

Narażenie na lotne DBP w atmosferze wewnętrznej obiektów basenowych

Exposure to volatile DBPs in the indoor atmosphere of swimming pool facilities

MAGDALENA ŻAK

DOI 10.36119/15.2022.11.3

Pływanie jest jedną z najczęściej zalecanych form aktywności fizycznej wpływającą pozytywnie na ogólną sprawność całego organizmu. Mając w świadomości niezaprzeczone korzyści płynące z tej formy aktywności fizycznej należy mieć na uwadze możliwe zagrożenia zdrowotne związane ze stosowanymi metodami dezynfekcji wody basenowej prowadzącymi do powstawania licznych ubocznych produktów dezynfekcji (DBP). Są one obecne głównie w wodzie, ale również, w odniesieniu do związków o dużej lotności, w powietrzu hal basenowych. Wiele z tych związków cechuje się bardzo szkodliwym oddziaływaniem na zdrowie, np. ze względu na potwierdzone lub potencjalne własności rakotwórcze, mutagenne, genotoksyczne, czy też negatywny wpływ na różne układy/narządy. W artykule zaprezentowano szeroki przegląd literaturowy na temat rodzajów występujących w atmosferze basenów lotnych DBP, zwłaszcza trihalometanów i chloramin, ich prekursorów i przyczyn powstawania. Dokonano charakterystyki tych związków oraz opisu możliwych dróg narażenia i wynikających z tego skutków zdrowotnych, ze szczególnym uwzględnieniem narażenia inhalacyjnego.

Słowa kluczowe: baseny, uboczne produkty dezynfekcji wody, trihalometany, chloraminy, powietrze wewnętrzne, ryzyko zdrowotne

Swimming is one of the most commonly recommended forms of physical activity that positively affects the overall fitness of the entire body. However, it is necessary to keep in mind the possible health risks associated with the methods used to disinfect pool water leading to the formation of numerous disinfection by-products (DBPs). They are mostly present in the water, but also, with regard to highly volatile compounds, in the air of the swimming pool halls. Many of these compounds are characterized by very harmful health effects, for example, due to confirmed or potential carcinogenic, mutagenic, genotoxic properties or negative effects on various organs. This article presents an extensive literature review on the types of volatile DBP present in the atmosphere of swimming pools, especially trihalomethanes and chloramines, their precursors and causes of formation. A characterization of these compounds and a description of possible routes of exposure and the resulting health effects, with particular emphasis on inhalation exposure, are presented in the article.

Keywords: swimming pools, disinfection by-products, trihalomethanes, chloramines, indoor air health risks

Wstęp

Jakość wody basenowej jest w ostatnich latach przedmiotem szerokiego zainteresowania naukowców zajmujących się zagadnieniami zagrożenia zdrowia publicznego z powodu występowania w niej ubocznych produktów w dezynfekcji wody (ang. Disinfection By-Products; DBP). Związki te okazują się być obecne nie tylko w wodzie, ale niektóre w mniejszym lub większym stopniu przenoszone są do powietrza. Obecność DBP w wodzie jest niepożądaną konsekwencją reakcji składników wody i środków stosowanych w procesie jej dezynfekcji i jest charakterystyczna dla wszystkich wód poddawanych procesowi dezynfekcji, zwłaszcza na drodze chlorowania, a więc zarówno wody wodociągowej wykorzystywanej

do napełniania nitek basenowych, jak i wody basenowej. W przypadku wód basenowych ilość powstających DBP jest znacznie większa niż w wodzie wodociągowej ze względu na konieczność stosowania wyższego stopnia chlorowania oraz zwiększoną zawartość związków, będących prekursorami DBP, wprowadzanych do wody przez osoby użytkujące baseny. Występowanie DBP w obiektach basenowych (woda/powietrze) nabiera szczególnego znaczenia ze względu na fakt postrzegania pływania jako jednego z najczęściej zalecanych przez lekarzy i fizyoterapeutów form aktywności fizycznej wpływającej pozytywnie na ogólną sprawność całego ciała oraz polepszającej funkcje płuc i układu krwionośnego, ze względu na aerobowy charakter tych ćwiczeń.

