicznymi fluorowcopochodnymi metanu (CHX_3), zawierającymi jeden atom węgla oraz trzy podstawione w miejsce atomów wodoru atomy z grupy fluorowców, takie jak: chlor, brom, fluor lub jod. THM stanowią najliczniejszą grupę związków zaliczanych do DBP. Są to związki niepolarne o niskiej rozpuszczalności w wodzie i wysokiej prężności par, co czyni je lotnymi zanieczyszczeniami, które łatwo przenikają z wody do powietrza. W badaniach jakości powietrza bierze się pod uwagę 4 z nich: chloroform (CHCl_3), bromodichlorometan (CHCl_2Br), chlorodibromometan (CHBr_2Cl) i bromoform (CHBr_3). Wspomniane trihalometany są wymieniane przez WHO (agenda IARC) oraz US EPA (agenda IRIS) jako czynniki rakotwórcze o prawdopodobnej lub możliwej rakotwórczości dla ludzi [22-26]. Obliczane dla tych związków przez autorów niektórych opracowań [15,17,18] ryzyka nowotworowe (CR) dla narażenia inhalacyjnego, będące miarą prawdopodobieństwa zachorowania na nowotwór przy założeniu narażenia na daną substancję w ciągu życia wskazują na częste przekraczanie akceptowalnego poziomu 10^{-6} , zalecanego przez EPA, oznaczającego możliwość zachorowania na nowotwór 1 z miliona osób eksponowanych na dane zanieczyszczenie w ciągu życia [27]. W niektórych badaniach uzyskane wartości CR były nawet trzy rzędy wielkości większe niż poziom akceptowalny [18]. Zgodnie z zaleceniami EPA wartości ryzyka nowotworowego większe niż 10^{-6} są niedopuszczalne ze względu na nieakceptowane wysokie ryzyko zachorowania na nowotwór w populacji ogólnej. Najczęstszymi rodzajami nowotworów przy ekspozycji na THM są nowotwory pęcherza moczowego, okrężnicy i odbytnicy [16,28-32]. Badania wskazują również na wpływ THM na zdrowie reprodukcyjne (bezpłodność, poronienia, wady wrodzone płodu) [33-36], działanie immunosupresyjne prowadzące do obniżenia odporności [37] i powodowanie zachowań podobnych do autyzmu [38]. Wybrane trihalometany, jak bromodichlorometan, chlorodibromometan czy bromoform wykazują

działanie hepatotoksyczne, nefrotoksyczne i kardiotoxyczne. Działanie mutagenne THM jest niezbyt silne i dotyczy głównie bromowych pochodnych trihalometanów (Br-THM) [39,40].

Chloraminy (CAM) należą do grupy ubocznych produktów dezynfekcji zawierających azot (N-DBP). Ich obecność w wodzie związana jest z wprowadzanymi do wody przez użytkowników basenów

Tabela 1. Stężenia trihalometanów i chloramin w powietrzu [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (wartość średnia $\pm$ SD, zakres)
Table 1. Trihalomethanes and chloramines air concentrations [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (mean $\pm$ SD value, range)

Badanie	THM	CHCl_3	CHCl_2Br	CHBr_2Cl	CHBr_3	CAM	NCl_3
Aggazzotti, 1995 [50]		139 $\pm$ 24,6 92-208					
Aggazzotti, 1998 [51]		170 $\pm$ 27 140-200	20 $\pm$ 4,4 16-24	11 $\pm$ 2 9-14	0,2		
Fantuzzi, 2001 [52]		46 $\pm$ 19	8,7 $\pm$ 5,1	3,1 $\pm$ 2,3	0,8		
Caro, 2008 [53]		220 92-340	8 4,3-12,1	1			
Laurencetti, 2012 [21]	72	32 $\pm$ 12 18-61	15 $\pm$ 4,3 5,7-23	14 $\pm$ 4 6,4-22	11 $\pm$ 4,3 5,9-22		
Jacobs, 2007 [54]							570 $\pm$ 240 140-1270
Fantuzzi, 2013 [45]							650 $\pm$ 200 200-1020
Manasfi, 2017 [39]	145,6 $\pm$ 117 25,3-260,8		12,4 $\pm$ 8,6 3,6-20,7	133,2 $\pm$ 109 21,7-240,1			
Apra, 2010 [55]		68 $\pm$ 35 18-139	16 $\pm$ 10 1-27	8 $\pm$ 6 1-17			
Catto, 2012 [2]	130,3 $\pm$ 49, 47-311	128 $\pm$ 48,5 46,4-306,7	1,55 $\pm$ 0,7 <g.o.-4,3			220 $\pm$ 68 110-350	
Catto, 2012 [2]	90,2 $\pm$ 33,1 33,7-189,3	89,1 $\pm$ 32,8 33,6-177,7	1,1 $\pm$ 0,5 <g.o.-2,6			139 $\pm$ 42 80-201	
Tardif, 2016 [13]	191,3 58,1-552,2	119,4 20,3-320,4	31 1,3-154,6	27 <g.o.-205	13,9 <g.o.-103	230 <g.o.-560	
Silva, 2012 [56]		45-373					
Fantuzzi, 2010 [57]	81,1 $\pm$ 45,5						
Richardson, 2010 [58]	72,1 $\pm$ 20,7 44-125	32,1 $\pm$ 11,9 11,9-61,6	14,9 $\pm$ 4,5 7,5-23,4	14 $\pm$ 4,2 6,1-26,2	11 $\pm$ 4,6 4,4-22,6	290 $\pm$ 100 170-430	
Bessonneau, 2011 [59]	74,9 $\pm$ 6,7 1,45-793						190 $\pm$ 10 20-1260
Parrat, 2012 [60]							114 $\pm$ 43 <g.o.-520
Chen, 2012 [61]							440 <g.o.-660
Chen, 2012 [61]							800 <g.o.-1060
Font-Ribera, 2010 [62]	74,1 $\pm$ 23, 44-124,9	35,0 $\pm$ 12,3 19,5-61,6	13,2 $\pm$ 4,3 6,0-26,2	13,2 $\pm$ 4,3 6,0-26,2	11,2 $\pm$ 5,2 4,4-22,6		
Thiriat, 2009 [63]		42,8 17-8,1	1,5-2,8	1-1,3	0,5-0,6		
Nitter, 2018 [64]	122,4-528,1						
Marco, 2015 [19]	68 $\pm$ 14,5 47-104	31 $\pm$ 7 19,5-48	14,3 $\pm$ 3,9 9,5-23	13 $\pm$ 3,8 10,2-26	9,4 $\pm$ 3,7 4,4-22		
Marco, 2015 [19]	70 $\pm$ 10 52-87	27 $\pm$ 8,4 12-36	16 $\pm$ 2,5 14-24	16 $\pm$ 2,9 14-23	12 $\pm$ 2,6 8,3-16		
Marco, 2015 ^{a)} [19]	76 $\pm$ 14 63-92	3 $\pm$ 1,5 1,7-4,8	2,3 $\pm$ 0,4 1,7-2,8	6,5 $\pm$ 0,4 6-7,7	64 $\pm$ 12 53-77		
Richardson, 2010 ^{a)} [58]	89,5 $\pm$ 21,9 63,1-124,7	4,4 $\pm$ 2,3 1,2-9,4	2,9 $\pm$ 1,0 1,7-4,8	7,3 $\pm$ 1,3 6,1-9,7	74,9 $\pm$ 17,6 53,1-101,4		80 $\pm$ 10 70-100
Laurencetti, 2012 ^{a)} [21]		4,5 $\pm$ 2,5 1,8-6,9	3,0 $\pm$ 1,1 1,9-4,2	7,3 $\pm$ 1,2 6,4-8,7	75 $\pm$ 19 55-92		
Chowdhury, 2015 ^{a)} [15]		5,34 1,73-9,12	7,14 2,2-12,7	6,6 3,2-9,98	72,5 29,5-112,7		
Manasfi, 2017 ^{a)} [39]	145,6 $\pm$ 117 25,3-260,8		12,4 $\pm$ 8,6 3,6-20,7	133,2 $\pm$ 109 21,7-240,1			
Carter, 2018 [65]		28-368	31-174	0,8-8,5	3,4-36		
Westerlund, 2015 [66]		54 0,13-220	5,5 0,08-21	1,4 <0,04-14	0,17 <0,03-3,6		170 <1-640
Westerlund, 2019 [67]							23 1-140
Chen, 2016 [68]		41,4 $\pm$ 27,0 13-182					
Lee, 2022 [69]							<1800
Czajka, 2003 ^{a)} [70]	6,36-16,32	2,3-6,7	0,3-0,4	1,7-1,8	5,4-12,4		
Słonieć, 2003 [71]	13,85-217	9,64-119,6	1,19-54,47	0-27	0-18,2		

wydzielinami, takimi jak: pot, moczu, sebum, cząstki skóry [6,7], zawierającymi azot (mocznik, kreatynina, amoniak, aminokwasy, kwas moczowy) [3,42]. W grupie chloramin szczególnie znaczenie mają: monochloramina (NH_2Cl), dichloramina (NHCl_2) i trichloramina (NCl_3) identyfikowane w znaczących ilościach w powietrzu wewnętrznym hal basenowych. Szczególnie łatwo uwalniana z wody do powietrza jest trichloramina ze względu na bardzo dużą lotność (największą spośród chloramin) i względnie niską rozpuszczalność [43]. Stąd też odnotowuje się wyższe jej stężenia w powietrzu niż monochloraminy i dichloraminy, które występują raczej w postaci aerozolu a nie w formie gazowej [43,44]. Spośród chloramin jedynie monochloroamina jest zaliczona do grupy substancji niemożliwych do zaklasyfikowania jako rakotwórcze dla człowieka (WHO (IARC): 3; EPA (IRIS): D), co nie jest jednoznaczne ze stwierdzeniem, że nie jest ona rakotwórcza [22]. Pozostałe chloraminy nie są brane pod uwagę w opracowaniach dotyczących rakotwórczości. Oddziaływanie chloramin na organizm dotyczy głównie układu oddechowego i błon śluzowych oczu i nosa. Do najczęstszych dolegliwości związanych z narażeniem na trichloroaminę należą: podrażnienie układu oddechowego, nadreaktywność dróg oddechowych, oddziaływanie prowadzące do rozwoju i zaostrzania astmy i nasilania objawów alergicznych, infekcje dolnych dróg oddechowych, nadciśnienie oskrzelowe świszczący oddech, kaszel, podrażnienie oczu. Wskazuje się na korelacje tych objawów z frekwencją w basenach [45-48].

Szczegółowy przegląd stanu wiedzy na temat przyczyn powstawania, właściwości, szkodliwego działania i narażenia różnych grup osób na lotne związki z grupy DBP przedstawiono w artykule [49].

Normy stężeń trihalometanów i chloramin w powietrzu obiektów basenowych

Pomimo, że wiele opracowań naukowych wskazuje, że problem złej jakości powietrza wewnętrznego występuje w większości poddanych ocenie obiektów basenowych, przepisy prawne nie narzucają obowiązku pomiarów i oceny jakości powietrza wewnętrznego pod kątem występowania w nim lotnych DBP, głównie z uwagi na wysokie koszty badań i brak standardowych procedur pomiarowych.

Co więcej, o ile w wielu krajach Europy i Ameryki Północnej od lat funkcjonuje prawodawstwo dotyczące jakości wód na basenach [81], z uwzględnieniem zawar-

tości sumy THM lub wybranych THM w wodzie (w Polsce takie rozporządzenie weszło w życie z końcem 2015r. [82]), o tyle brakuje przepisów prawnych dotyczących jakości powietrza w środowisku obiektów basenowych.

Obecnie żadne międzynarodowe ani krajowe standardy nie określają dopuszczalnych stężeń trihalometanów w powietrzu krytych basenów, czy nawet nie zalecają ich dopuszczalnych wartości. Dla dokonywania ewentualnych ocen jakości powietrza można, za Autorami pozycji [68], przyjąć wykorzystywanie klasyfikacji proponowanej przez Silva i in. [56] przedstawionej w tabeli 2.

Tabela 2. Klasyfikacja narażeń i odpowiadających im stężeń THM w powietrzu obiektów basenowych

Table 2. Classification of exposures and corresponding THM concentrations in the air of swimming pool facilities

Narażenie	Niskie	Umiarkowane	Wysokie
Stężenie [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	< 36	36 – 136	> 136

Wartości normatywne dla powietrza nie są również określone w odniesieniu do chloramin a WHO dla trichloraminy zaleca jedynie dotrzymania stężenia na poziomie $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Natomiast wyniki prowadzonych badań oddziaływania zdrowotnego trichloraminy wskazują na konieczność obniżenia zalecanego stężenia do poziomu $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [83], $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [84], $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla krótkotrwałych, powtarzających się ekspozycji na trichloraminę [60,85-89], lub nawet $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [90]. Drażniące oddziaływanie TCA prowadzące do zaburzeń oddychania stwierdzono już przy stężeniach ok. $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [91]. Różnice w proponowanych poziomach zalecanych stężeń mogą być związane ze sposobem wykonywania pomiarów narażenia w celu określania zależności stężenie – skutek zdrowotny. Badanie [67] wskazało bowiem, że często stężenia uzyskiwane w pomiarach prowadzonych stacjonarnie są wyższe niż w badaniach osobistych (nawet prawie 10-krotnie), na co należałoby zwrócić uwagę przy określaniu normatywnych wartości stężeń.

Stężenia lotnych DBP w powietrzu hal basenowych

Wyniki badań stężeń trihalometanów (THM) i chloramin (CAM) w wodach basenowych ze względu na łatwość poborów próbek i ich oznaczeń analitycznych są dostępne w bardzo licznych publikacjach. Natomiast liczba opracowań prezentujących dane dotyczące poziomów stężeń

THM i CAM w powietrzu obiektów basenowych jest dużo bardziej ograniczona. W tabeli 1 zaprezentowano średnie stężenia poszczególnych THM i ich sumy oraz stężenia CAM, w tym trichloraminy, jak również wartości minimalnych i maksymalnych stężeń zaczerpnięte z literatury w oparciu o dokonany przez autora tego opracowania przegląd 29 badań dotyczących stężeń THM i 14 badań dotyczących stężeń CAM w powietrzu obiektów basenowych.

Duże zróżnicowanie wyników badań (tabela 1) może wynikać ze specyficznych dla każdego obiektu warunków panujących w tych obiektach dotyczących ich sposobu użytkowania oraz zastosowanych metod pomiarowych i warunków prowadzenia pomiarów. Na obecność i ilość związków mierzonych w powietrzu konkretnych obiektów basenowych ma wpływ duża liczba czynników, takich jak: rodzaj i dawka środka dezynfekującego związana z liczbą pływających osób, rodzaj ich aktywności i czas przebywania w basenie, stężenie lotnych DBP w wodzie, temperatura i pH wody, powierzchnia lustra wody, całkowita objętość powietrza w hali basenowej, system wentylacji budynku, turbulencje wody wymuszanej przez pływających, obecność ruchomych elementów wodnych, takich jak: fontanny, zjeżdżalnie wodne, gejzery, bicze wodne, kaskady [72,73].

Niektóre z zaprezentowanych w tabeli 1 stężeń, jako stężenia średnie dla całości prowadzonych badań obejmujących nawet kilkadziesiąt obiektów, nie oddają do końca sytuacji panującej w obiektach. Przykładowo, podana przez Fantuzziego i in. [45] wartość średnia stężenia trichloraminy, wynosząca $650 \mu\text{g}/\text{m}^3$, została uśredniona dla 20 obiektów, spośród których w 4 odnotowano stężenia niższe niż $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, w 4 stężenia w zakresie $500-600 \mu\text{g}/\text{m}^3$, w 3 stężenia między 500 a $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$, w 3 kolejnych stężenia w zakresie $600-800 \mu\text{g}/\text{m}^3$, zaś w 6 stężenia przekraczające $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Wyniki pokazują, że dla basenów z dezynfekcją związkami chloru, wśród mierzonych w powietrzu THM najwyższe stężenia odnotowuje się dla chloroformu, który jako związek o największej lotności spośród mierzonych THM w znacznej mierze przechodzi z fazy ciekłej (wody) do powietrza. Dla basenów z wodą zawierającą bromki lub poddawanych dezynfekcji związkami bromu najwyższe stężenia odnotowywane są dla bromoformu oraz chlorodibromometanu, gdyż brom jest bardziej reaktywny i skuteczniej reaguje ze związkami organicznymi [70].

W odniesieniu do chloroformu stwierdza się także znaczące jego udziały w sumie mierzonych w powietrzu THM. Przykładowe wartości udziałów poszczególnych THM dla basenów z chlorowaniem wody zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Udział poszczególnych trihalometanów [%] w sumie trihalometanów w powietrzu
Table 3. Share of individual trihalomethanes [%] in total trihalomethanes in air

Badanie	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	CHBr ₃
Silva, 2012 [56]	100	n.o	n.o	n.o
Śloniewicz, 2003 ^{a)} [71]	94,9	3,6	0,4	1,1
Bessonneau, 2011 [59]	88	9	2	1
Westerlund, 2015 [66]	88,4	9,0	2,3	0,3
Śloniewicz, 2003 ^{b)} [71]	70	20	8	2
Louncetti, 2012 [21]	59	18	14	9

^{a)} basen 10

^{b)} basen 8

Dla chloroformu obserwowane jest także wyraźne zwiększanie jego udziału w sumie mierzonych THM w powietrzu w stosunku do udziału w sumie THM występujących w wodzie dla basenów z dezynfekowanych chlorem, przy jednoczesnym obniżeniu udziałów innych THM (rysunek 1a), co może być wyjaśnione większą lotnością chloroformu w porównaniu z pozostałymi THM [21].

Natomiast dla basenów z wodą morską/solankową lub poddawaną procesowi bromowania, w powietrzu w największym udziale występuje bromowodor. Potwierdzeniem mogą być wyniki badań [70] dotyczące polskich basenów leczniczych z wodą solankową bromowo-jodową, dla których stwierdzono najwyższe stężenie

i udział bromoformu wśród badanych THM. Było to związane z bardzo dużą zawartością bromoformu w wodzie (82-87%) oraz z występowaniem ponadnormatywnych stężeń wolnego chloru w wodzie (4-krotnie wyższe niż dopuszczalne), co

prowadziło do powstawania dodatkowych, dużych ilości bromopochodnych metanu (Br-THM) w wodzie i przenoszenia ich do powietrza. Udział bromoformu w powietrzu był niższy niż w wodzie solankowej (rysunek 1b). Drugim w kolejności co do udziału związkiem identyfikowanym w powietrzu był chloroform, którego udział w powietrzu wzrósł ponad 5-krotnie w stosunku do udziału w wodzie, gdzie udział ten był stosunkowo niewielki. Związane jest to z większą lotnością chloroformu i łatwiejszym jego przenoszeniem do powietrza niż bromoformu. Sumaryczne stężenia THM w tym obiekcie były stosunkowo niskie w porównaniu z innymi zaprezentowanymi w tabeli 1 danymi prawdopodobnie ze względu na dużo mniejszą aktywność osób przebywających w basenie leczniczym niż osób w basenach sportowych lub rekreacyjnych (mniejszy rozbryzg wody). Podobną zależność tj. niższych stężeń, tym razem trichloraminy, w basenach rehabilitacyjnych niż rekreacyjnych prezentuje Westerlund i in. [66] uzyskując prawie 8-krotnie niższe stężenia trichloraminy w basenie rehabilitacyjnym (mniejsza aktywność, mniejsze wydzielanie potu itp.).