Środowisko basenowe to złożony i dynamiczny ekosystem, na który wpływają liczne czynniki: rodzaj basenu (kryty, zewnętrzny; rekreacyjny, rehabilitacyjny, sportowy, olimpijski), czynniki eksploatacyjne (temperatura i pH wody, system dezynfekcji wody, system wentylacji), liczba osób pływających, ich aktywność i nawyki [1-4].

Po ponad 40 latach od czasu przeprowadzenia pierwszych badań składu wody basenowej przez Weila i in. [5] oraz Beecha i in. [6] późniejsze liczne badania prowadzone na całym świecie uzupełniały listę 600 DBP zidentyfikowanych w wodzie wodociągowej o ponad kolejnych 100 związków należących do DBP, tworzących w wodzie basenowej złożone mieszaniny [7,8]. W ich skład wchodzi głównie związki halogenowe, wśród których wymienić

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

można: trihalometany (THM) i liczne halo pochodne: kwasu octowego (HAA) i innych kwasów, acetonitryli (HAN), nitrometanów, acetaldehydów (HAL), aldehydów, ketonów (HK), amidów, amin, fenoli, nitryli, alkoholi, furanonów, piroli, benzochinonów (HBQ) oraz szereg innych halogenowych i niehalogenowych, jak i nieorganicznych DBP [9-16]. Co więcej, nadal identyfikowane są nowe związki z grupy DBP, jak np. bromimidazole czy bromoaniliny [15]. Przypuszcza się, że duża liczba DPB pozostaje nadal niezidentyfikowana. O ile dla wody do picia szacuje się, że ponad połowa DBP nie została jeszcze zidentyfikowana, to dla wody basenowej, biorąc pod uwagę złożoność antropogenicznych prekursorów DBP wprowadzanych do wody przez użytkowników basenów, odsetek ten może być jeszcze większy [17,18], tym bardziej, że niektóre związki, jak np. haloamidy, halonitryle czy haloaminy są identyfikowane tylko w wodzie basenowej [1,7,8].

Prekursory DBP

Za tworzenie DBP w wodzie basenowej odpowiedzialne są substancje chemiczne określane mianem prekursorów. Są one wprowadzane do basenów wraz z wodą wodociągową wykorzystywaną do napełniania niecek basenowych, zawierającą naturalną materię organiczną (NOM), która okazuje się mieć duży potencjał tworzenia DBP w procesie dezynfekcji [19-21].

Jest ona (NOM) głównym prekursorem DBP także w przypadku wody wodociągowej poddawanej procesowi uzdatniania. Jednak w wodach basenowych pojawia się dodatkowa grupa prekursorów w postaci substancji wprowadzanych przez użytkowników basenów. Wśród nich wymienić można wydzielinę ludzką stanowiącą ładunek biozanieczyszczeń (pot, mocz, cząstki skóry itp.), włosy oraz produkty higieny, pielęgnacji, czystości i inne wymienione w tabeli 1 [3,15,22-28]. Druga wspomniana grupa prekursorów dodatkowo wzbogaca matrycę wody basenowej przyczyniając się do zwiększonej produkcji DBPs w stosunku do procesów uzdatniania wody wodociągowej [1,11,20,30,31]. To ta grupa prekursorów powoduje, że stężenia DBP w wodach basenowych są nawet kilka rzędów wielkości wyższe niż w wodzie wodociągowej [1,9,32-35]. Przykładowo Daiber i in. [15] podaje, że w basenach rekreacyjnych i basenach ośrodków SPA stężenia DBP są wyższe odpowiednio o 610% i 900% w stosunku do wody wodociągowej zasilającej tego typu objekty. Dla basenów

zewnątrznych dodatkowymi prekursorami są zanieczyszczenia pochodzące z liści i pyłu unoszących się w sąsiedztwie basenów oraz glony rozwijające się w wodach.