Tematyka poziomów stężeń THM w powietrzu obiektów basenowych w Polsce jest słabo rozpoznana. W tabeli 1 przywołano wyniki dwóch polskich badań. Wspomniane badanie Czajki i in. [70] dotyczące uzdrowskiego basenu leczniczego, solankowego zwróciło uwagę na istotny problem dotyczący obiektu leczniczego jakim jest zminimalizowanie zagrożeń związanych z procesem dezynfekcji wody chlorem, zwłaszcza w przypadku solanek bromkowo-jodkowych, wykorzystywanych w takich obiektach, dla których możliwość tworzenia się THM, a zwłaszcza Br-THM jest znacznie większa niż dla basenów słodkowodnych. Dla obiektów

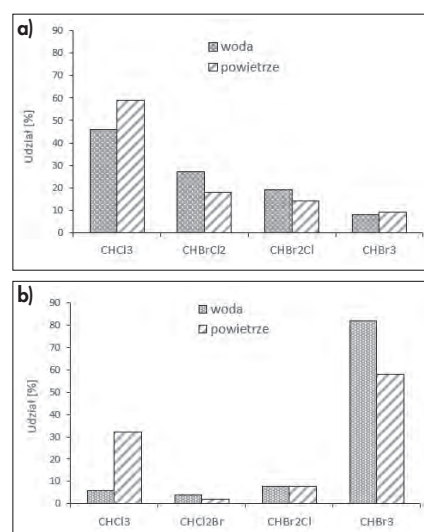
leczniczych należy zwrócić szczególną uwagę na jakość wody i powietrza, gdyż w miejscach tych przebywają głównie osoby z licznymi schorzeniami, często przewlekłymi, osłabione, czasami po przebytych niedawno chorobach, zatem ich organizmy są bardziej wrażliwe na podniesione poziomy zanieczyszczeń.

Drugie polskie badanie przeprowadzone przez Śloniewicz i in. [11] było bardziej obszerne, dotyczyło 10 hal basenowych z basenami pływackimi i/lub rekreacyjnymi zasilanymi wodą wodociągową. Obecność lotnych THM stwierdzono w powietrzu wszystkich obiektów objętych badaniami a w najwyższych stężeniach występowały chloropochodne metanu, głównie chloroform (w 7 z 10 basenów), w mniejszym stopniu bromodichlorometan, który w jednym obiekcie występował w stężeniach zbliżonych do chloroformu. W dwóch obiektach dominującym w powietrzu THM był chlorodibromometan. Autorzy publikacji nie przeanalizowali uzyskanych wyników bardziej szczegółowo, jak również nie przedstawili surowych wyników badań i szczegółowej charakterystyki obiektów, co uniemożliwia pogłębienie analizy wyników.

Duże różnice w zakresach stężeń mierzonych w powietrzu (tabela 1) mogą wynikać także z zastosowania różnych metod badań oraz warunków poboru prób powietrza, np. różnych wysokości nad niecką basenową, na których były pobierane próbki. Stężenia prezentowane w tabeli 1 były wyznaczane na różnych wysokościach między 0,05 a 1,5m nad niecką basenową (wysokość poboru próby nie zawsze była określana). W badaniu [64] stwierdzono natomiast, że stężenia zmieniają się wyraźnie w funkcji wysokości nad taflą wody oraz odległością od osi/krawędzi niecki. W tabeli 3 opublikowano wyniki kilku badań prezentujących wpływ wysokości poboru próbki powietrza na mierzone stężenia THM.

Wyniki zawarte w publikacji [64] wskazują na bardzo widoczną tendencję zmian stężeń ze zmianą wysokości pobierania próbek nad lustrem wody. Stężenia mierzone na wys. 0,6m nad lustrem wody są od 8 do 40% niższe niż mierzone na wysokości 0,05m. Dużo mniejsza tendencja spadkowa występuje w pomiarach na wysokości 0,6m i 1,5m. Niektórzy autorzy nie stwierdzili natomiast różnic stężeń w badaniach profili pionowych stężeń nad powierzchnią wody [20,75].

W prawodawstwie nie funkcjonują przepisy/normy określające metodykę poboru i późniejszych oznaczeń ilościowych próbek powietrza w halach basenowych,



Rysunek 1.
Udziały poszczególnych trihalometanów w stężeniu tej grupy związków w wodzie i powietrzu [%] [21,71]: (a) woda chlorowana, (b) woda chlorowana uzdrowska (solanka bromkowo-jodkowa)
Figure 1. Shares of individual trihalomethanes in the concentration of this group of compounds in water and air [%] [21,71]: (a) chlorinated water, (b) chlorinated health resort water (bromide-iodine brine)

Tabela 4. Stężenia trihalometanów i chloramin w powietrzu na różnych wysokościach względem powierzchni wody [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Table 4. Concentrations of trihalomethanes and chloramines in air at different heights relative to the water surface [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Badanie	Wysokość [m]						Zmiana [%]	Związek
	0,05	0,2	0,3	0,6	1,3	1,5		
Apréa, 2010 [55]		93,6				61,6	-34	THM
Nitter, 2018 [64]	230,9			139,5		134,9	-40 ^{a)} -3,3 ^{b)}	
Nitter, 2018 [64]	141,9			129,3		129,1	-8 ^{a)} -0,2 ^{b)}	
Nitter, 2018 [64]	606			492,5		485	-19 ^{a)} -1,5 ^{b)}	
Nitter, 2018 [64]	397,3			338,4		342,9	-14 ^{a)} 1,3 ^{b)}	
Jacobs, 2007 [54]			560			570	2	CAM
Parrat, 2012 [60]				230	260		11	NCl ₃

^{a)} zmiana 0,05 na 0,6m

^{b)} zmiana 0,6 na 1,5m

w tym lokalizacji punktów pomiarowych, ani co do wysokości, ani odległości od osi basenu. Z zaprezentowanych w tabeli 3 danych widać jednak, jak duże znaczenie ma umiejscowienie punktu poboru próbki w szacowaniu narażenia zdrowotnego. Przy badaniu narażenia osób pływających stężenia powinny być mierzone bezpośrednio nad powierzchnią wody, czyli w strefie oddychania pływaków. Przy wysokich stężeniach związków w powietrzu w tej strefie, wysoka aktywność osób pływających pociągająca za sobą wysoką wentylację płucną będzie wpływać na występowanie dużego zagrożenia zdrowotnego. Natomiast dla szacowania narażenia osoby przebywającej przy basenie próbki powinny być pobierane w jego strefie oddychania, czyli na wysokości ok. 1,5m.

Ciekawych wniosków dostarczają badania jakości powietrza prowadzone w sposób ciągły. Wyniki ciągłego monitoringu powietrza w hali basenowej pod kątem stężeń chloroformu prowadzonego w ramach badań [68] wykazały regularne wahania stężenia chloroformu w powietrzu. W ciągu każdego dnia obserwowano dwa piki stężenia chloroformu (ok. godz. 8.00 i 17.30), których występowanie było silnie skorelowane z liczbą osób pływających w basenie. Dane z monitoringu wykazały, że stężenia chloroformu w powietrzu w dzień i w nocy znacznie się różniły. Monitoring parametrów środowiskowych i aktywności pływaków wykazał, że liczba pływaków była jednym z najważniejszych czynników wpływających na stężenie chloroformu w powietrzu. Wraz ze wzrostem liczby pływaków stwierdzano wzrost stężenia chloroformu. Gdy liczba pływaków przekraczała 40 osób stężenie chloroformu było średnio 4,4 razy większe niż stężenie mierzone przy braku osób pływających. W świetle uzyskanych wyników można

sugerować, aby osoby regularnie pływające, dla zmniejszenia ryzyka zdrowotnego wynikającego z narażenia na wysokie stężenia chloroformu i innych DBP, unikały okresów, w których liczba czynnych pływaków w obiekcie jest wysoka. Na dobową zmienność stężeń trichloraminy w krytych basenach wskazuje także badanie przeprowadzone przez Weng i in. [75], w którym wykazano, że najwyższe jej stężenia występowały w godzinach 16:00-22:00, co także silnie korelowało z liczbą pływaków. Innymi badaniami potwierdzającymi, że liczba osób pływających i ich rodzaj aktywności jest jednym z najistotniejszych czynników warunkujących stężenia lotnych DBP w powietrzu jest badanie Chu i Nieuwenhuijsena [72] oraz

badanie przeprowadzone przez Kristense i in. [76] wskazujące, że wzrost liczby osób pływających intensyfikuje zaburzenia powierzchni wody poprzez uderzanie w jej powierzchnię, co ułatwia ulatnianie się lotnych THM z wody do powietrza i powoduje wzrost ich stężeń w powietrzu.