Tabela 1. Prekursory DBP i ich źródła
Table 1. DBP precursors and their sources

ŹRÓDŁA PREKURSORÓW DBP	
Woda zasilająca zawierająca naturalną materię organiczną (NOM)	Użytkownicy basenów
- kwasy huminowe i fulwowe (52-70%), - białka, węglowodany, kwasy transfilowe (20-40%)	- wydzielinę (mocz, pot, ślina, śluz, cząstki skóry, kał), - produkty higieny osobistej, - produkty do pielęgnacji ciała, - produkty do pielęgnacji włosów, - farmaceutyki, - detergenty, - filtry przeciwsłoneczne UV, - środki dezynfekcyjne, - środki zapachowe, - środki odstraszające owady - włosy

Rodzaje DBP występujących w wodzie i powietrzu obiektów basenowych

Badania DBP w wodach basenowych skupiają się głównie na 3 grupach związków: trihalometanach (THM), kwasach haloctowych (HAA) i chloraminach (CAM), które należą do ilościowo najliczniej występujących w wodach [36,37]. Dwie z wymienionych grup: trihalometany i chloraminy, występują nie tylko w wodzie, ale również w powietrzu hal basenowych, ze względu na ich dużą lotność i hydrofobowość, przez co łatwo odparowują z wody i w znacznym stopniu przenikają do powietrza. Niska lotność i hydrofilowość HAA nie sprzyjają natomiast ich odparowaniu, przez co są one identyfikowane głównie w wodzie [38,39]. Najczęściej identyfikowane i występujące w powietrzu w największych stężeniach związki należące do wymienionych dwóch grup związków zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. DBP występujące w powietrzu hal basenowych
Table 2. DBP occurring in the air of swimming pool halls

Związek	Wzór chemiczny	Oznaczenie
Trihalometany:		
chloroform	CHCl ₃	TCM
bromodichlorometan	CHCl ₂ Br	DCBM
chlorodibromometan	CHBr ₂ Cl	CDBM
bromoform	CHBr ₃	TBM
Chloraminy:		
monochloramina	NH ₂ Cl	MCAM
dichloramina	NHCl ₂	DCAM
trichloramina	NCl ₃	TCAM

Co prawda praktycznie wszystkie publikacje dotyczące obecności lotnych

DBP w powietrzu hal basenowych skupiają się co najwyżej na czterech THM i trzech CAM, to nieliczni autorzy wymieniają kolejne lotne DPB identyfikowane w próbkach powietrza. Należą do nich: chlorek cyjanogenu, bromocyjan, dichloroacetonitryl, dichlorometyloamina, bromochloroacetonitryl, dibromoacetonitryl, trichloroacetonitryl, trichloropropanon, dichloropropanon, czy trichloronitrometan [23,40-45]. Wskazuje się również na obecność nielotnych związków, jak np. HAA, które występują przede wszystkim w wodzie, jednak stwierdzane są również w powietrzu, choć występują tam w niewielkich ilościach, w postaci aerozolu, a nie w formie gazowej. Badania dotyczące tej tematyki są jednak bardzo ograniczone [46,47].

Charakterystyka trihalometanów

Trihalometany (THM) to pochodne węglowodorów o wzorze ogólnym CHX₃, zawierające jeden atom węgla, podczas gdy trzy atomy wodoru są podstawione atomami z grupy fluorowców (X: fluor, chlor, brom, jod). Są główną grupą związków zaliczanych do DBP (głównie chlorowc pochodne i bromopochodne), choć stanowią jedynie około 5-10% wszystkich organicznych związków halogenowych powstających przy chlorowaniu wody [17]. W procesie tym powstaje ok. 20 związków należących do THM, z których zarówno w wodzie basenowej, jak i powietrzu zalegającym nad wodą, w największych ilościach występują: chloroform, bromodichlorometan, chlorodibromometan i bromoform, wymienione w tabeli 2. Wśród nich chloroform jest związkiem występującym w wodzie w największych ilościach [48].

Głównymi prekursorami THM są substancje humusowe i fulwowe (NOM), ale także materiał algowy i naturalnie występujące w wodzie związki azotowe [19]. Największe ilości powstających w wodzie THM przypisuje się procesowi chlorowania NOM zawartej w wodzie, a czynnikami wpływającymi na tworzenie się THM w tym procesie są: stężenie chloru, czas kontaktu, temperatura i pH wody oraz stężenie bromków [49].