Za stężenia chloroformu w powietrzu hal basenowych mogą odpowiadać także osoby niepływające. Wyniki badania [74] pozwoliły oszacować, że osoby te wpływały w ok. 10% na stężenia chloroformu w powietrzu. Przemieszczające się w obiekcie osoby niepływające wywołują bowiem turbulencje powietrza, przez co wzrasta intensywność ulatniania chloroformu z wody do powietrza oraz zwiększa się jego propagacja w powietrzu przyczyniając się do wzrostu stężeń lotnych DBP w powietrzu wokół niecek basenowych, na widowni i w innych pomieszczeniach [74].

Jak wspomniano wcześniej, w powietrzu identyfikowane są, również inne niż THM i CAM, nieletnie zanieczyszczenia występujące w powietrzu w postaci aerozolu, jak np. kwasy haloctowe (HAA) [77]. W badaniu [77] zmierzono sumaryczne stężenia czterech HAA w powietrzu (kwasy: monobromooctowy, monochlorooctowy, dichlorooctowy i trichlorooctowy) i stwierdzono ich występowanie na poziomie 5-64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W szeroko dostępnej literaturze brak jest większej liczby doniesień nt. stężeń tych związków w powietrzu, natomiast są one powszechnie oznaczane w wodzie.

Tabela 5. Stężenia trihalometanów i chloramin w powietrzu [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w różnych pomieszczeniach obiektów basenowych

Table 5. Concentrations of trihalomethanes and chloramines in air [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] in different spaces of swimming pool facilities

Badanie	Pomieszczenie	THM	CHCl ₃	NCl ₃
Fantuzzi, 2010 [57]	basen	81		
	recepcja	30		
	kawiarnia	34		
Apréa, 2010 [55]	basen		85	
	korytarze		34	
	przebieralnie, biura		11	
Westerlund, 2015 [66]	basen			170
	recepcja			7
	biuro (piwnica)			24
Fantuzzi, 2001 [52]	basen	58		
	recepcja	26		
	maszynownia	25		
Catto, 2012 [2]	basen	90		
	przebieralnia	66		
	pomieszczenie ratownika	59		
	pokój administracyjny	27		
	pokój techniczny	62		
Catto, 2012 [2]	basen	130		
	przebieralnia	15		
	pomieszczenie ratownika	13		
	pokój techniczny	46		
	widownia	90		

Stężenia lotnych DBP w innych pomieszczeniach obiektów basenowych

Czynnikiem wpływającym na mierzone poziomy stężeń jest nie tylko wysokość pobierania próbki, ale także odległość od osi/krawędzi niecki. Badania poziomych profili stężeń są istotne przy określaniu skutków zdrowotnych w odniesieniu do pracowników basenów oraz osób niepełnowydających, bowiem lotne DBP mają zdolność propagacji w powietrzu na znacznie odległości. Jest to widoczne w zestawieniu stężeń THM i CAM mierzonych w różnych pomieszczeniach obiektów basenowych (tabela 4), z którego wynika, że we wszystkich innych pomieszczeniach także stwierdzana jest obecność THM i CAM.

Porównanie wyników wskazuje, że stężenia mierzone w powietrzu pomieszczeń są znacznie niższe niż w powietrzu nad niecką basenu, jednak jednocześnie wysokie w odniesieniu do typowych poziomów THM w pomieszczeniach gospodarstw domowych stwierdzonych przez Nuckols i in. [78], wynoszących 0,8-10 µg/m³ dla poszczególnych THM i 4-19 µg/m³ dla sumy THM, jak również porównywalne w górnych granicach przedziałów (poza kąpielą/prysznicem) z poziomami stężeń THM mierzonymi przy wykonywaniu codziennych czynności z korzystaniem z wody podczas prac domowych (zmywanie naczyń, pranie) lub czynności higienicznych (mycie rąk) zestawionych w tabeli 6. Czynności te są wskazywane jako potencjalnie znaczące czynniki codziennego narażenia na THM.

Tabela 6. Stężenie THM [µg/m³] w powietrzu pomieszczeń przy wykonywaniu prac domowych
Table 6. THM concentration in the air [µg/m³] in rooms when performing household chores

Czynność	Stężenie [µg/m ³]
zmywanie naczyń	6-23
pranie	2-39
mycie rąk	6-101
kąpiel, prysznic	74-495

Choć stężenia lotnych DBP w basenach i w trakcie wykonywania czynności domowych z udziałem wody są porównywalne, to pracownicy basenów i osoby pływające mogą być bardziej narażone na negatywne skutki działania DBP, gdyż pracownicy spędzają w miejscach pracy więcej czasu w bezpośrednim kontakcie z wodą niż podczas prac domowych, zaś osoby pływające mają bliższy kontakt z wodą oraz większą aktywność przekładającą się na większą objętość wdychanego powietrza. Badania wykazały, że pływacy spędzający w basenie 1 h są narażeni na THM na

poziomie ponad 140 razy wyższym niż podczas 10 minutowej kąpeli pod prysznicem. Panyakapo i in. [79] oszacowali, że dla osoby uczęszczającej na basen i wykonującej codzienne czynności wykorzystujące wodę w gospodarstwie domowym ryzyko zachorowania na nowotwór związane z obecnością w basenie odpowiada w ponad 94% za całkowite ryzyko nowotworowe, zaś publikacja [80] pokazuje, że ryzyko podczas korzystania z basenów jest 4-krotnie wyższe niż przy kontakcie z wodą do picia.

Znaczenie wentylacji obiektu w zapewnieniu odpowiedniej jakości powietrza

Dla ograniczenia narażenia osób pływających i przebywających w obiektach basenowych na lotne DPB obecne w powietrzu konieczne jest zapewnienie właściwego działania systemów uzdatniania wody basenowej, gdyż stwierdzono korelację między zawartością tych związków w wodzie i powietrzu, zapewnienie skutecznej wentylacji hal basenowych oraz prowadzenie edukacji zarządzających obiektami i użytkowników w zakresie higienicznego korzystania z basenu m.in. poprzez mycie pod prysznicem przed wejściem do niecki basenu, mycie ciała mydłem oraz stosowanie czepków kąpielowych. Parametrami wpływającymi na jakość powietrza są także: powierzchnia lustra wody, temperatura wody, jej turbulencje oraz wilgotność względna i temperatura powietrza [92].

Podstawowymi parametrami, w oparciu o które są projektowane układy wentylacyjne hal basenowych są: temperatura wody i powietrza oraz wilgotność powietrza i jego prędkość, które warunkują komfort cieplny użytkowników. W badaniu [93] wskazano, że niewłaściwie zaprojektowana instalacja wentylacyjna powoduje niewłaściwy rozdział powietrza: niektóre strefy hali basenowej mają odpowiednią wymianę powietrza, podczas gdy inne są słabo lub nadmiernie wentylowane, co nie pozwala na utrzymanie komfortowych warunków temperaturowo-wilgotnościowych, nie mówiąc o zapewnieniu odpowiedniej jakości powietrza z uwagi na obecność w nim lotnych DPB [94].

Z punktu widzenia zdrowia publicznego przy projektowaniu układów wentylacyjnych powinno być również brane pod uwagę również kryterium jakości powietrza. Systemy wentylacyjne mają bowiem bezpośredni wpływ na stężenia zanieczyszczeń w atmosferze wewnętrznej hal basenowych, w tym THM i CAM. Należy

tu podkreślić, że zarówno THM, jak i CAM, obecne w wodzie basenowej z uwagi na swoją dużą lotność w łatwy sposób przenikają z wody do powietrza a przy temperaturach panujących w halach basenowych są cięższe od powietrza i mają tendencję do zalegania bezpośrednio nad lustrem wody, zwłaszcza przy niewłaściwym rozdziale powietrza w hali.

Jak wspomniano wcześniej jedną z funkcji prawidłowo działającej wentylacji jest odprowadzenie wilgoci, co ma zapewnić odpowiednio dobraną krotność wymiany powietrza i jego prędkość. Pamiętać jednak należy, że w przypadku THM i CAM, ich duża gęstość i lotność oraz niemieszalność z wodą powodują, że kumulują się one tuż przy powierzchni wody, co utrudnia ich usunięcie za pomocą zwykłych metod cyrkulacji powietrza, właściwych dla odprowadzania wilgoci. Powietrze wilgotne zawierające parę wodną charakteryzuje się bowiem mniejszą gęstością niż powietrze suche, zatem będzie miało tendencję do samostanowienia się nad niecką basenową i dla takich warunków jest projektowana instalacja. Zwykła z tego powodu prędkość przepływu powietrza może być jednak niewystarczająca do uniesienia cięższych cząstek lotnych DBP i ich usunięcia w wymaganym stopniu. Stosując z kolei zbyt dużą prędkość powietrza dla ich uniesienia znad lusta wody zwiększy się szybkość procesu odparowywania lotnych DBP z wody oraz zmniejszy się komfort przebywania pływaków w basenie. Konieczne jest zatem wyśrodkowanie działań.

Baxter [95] sugeruje, że najbardziej rozsądnym podejściem do kwestii poprawy jakości powietrza w krytych basenach jest usunięcie lotnych DBP z warstwy powietrza przylegającej bezpośrednio do powierzchni wody (obszar kontaktowy woda-powietrze), bez wprowadzania ich w przestrzeń obiektu (wychwytywanie i usuwanie u źródła). Autor zaleca system cyrkulacji powietrza w pomieszczeniu zapewniający delikatny ruch powietrza po powierzchni wody w basenie gwarantujący wyprowadzenie lotnych DBP ze strefy oddychania wyciągami zlokalizowanymi na poziomie wody i wprowadzenie w to miejsce świeżego powietrza wentylacyjnego. Bez etapu usuwania związków na poziomie wody lotne DBP muszą zostać najpierw uniesione a potem przemieszczone na wysokości kratek wyciewnych. Im wyżej się one znajdują tym więcej energii jest w tym celu zużywane. W przypadku wyciągu na poziomie wody wystarczy powolne przemieszczanie lotnych DBP po powierzchni wody w kierunku wyciągu. Dzięki strategii wychwytywania

i odprowadzania związków u źródła i dopasowaniu systemu wentylacji (HVAC) do systemu wywiewu lotnych DBP istnieje możliwość zmniejszenia strumienia objętości powietrza nawiewanego do hali basenowej, co pozwoli na oszczędności kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych przy jednoczesnej poprawie skuteczności usuwania lotnych DBP.

Badania układu wentylacji podobnego do układu zaproponowanego przez Baxtera [95], przeprowadzili w basenie modelowym przy użyciu oparów testowych o znanych właściwościach, podobnych do właściwości trichloraminy, Cavestri i Seeger-Clevenger [96] a uzyskane wyniki potwierdziły zadowalającą skuteczność działania proponowanej strategii usuwania lotnych DBP.

Uzupełnienie opisanych w [95] i [96] rozwiązań systemów zaproponowała Piotrowska [97] poprzez zastąpienie wysokiego (20-30cm) brzegu niecki basenowej, sprzyjającego kumulacji zanieczyszczeń nad lustrem wody, przelewem typu fińskiego znajdującym się na wysokości posadzki przy odpowiednim zaprojektowaniu systemu wentylacji. W systemie tym ma miejsce odejście od najczęściej stosowanego systemu wykorzystującego rozdział powietrza dół – góra, zapewniającego dobrą skuteczność ochrony przegród budowlanych przed zawilgoceniem, jednak nie będącego dobrym rozwiązaniem problemu jakości powietrza. Ten typ nawiewu nie zapewnia odpowiednio skutecznej wentylacji stref przebywania ludzi (zbyt mała prędkość powietrza w strefie oddychania osoby pływającej, brak mieszania powietrza w strefie nad lustrem wody z powietrzem świeżym, mały stopień odprowadzania zanieczyszczonego powietrza znad lustra wody). W zamian autorzy proponują zastosowanie układu nawiewu powietrza wentylacyjnego z nawiewem po obu stronach niecki basenowej z wywiewem centralnym przy dodatkowym zapewnieniu dopływu świeżego powietrza do strefy oddychania pływaków poprzez montaż dodatkowych przewodów wywiewnych wzdłuż niecki basenowej (np. wzdłuż kanałów przelewowych). Autorzy wskazują jednak na określone minusy takiego rozwiązania wskazując na możliwość zalania dodatkowego przewodu wywiewnego wodą z basenu oraz trudności w doborze odpowiedniej prędkości zasysanego przez kratkę wywiewną powietrza, która z jednej strony musi zapewnić odpowiednio sprawne usuwanie wilgoci, ale z drugiej strony nie może powodować pojawienia się odczucia przeciągu. Szczegółowe opisy stosowanych na świecie wariantów układów wentylacyjnych oraz roz-

wiązań układów wentylacyjnych w aspekcie redukcji stężeń THM w powietrzu przedstawiono w pracach doktorskich [97,98] oraz publikacji [99].

Zaprojektowanie właściwie działającej instalacji wentylacyjnej krytych basenów nie jest łatwym zadaniem szczególnie, gdy dotyczy obiektów działających w okresach niskich temperatur zewnętrznych. Jak wskazują badania w zimnych okresach roku w obiektach basenowych odnotowuje się wyższe poziomy stężenie DBP w powietrzu ze względu na ograniczanie w tym okresie, ze względów oszczędnościowych, krotności wymian powietrza, co prowadzi do kumulacji zanieczyszczeń w obiektach [59,70].

Przykładowy wpływ liczby wymian powietrza na poziomy stężenie trichloraminy przedstawili autorzy publikacji [100] (tabela 7).

Tabela 7. Wpływ liczby wymian powietrza na stężenia trichloraminy w powietrzu
Table 7. The effect of the air ventilation rate on trichloramine concentrations in the air

Krotność wymian powietrza [wymiana/h]	Stężenie [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
< 1	500
1 do < 2	420
≥ 2	300

Również autorzy publikacji [101] wykazali zasadniczy wpływ liczby wymian oraz udziału świeżego powietrza wentylacyjnego na mierzone poziomy stężenie trichloraminy w powietrzu badanego obiektu (tabela 8).

Tabela 8. Stężenia trichloraminy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w powietrzu basenów krytych dla różnych wariantów basenów i warunków pracy instalacji wentylacyjnej
Table 8. Trichloramine concentrations [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] in the air of swimming pools for different pool variants and ventilation system operating conditions

Rodzaj basenu	Basen (spokojna powierzchnia wody)		Basen (wzburzona powierzchnia wody)		Basen z hydromasażem	
Krotność wymiany powietrza [1/h]	0,5	2	0,5	2	0,5	2
Udział świeżego powietrza wentylacyjnego	30	50	30	50	30	50
Stężenie [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	640	100	2540	380	4540	680

Prezentowane wyniki wskazują, że zwiększona krotność wymiany powietrza oraz zwiększony udział świeżego powietrza wentylacyjnego zapewnia utrzymanie niższych stężeń trichloraminy w powietrzu. Z punktu widzenia zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza w hali basenowej najlepszym rozwiązaniem byłby system wentylacyjny pracujący tylko na powietrzu zewnętrznym (świeżym). Jednak z uwagi na dużą energochłonność takiego rozwiązania jest ono niekorzystne z punktu widzenia ekonomicznego.

Podsumowanie

Trihalometany i chloraminy należące do ubocznych produktów dezynfekcji wody basenowej są związkami o dużej lotności, co powoduje, że w znacznych ilościach są uwalniane z wody do powietrza i wnikają do organizmów osób przebywających w obiektach basenowych, głównie na drodze inhalacyjnej. Stwarzają one poważne zagrożenie zdrowotne, w świetle doniesień literaturowych o ich własnościach rakotwórczych, toksyoreprodukcyjnych, teratogennych, genotoksycznych, silnie podrażniających układ oddechowy, czy przyczyniających się do rozwoju i zaostrzania astmy. Z tego powodu ważnym elementem dbałości o zdrowie publiczne jest monitorowanie (najlepiej w sposób ciągły) jakości powietrza wewnętrznego w obiektach basenowych, tym bardziej, że pływanie uznawane jest jako jedna z najzdrowszych form aktywności fizycznej i jest powszechnie zalecane, co powoduje, że korzysta z niej duża liczba osób, w tym osoby przewlekle chore, dzieci, czy kobiety w ciąży.

Przedstawione w artykule dane literaturowe pokazują bardzo duże zróżnicowanie uzyskiwanych wyników prowadzonych badań. Wynika to ze specyficznych warunków panujących w każdym z tych obiektów (rodzaj basenu, rodzaj i dawka środka dezynfekującego związana z liczbą pływających osób, rodzaj ich aktywności i czas przebywania w basenie, stężenie lotnych DBP w wodzie, temperatura i pH wody, powierzchnia lustra wody, całkowita

ilość powietrza w hali basenowej, system wentylacji budynku, turbulencje wody wymuszonej przez pływających) oraz zastosowanych metod pomiarowych i warunków prowadzenia pomiarów. Tak duża liczba czynników wpływających na poziomy stężenie pozwala stwierdzić, że chcąc rozeczać kwestię jakości powietrza w obiekcie konieczne jest wykonanie w nim pomiarów.

Ponieważ wiele opracowań naukowych wskazuje na problem złej jakości powietrza wewnętrznego występujący

w większości poddanych ocenie obiektów, stąd należałoby wymusić działania prawne narzucające obowiązek prowadzenia pomiarów lotnych DBP w powietrzu (co najmniej chloroformu), także w przypadku polskich obiektów, dla których sytuacja jest bardzo słabo rozpoznana, wprowadzić unifikację metod poboru prób powietrza, ich analizy ilościowej oraz wprowadzić normy jakości powietrza w obiektach basenowych, zarówno dla THM, jak i CAM.

Obecności trihalometanów i chloramin w wodzie/powietrzu obiektów basenowych nie da się wyeliminować całkowicie, ale poprzez analizę przyczyn ich powstawania, przenoszenia z wody do powietrza i dalszego rozprzestrzeniania mogą być podejmowane działania, prowadzące do jak największej redukcji tych związków w środowisku basenowym. Uzyskanie względnie niskich stężeń THM i CAM w wodzie i powietrzu można osiągnąć w wyniku skorelowania kilku typów działań, wśród których wymienić można: redukcję prekursorów THM i CAM w wodzie basenowej poprzez prowadzenie edukacji w zakresie higienicznego korzystania z basenu (np. kąpiel pod prysznicem przed wejściem do niecki basenu, mycie ciała mydłem, stosowanie czepków kąpielowych, zachowanie ogólnie przyjętych zasad użytkowania basenów pod kątem higienicznym), stałe monitorowanie jakości wody i podejmowanie adekwatnych działań dezynfekcyjnych, zachęcanie do rozłożonego równomiernie w czasie korzystania z basenów w godzinach jego pracy dla ograniczenia liczby kąpiących się jednocześnie osób, zapewnienie skutecznej wentylacji hal basenowych ukierunkowanej nie tylko na utrzymanie komfortowych warunków temperaturowo-wilgotnościowych użytkowników oraz zabezpieczenie przegród budowlanych, ale także zapewnienie odpowiedniej jakości powietrza z uwagi na obecność w nim lotnych DPB.

Choć zaprezentowane dane dotyczące poziomów stężeń THM i CAM w powietrzu przy znajomości powodowanych przez nie zagrożeń zdrowotnych wydają się być niepokojące, to wnioski prezentowane przez specjalistów ds. zdrowia publicznego wskazują na korzystny wpływ ćwiczeń fizycznych w basenach na zdrowie, który przeważa nad ryzykiem zdrowotnym powodowanym obecnością DBP w środowisku tych obiektów. Tym niemniej wskazane byłoby prowadzenie dalszych badań i podejmowanie szeroko zakrojonych działań minimalizujących potencjalne ryzyko przed wyciągnięciem ostatecznych wniosków potwierdzających pozytywne efekty pływania.

Praca została sfinansowana ze środków statutowych Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach

BIBLIOGRAFIA

- [1] Richardson S.D., Postigo C.: Drinking Water Disinfection By-products. In: Barceló, D. (eds) Emerging Organic Contaminants and Human Health. The Handbook of Environmental Chemistry, 2011, p.20. Springer, Berlin https://doi.org/10.1007/698_2011_125
- [2] 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(8), p.2562-2586 doi: 10.3390/ijerph9082562
- [3] Chowdhury S., Alhooshani K., Karanfil T.: Disinfection byproducts in swimming pool: occurrences, implications and future needs. *Water Res.*, 2014, 53, p.68-109 doi: 10.1016/j.watres.2014.01.017
- [4] Teo T.L.L., Coleman H.M., Khan S.J.: Chemical contaminants in swimming pools: occurrence, implications and control. *Environ Int.*, 2015, 76, p.16-31 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.012>
- [5] Pavon J.L.P., Martin S.H., Pinto C.G., Cordeiro B.M.: Determination of trihalomethanes in water samples: A review. *Anal Chim Acta*, 2008, 629, p.6-23 doi: 10.1016/j.aca.2008.09.042
- [6] Blatchley E.R., Cheng M.: Reaction mechanism for chlorination of urea. *Environ Sci Technol.*, 2010, 44(22), p.8529-8534 doi: 10.1021/es102423u
- [7] Lian L., E.Y., Li J., Blatchley E.R. 3rd: Volatile disinfection byproducts resulting from chlorination of uric acid: implications for swimming pools. *Environ Sci Technol.*, 2014, 48, p.3210-3217 <https://doi.org/10.1021/es405402r>
- [8] Keuten M.G.A., Schets F.M., Schijven J.F., Verberk J.Q.J.C., Van Dijk J.C.: Definition and quantification of initial anthropogenic pollutant release in swimming pools. *Water Res.*, 2012, 46, p.3682-3692 doi: 10.1016/j.watres.2012.04.012
- [9] Bottoni P., Bonadonna L., Chirico M., Caroli S., Záray G.: Emerging issues on degradation by-products deriving from personal care products and pharmaceuticals during disinfection processes of water used in swimming pools. *Microchem J.*, 2014, 112, p.13-16 <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.09.001>
- [10] Weng S., Sun P., Ben W., Huang Ch., Lee L.T., Blatchley E.R.: The presence of pharmaceuticals and personal care products in swimming pools. *Environ Sci Technol Lett.*, 2014, 1(12), p.495-498 <https://doi.org/10.1021/ez5003133>
- [11] Sharifan H., Klein D., Morse A.N.: UV filters interaction in the chlorinated swimmingpool, a new challenge for urbanization, a need for community scale investigations. *Environ Res.*, 2016, 148, p.273-276doi: 10.1016/j.envres.2016.04.002
- [12] Richardson S.D.: Disinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water. *Trends Anal Chem.*, 2003, 22(10), p.666-684 doi:10.1016/S0165-9936(03)01003-3
- [13] Tardif R., Catto C., Haddad S., Simard S., Rodriguez M.: Assessment of air and water contamination by disinfection by-products at 41 indoor swimming pools. *Environ Res J.*, 2016, 148, p.411-420 doi: 10.1016/j.envres.2016.04.011
- [14] Sdougkou A., Kapsalaki K., Kozari A., Pantelaki I., Voutsas D.: Occurrence of disinfection by-products in swimming pools in the Area of Thessaloniki, Northern Greece. Assessment of multi-pathway exposure and risk. *Molecules*, 2021, 26(24), p.7639 doi: 10.3390/molecules26247639
- [15] Chowdhury S.: Predicting human exposure and risk from chlorinated indoor swimming pool: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, 187(8), p.502 doi:10.1007/s10661-015-4719-8
- [16] Villanueva C.M., Cantor K.P., Grimalt J.O., Malats N., Silverman D., Tardon A., Garcia C.R., Serra C., Carrato A., Castano-Vinyals G., Marcos R., Rothman N., Real F.X., Dosemeci M., Kogevinas M.: Bladder cancer and exposure to water disinfection by products through ingestion, bathing, showering and swimming in pools. *Am J Epidemiol.*, 2007, 165, p.148-156 doi: 10.1093/aje/kwj364
- [17] Chen M.J., Lin C.H., Duh J.M., Chou W.S., Hsu H.T.: Development of a multipathway probabilistic health risk assessment model for swimmers exposed to chloroform in indoor swimming pools. *J Hazard Mater*, 2011, 185(2-3), p.1037-1044 doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.10.011.
- [18] Lee J., Ha K.T., Zoh K.D.: Characteristics of trihalomethane (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods. *Sci Total Environ.*, 2009, 407, p.1990-1997 doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.11.021.
- [19] Marco E., Laurencetti C., Grimalt J.O., Gari M., Fernández P., Font-Ribera L., Villanueva C.M., Kogevinas M.: Influence of physical activity in the intake of trihalomethanes in indoor swimming pools. *Environ Res.*, 2015, 140, p.292-299 doi: 10.1016/j.envres.2015.04.005
- [20] Erdinger L., Kühn K.P., Kirsch F., Feldhues R., Fröbel T., Nohynek B., Gabrio T.: Pathways of trihalomethane uptake in swimming pools. *Int J Hyg Environ Health.*, 2004, 207(6), p.571-575 doi: 10.1078/1438-4639-00329
- [21] Laurencetti 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, 15, 45, p.59-67 doi: 10.1016/j.envint.2012.03.009
- [22] WHO: Guidelines for Drinking-water Quality. 2017 <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- [23] EPA (IRIS): Chloroform; CASRN 67-66-3. Washington, D.C.,1987 https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0025_summary.pdf
- [24] EPA (IRIS): Bromodichloromethane; CASRN 75-27-4. Washington, D.C.,1987 https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0213_summary.pdf
- [25] EPA (IRIS): Bromoform; CASRN 75-25-2. Washington, D.C.,1987 https://iris.epa.gov/static/pdfs/0214_summary.pdf
- [26] EPA (IRIS): Dibromochloromethane; CASRN 124-48-1. Washington, D.C.,1987 https://iris.epa.gov/static/pdfs/0222_summary.pdf
- [27] US EPA: Integrated Risk Information System (electronic data base). U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. 2009a <http://www.epa.gov/iris>

- [28] Hamidin N., Yu Q.J., Connell D.W.: Human health risk assessment of chlorinated disinfection by-products in drinking water using a probabilistic approach. *Water Res.*, 2008, 42, p.3263-3274 doi: 10.1016/j.watres.2008.02.029
- [29] Villanueva C.M., Cordier S., Font-Ribera L., Salas L.A., Levallois P.: Overview of disinfection by-products and associated health effects. *Curr Environ Health Rep.*, 2015, 2(1), p.107-115 doi: 10.1007/s40572-014-0032-x
- [30] Espin-Pérez A., Font-Ribera L., van Veldhoven K., Krauskopf J., Portengen L., Chadeau-Hyam M., Vermeulen R., Grimalt J.O., Villanueva C.M., Vineis P., Kogevinas M., Kleinjans J.C., de Kok T.M.: Blood transcriptional and microRNA responses to short-term exposure to disinfection by-products in a swimming pool. *Environ Int.*, 2018, 110, p.42-50 doi: 10.1016/j.envint.2017.10.003
- [31] Evlampidou I., Font-Ribera L., Rojas-Rueda D., Gracia-Lavedan E., Costet N., Pearce N., Vineis P., Jaakkola J.J.K., Delloye F., Makris K.C., Stephanou E.G., Kargaki S., Kozisek F., Sigsgaard T., Hansen B., Schullehner J.: Trihalomethanes in drinking water and bladder cancer burden in the European Union. *Environ Health Perspect.*, 2020, 128(1), p.1700 doi: 10.1289/EHP4495
- [32] Bove G.E.Jr, Rogerson P.A., Vena J.E.: Case control study of the geographic variability of exposure to disinfectant byproducts and risk for rectal cancer. *Int J Health Geogr.*, 2007, 6, p.18 doi: 10.1186/1476-072X-6-18
- [33] Graves C.G., Matanoski G.M., Tardiff R.G.: Weight of evidence for an association between adverse reproductive and developmental effects and exposure to disinfection by-products: a critical review. *Regul Toxicol Pharmacol.*, 2001, 34(2), p.103-124 doi: 10.1006/rtp.2001.1494
- [34] Nieuwenhuijsen M.J., Northstone K., Golding J. ALSPAC Study Team. Swimming and birth weight. *Epidemiology*, 2002, 13(6), p.725-8 doi: 10.1097/00001648-200211000-00020
- [35] Grellier J., Bennett J., Patelarou E., Smith R.B., Toledano M.B., Rushton L., Briggs D.J., Nieuwenhuijsen M.J.: Exposure to disinfection by-products, fetal growth, and prematurity: a systematic review and meta-analysis. *Epidemiology*, 2010, 21(3), p.300-313 doi: 10.1097/EDE.0b013e3181d61ffd
- [36] Villanueva C.M., Gracia-Lavedán E., Ibarluzea J., Santa Marina L., Ballester F., Ilop S., Gordón A., Fernández M.F., Freire C., Goñi F., Basagaña X., Kogevinas M., Grimalt J.O., Sunyer J.: INMA (Infancia y Medio Ambiente) Project. Exposure to trihalomethanes through different water uses and birth weight, small for gestational age, and preterm delivery in Spain. *Environ Health Perspect.*, 2011, 119(12), p.1824-1830 doi: 10.1289/ehp.1002425
- [37] Vlaanderen J., van Veldhoven K., Font-Ribera L., Villanueva C.M., Chadeau-Hyam M., Portengen L., Grimalt J.O., Zwiener C., Heederik D., Zhang X., Vineis P., Kogevinas M., Vermeulen R.: Acute changes in serum immune markers due to swimming in a chlorinated pool. *Environ Int.*, 2017, 105, p.1-11 doi: 10.1016/j.envint.2017.04.009
- [38] Guariglia S.R., Jenkins E.C., Chadman K.K., Wen G.Y.: Chlorination byproducts induce gender specific autistic-like behaviors in CD-1 mice. *Neurotoxicology*, 2011, 32, p.545-553 doi: 10.1016/j.neuro.2011.06.008
- [39] Manasfi T., Temime-Roussel B., Coulomb B., Vassallo L., Boudenne J.-L.: Occurrence of brominated disinfection by-products in the air and water of chlorinated seawater swimming pools. *Int J Hyg Environ Health*, 2017, 220(3), p.583-590 <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.01.008>
- [40] Kogevinas M., Villanueva C.M., Font-Ribera L., Liviak D., Bustamante M., Espinoza F., Nieuwenhuijsen M.J., Espinoza 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(11), p.1531-1537 doi: 10.1289/ehp.1001959
- [41] Chowdhury S., Alhooshani K., Karanfil T.: Disinfection byproducts in swimming pool: occurrences, implications and future needs. *Water Res.*, 2014, 53, p.68-109 doi: 10.1016/j.watres.2014.01.017
- [42] Kanan A., Karanfil T.: Formation of disinfection by-products in indoor swimming pool water: The contribution from filling water natural organic matter and swimmer body fluids. *Water Res.*, 2011, 45(2), p.926-932 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.031>
- [43] Wastesson G., Eriksson K.: Inorganic chloramines: a critical review of the toxicological and epidemiological evidence as a basis for occupational exposure limit setting. *Crit Rev Toxicol.*, 2020, 50(3), p.219-271 doi: 10.1080/10408444.2020.1744514
- [44] Holzwarth G., Balmer R.G., Soni L.: The fate of chlorine and chloramines in cooling towers Henry's law constants for flashoff. *Water Res.*, 1984, 18(11), p.1421-1427 [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(84\)90012-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(84)90012-5)
- [45] Fantuzzi G., Righi E., Predieri G., Giacobazzi P., Petra B., Aggazzotti G.: Airborne trichloramine (NCl₃) levels and self-reported health symptoms in indoor swimming pool workers: dose-response relationships. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2013, 23(1), p.88-93 <http://dx.doi.org/10.1038/jes.2012.56>
- [46] Babu R.V., Cardenas V., Sharma G.: Acute respiratory distress syndrome from chlorine inhalation during a swimming pool accident: a case report and review of the literature. *J Intensive Care Med.*, 2008, 23, p.275-80 doi: 10.1177/0885066608318471
- [47] Voisin C., Sardella A., Marucci F., Bernard A.: Infant swimming in chlorinated pools and the risks of bronchitis, asthma and allergy. *Eur Respir J.*, 2010, 36(1), p.41-47 doi: 10.1183/09031936.00118009
- [48] Löfstedt H., Westerlund J., Graff P., Bryngelson L.L., Mölleby G., Olin A.C., Eriksson K., Westberg H.: Respiratory and Ocular Symptoms Among Employees at Swedish Indoor Swimming Pools. *J Occup Environ Med.*, 2016, 58(12), p.1190-1195 doi: 10.1097/JOM.0000000000000883
- [49] Żak M.: Narazenie na lotne DBP w atmosferze wewnętrznej obiektów basenowych. *Instal* 11/2022, s. 43 - 54; DOI 10.36119/15.2022.11.3
- [50] Aggazzotti G., Fantuzzi G., Righi E., Predieri G.: Environmental and biological monitoring of chloroform in indoor swimming pools. *J Chromat., A*, 710 (1), 1995, p.181-190 [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(95\)00432-M](https://doi.org/10.1016/0021-9673(95)00432-M)
- [51] Aggazzotti G., Fantuzzi G., Righi E., Predieri G.: Blood and breath analyses as biological indicators of exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. *Sci Total Environ.*, 1998, 217(1-2), p.155-163 doi: 10.1016/s0048-9697(98)00174-0
- [52] Fantuzzi G., Righi E., Predieri G., Ceppelli G., Gobba F., Aggazzotti G.: Occupational exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. *Sci Total Environ.*, 2001, 264(3), p.257-265 doi: 10.1016/s0048-9697(00)00722-1
- [53] Caro J., Gallego M.: Alveolar air and urine analyses as biomarkers of exposure to trihalomethanes in an indoor swimming pool. *Environ Sci Technol.*, 2008, 42(13), p.5002-5007 doi: 10.1021/es800415p
- [54] 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), p.690-698 doi: 10.1183/09031936.00024706
- [55] Aprea M.: Disinfection of swimming pools with chlorine and derivatives: formation of organochlorinated and organobrominated compounds and exposure of pool personnel and swimmers. *Natural Science*, 2010, 02(02), p.68-78 doi: 10.4236/ns.2010.22011
- [56] Silva Z.I., Rebelo M.H., Silva M.M., Alves A.M., Cabral Mda C., Almeida A.C., Aguiar F.R., de Oliveira A.L., Nogueira A.C., Pinhal H.R., Aguiar P.M., Cardoso A.S.: Trihalomethanes in Lisbon indoor swimming pools: occurrence, determining factors, and health risk classification. *J Toxicol Environ Health A.*, 2012, 75(13-15), p.878-892 doi: 10.1080/15287394.2012.690706
- [57] Fantuzzi G., Righi E., Predieri G., Giacobazzi P., Mastroianni K., Aggazzotti G.: Prevalence of ocular, respiratory and cutaneous symptoms in indoor swimming pool workers and exposure to disinfection by-products (DBPs). *Int J Environ Res Public Health*, 2010, 7(4), p.1379-1391 doi: 10.3390/ijerph7041379
- [58] Richardson S.D., DeMarini D.M., Kogevinas M., Fernandez P., Marco E., Lourencetti C., Ballesté C., Heederik D., Meliefste K., McKague A.B., Marcos R., Font-Ribera L., Grimalt J.O., Villanueva C.M.: What's in the pool? A comprehensive identification of disinfection by-products and assessment of mutagenicity of chlorinated and brominated swimming pool water. *Environ Health Perspect.*, 2010, 118(11), p.1523-1530 doi: 10.1289/ehp.1001965
- [59] Bessonneau V., Derbez M., Clément M., Thomas O.: Determinants of chlorination by-products in indoor swimming pools. *Int J Hyg Environ Health.*, 2011, 215(1), p.76-85 doi: 10.1016/j.ijheh.2011.07.009
- [60] Parrat J., Donzé G., Iseli C., Perret D., Tomić C., Schenk O.: Assessment of occupational and public exposure to trichloramine in Swiss indoor swimming pools: a proposal for an occupational exposure limit. *Ann Occup Hyg.*, 2012, 56(3), p.264-277 doi: 10.1093/annhyg/mer125
- [61] Chen L., Dang B., Mueller C.A., Dunn K.H., Almaguer D., Ernst J.L., Otto C.S.: Investigation of employee symptoms at an indoor waterpark. Health hazard evaluation report no. 2007-0163-3062. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services, CDC, National Institute for Occupational Safety and Health; 2008. https://www.cdc.gov/nceh/ehs/docs/investigation_of_employee_symptoms_at_an_indoor_waterpark.pdf
- [62] Font-Ribera L., Kogevinas M., Zock J.P., Gómez F.P., Barreiro E., Nieuwenhuijsen M.J., Fernandez P., Lourencetti C., Pérez-Olabarria M., Bustamante M., Marcos R., Grimalt J.O., Villanueva C.M.: Short-term changes in respiratory biomarkers after swimming in a chlorinated pool. *Environ Health Perspect.*, 2010, 118(11), p.1538-1544 doi: 10.1289/ehp.1001961

- [63] Thiriat N., Paulus H., Le Bot B., Glorennec P.: Exposure to inhaled THM: comparison of continuous and event-specific exposure assessment for epidemiologic purposes. *Environ Int.*, 2009, 35(7), p.1086-1089 doi: 10.1016/j.envint.2009.06.006
- [64] Nitter T.B., Kampel W., Svendsen K.H., Aas B.: Comparison of trihalomethanes in the air of two indoor swimming pool facilities using different type of chlorination and different types of water. *Water Supply*, 2018, 18(4), p.1350-1356 doi: 10.2166/WS.2017.201
- [65] Carter R., West N., Heitz A., Joll C.A.: An analytical method for the analysis of trihalomethanes in ambient air using solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry: An application to indoor swimming pool complexes. *Indoor Air*, 2019, 29(3), p.499-500 <https://doi.org/10.1111/ina.12551>
- [66] Westerlund J., Graff P., Bryngelsson I.L., Westberg H., Eriksson K., Löfstedt H.: Occupational exposure to trichloramine and trihalomethanes in Swedish indoor swimming pools: evaluation of personal and stationary monitoring. *Ann Occup Hyg.*, 2015, 59(8), p.1074-1084 doi: 10.1093/annhyg/mev045
- [67] Westerlund J., Bryngelsson I.L., Löfstedt H., Eriksson K., Westberg H., Graff P.: Occupational exposure to trichloramine and trihalomethanes: adverse health effects among personnel in habilitation and rehabilitation swimming pools. *J Occup Environ Hyg.*, 2019, 16(1), p.78-88 doi: 10.1080/15459624.2018.1536825
- [68] Chen M.J., Duh J.M., Shie R.H., Weng J.H., Hsu H.T.: Dynamic real-time monitoring of chloroform in an indoor swimming pool air using open-path Fourier transform infrared spectroscopy. *Indoor Air*, 2016, 26(3), p.457-467 doi: 10.1111/ina.12215
- [69] Lee L.T., Blatchley E.R III: Long-term monitoring of water and air quality at an indoor pool facility during modifications of water treatment. *Water*, 2022, 14(3), p.335 <https://doi.org/10.3390/w14030335>
- [70] 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), p.109-117
- [71] Słoniewicz I., Kaffak J.: Steżenie THM-ów i oksydantów w powietrzu hal basenowych, IV Sympozjum Naukowo-Techniczne Instalacje Basenowe, 2003, p.307-315
- [72] Chu H., Nieuwenhuijsen M.J.: Distribution and determinants of trihalomethane concentrations in indoor swimming pools. *Occup Environ Med.*, 2002, 59(4), p.243-247 doi: 10.1136/oem.59.4.243
- [73] Héry M., Hecht G., Gerber J.M., Gendre J.C., Hubert G., Rebuffaud J.: Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools. *Ann. Occup. Hyg.*, 1995, 39(4), p.427-439 doi: 10.1093/annhyg/39.4.427
- [74] Hsu H.T., Chen M.J., Lin C.H., Chou W.S., Chen J.H.: Chloroform in indoor swimming-pool air: monitoring and modeling coupled with the effects of environmental conditions and occupant activities. *Water Res.*, 2009, 43(15), p.3693-3704 doi: 10.1016/j.watres.2009.05.032
- [75] Weng S.C., Weaver W.A., Afifi M.Z., Blatchley E.R. 3rd.: Dynamics of gas-phase trichloramine (NCl3) in chlorinated, indoor swimming pool facilities. *Indoor Air*, 2011, 21(5), p. 391-399 doi: 10.1111/j.1600-0668.2011.00710.x
- [76] Kristensen G.H., Klausen M.M., Hansen V.A., Lauritsen F.R.: On-line monitoring of the dynamics of trihalomethane concentrations in a warm public swimming pool using an unsupervised membrane inlet mass spectrometry system with off-site real-time surveillance. *Rapid Commun Mass Spectrom.*, 2010, 24(1), p.30-34doi: 10.1002/rcm.4360
- [77] Sa C., Boaventura R., Pereira I.: Analysis of haloacetic acids in water and air (aerosols) from indoor swimming pools using HS-SPME/GC/ECD. *J Environ Sci Health, A, Tox Hazard Subst Environ Eng.*, 2012, 47(2), p.176-183 doi: 10.1080/10934529.2012.640246
- [78] Nuckols J.R., Ashley D.L., Lyu C., Gordon S.M., Hinckley A.F., Singer P.: Influence of tap water quality and household water use activities on indoor air and internal dose levels of trihalomethanes. *Environ Health Perspect.*, 2005, 113(7), p.863-870 doi: 10.1289/ehp.7141
- [79] Panyakapo M., Soontornchai S., Paopuree P.: Cancer risk assessment from exposure to trihalomethanes in tap water and swimming pool water. *J Environ Sci.*, 2008, 20(3), p.372-378 doi: 10.1016/s1001-0742(08)60058-3
- [80] Villanueva C.M., Gagniere B., Monfort C., Nieuwenhuijsen M.J., Cordier S.: Sources of variability in levels and exposure to trihalomethanes. *Environ Res.*, 2007, 103, p.211-220 doi: 10.1016/j.envres.2006.11.001
- [81] Yang L., Chen X., She Q., Cao G., Liu Y., Chang V.W.-C., Tang Ch.Y.: Regulation, formation, exposure, and treatment of disinfection by-products (DBPs) in swimming pool waters: A critical review. *Environ Int.*, 2018, 121(2), p.1039-1057 doi: 10.1016/j.envint.2018.10.024
- [82] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 9 listopada 2015 r. w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach, poz. 2016 (Dz. U. z 2015 r., poz. 2016)
- [83] Bonvallot N., Glorennec P., Zmirou D.: Derivation of a toxicity reference value for nitrogen trichloride as a disinfection by-product. *Regul Toxicol Pharmacol.*, 2010, 56(3), p.357-364 doi: 10.1016/j.yrtph.2009.10.008
- [84] WorkSafe BC: Chloramines – safe work practices. 2014. Available at http://www.worksafebc.com/publications/health_and_safety/by_topic/assets/pdf/bk147.pdf
- [85] Parrat J.: Évaluation de l'exposition à la Trichloramine Atmosphérique des Maîtres Nageurs, Employés et Utilisateurs Publics des Piscines Couvertes des Cantons de Fribourg, Neuchâtel et du Jura; Laboratoire intercantonal de santé au travail-IST: Peseux, p. 76, Switzerland, 2008; <https://www.bag.admin.ch/chemikalien-alltag>
- [86] Boudenne J.-L.: Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines Partie 1: Piscines réglementées. Technical report, AFSSET, 2010 available at <https://www.researchgate.net/publication/282672748>
- [87] Massin N., Hecht G., Ambroise D., Héry M., Toamain J.P., Hubert G., Dorotte M., Bianchi B.: Respiratory symptoms and bronchial responsiveness among cleaning and disinfecting workers in the food industry. *Occup Environ Med.*, 2007, 64(2), p.75-81 doi: 10.1136/oem.2005.026203
- [88] Jacobs J.H., Spaan S., van Rooy G.B., Meliefste C., Zaai V.A., Rooyackers J.M., Heederik D.: Exposure to trichloramine and respiratory symptoms in indoor swimming pool workers. *Eur Respir J.*, 2007, 29(4), p.690-698 doi: 10.1183/09031936.00024706
- [89] Lévesque B., Duchesne J.F., Gingras S., Lavie R., Prud'Homme D., Bernard E., Boulet L.P., Ernst P.: The determinants of prevalence of health complaints among young competitive swimmers. *Int Arch Occup Environ Health.*, 2006, 80(1), p.32-39 doi: 10.1007/s00420-006-0100-0
- [90] Boudenne J.-L.: Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines Partie II: bains à remous. ANSES, 2015 doi:10.13140/RG.2.1.2182.7043 available at: <https://www.researchgate.net/publication/282245336>
- [91] Thoumelin P., Monin E., Armandet D., Julien M., Massart B., Vasseur C., Pillon A., Zilliox M., Balducci I., Bergeret A.: Troubles d'irritation respiratoire chez les travailleurs des piscines; INRS, Documents pour le médecin du travail, 2005, 101, p.43-61 available at: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TF%20138>
- [92] Shah M.M.: Methods for calculation of evaporation from swimming pools and other water surfaces. *ASHRAE Transactions*, 2014, 120(2), p.3-17
- [93] Lebon M., Fellouah H., Galanis N., Limane A., Guerfala N.: Numerical analysis and field measurements of the airflow patterns and thermal comfort in an indoor swimming pool: a case study. *Energ Effic.*, 2017, 10(3), p.527-548 doi: 10.1007/s12053-016-9469-0
- [94] Nitter T.B., Svendsen K.V.H.: Modelling the concentration of chloroform in the air of a Norwegian swimming pool facility – A repeated measures study. *Sci Total Environ.*, 2019, 664, p.1039-1044 doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.113
- [95] Baxter R.C.: Designing for IAQ in natatoriums. *ASHRAE Journal*, 2012, 54, p.24-32
- [96] Cavestri R.C., Seeger-Clevenger, D.: Chemical off-gassing from indoor swimming pools. *ASHRAE Transactions*, 2009, 115, p.502-512 https://www.nxtbook.com/nxtbooks/ashrae/ashraejournal_201204/index.php?startid=32#/p/32
- [97] Piotrowska A.: Wpływ sposobu uzdatniania wody i układu wentylacyjnego na obecność THM-ów w środowisku basenów krytych. Praca doktorska. Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, 2019
- [98] Ratajczak K.: Badanie struktury układu wentylacyjnego w aspekcie energooszczędności dla krytych basenów kąpielowych. Praca doktorska Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, 2015
- [99] Ratajczak A.: Disinfection by-products in swimming pool water and possibilities of limiting their impact on health of swimmers. *Geomatics and Environmental Engineering*, 2019, 13(3), p.71-92 <https://doi.org/10.7494/geom.2019.13.3.71>
- [100] Lévesque B., Vézina L., Gauvin D., Leroux P.: Investigation of air quality problems in an indoor swimming pool: A case study. *Ann Occup Hyg.*, 2015, 59(8), p.1085-1089 doi: 10.1093/annhyg/mev038
- [101] Schmalz C., Frimmel F.H., Zwiener C.: Trichloramine in swimming pools – Formation and mass transfer, *Water Res.*, 2011, 45(8), p.2681-2690, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.02.024>