THM są niepolarnymi związkami o niskiej rozpuszczalności w wodzie i wysokiej prężności par, co czyni je zanieczyszczeniami lotnymi, które łatwo przenikają z wody do powietrza [50]. Lotność THM zmniejsza się nieco wraz z podstawieniem atomów bromu, jednak również bromopochodne THM (Br-THM) odparowują z wody [51]. Bromowane THM formowane są preferencyjnie w obecności bromków w wodzie, np. podczas dodawania

do wody wodociągowej zasilającej base-ny wody morskiej, czy też wykorzystywa-nie wód bromkowych (np. w uzdrowi-skach), co wpływa na zwiększanie zawar-tości Br-THM, w tym występującego naj-liczniej bromoformu. Ilość Br-THM zwięk-sza się również przy stosowaniu w proce-sie dezynfekcji wody podchlorynu sodu, jeśli w roztworze solanki zawarte są jony bromkowe [52,53].

Charakterystyka chloramin i innych lotnych DBP

W grupie chloramin (CAM) szczególne znaczenie mają: monochloramina, dichloramina i trichloramina identyfikowane w znaczących ilościach zarówno w wodzie basenowej, jak i w powietrzu. Chloraminy należą do związków z grupy DBP zawierających azot (N-DBP). Obecność N-DBP (np. chloramin, haloacetonitryli, nitrozamin) powiązано z wprowadzaniem do wody basenowej przez osoby kąpiące się, prekursorami zawierającymi azot, które mogą występować w postaci związków organicznych (np. aminokwasy, kreatyna, mocznik, kwas moczowy), bądź nieorganicznych związków azotu (np. amoniak) [11,54,55]. Charakterystykę przykładowych prekursorów uwzględniającą ich występowanie i rodzaj powstających z nich DBP przedstawiono w tabeli 3 [41,56].

Tabela 3. Charakterystyka przykładowych prekursorów DBP
Table 3. Characteristics of DBP exemplary precursors

Prekursor	Występowanie	Powstający DBP
mocznik	główny produkt końcowy metabolizmu białek, główny składnik moczu i potu ssaków	trichloramina dichloramina
kreatyna	produkt metabolizmu kreatyny, składnik potu i moczu	trichloramina, monochloramina dichloramina
amoniak	produkt końcowy metabolizmu białek przez florę bakteryjną	monochloramina dichloramina
kwas moczowy	końcowy produkt przemiany materii	chlorek cyjanogenu
aminokwasy:		
L-histydyna	występuje powszechnie w pocie ludzkim	trichloramina chlorek cyjanogenu
L-arginina	występuje powszechnie w pocie ludzkim	trichloramina
glicyna	składnik kolagenu, keratyny	chlorek cyjanogenu

Innymi, wymienianymi w literaturze prekursorami chloramin są: kreatyna, kwas mlekowy, kwas cytrynowy, kwas hipurowy, uracyl, ornityna, chlorki, siarczany, kationy: K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} oraz aminokwasy: cysteina, asparagina, lizyna czy guanina [57,58,59]. Obszerne zestawienie dostępnych w literaturze danych dotyczących ilości wprowadzanych wydzielin w odniesieniu do kąpielni/osoby, szybkości ich wydzielenia i zawartości poszczególnych prekursorów w wydzielinach znaleźć można w publikacji [20].

Produkcja chloramin tj. ich rodzaj i ilość, jest silnie zależna od temperatury i pH wody, dawki chloru, stosunku chloru do azotu amonowego ($Cl_2/N-NH_4$), czasu kontaktu, a pośrednio także od liczby osób pływających i ich aktywności [3,22,23,60-64]. Z uwagi na ostatnie z wymienionych stwierdza się dużo większe uwalnianie potu niż moczu przez osoby pływające, szczególnie podczas intensywnych ćwiczeń w basenach z wodą o wysokiej temperaturze [65]. Przykładowo w trakcie dwugodzinnej aktywności jedna osoba pływająca wydała do wody średnio 25-30 cm^3 moczu a zawodowi pływacy 20-80 cm^3 moczu i 0,1-1 dm^3 potu. Spośród organicznych prekursorów DBP mocznik zawarty w pocie i moczu jest prekursorem dominującym. Jego ilość wprowadzana przez jedną osobę pływającą przez 2h wynosi ok. 1,3g [20,66].

Poszczególne chloraminy różnią się rozpuszczalnością i stabilnością w wodzie. Monochloramina jest rozpuszczalna i stabilna w wodzie, i jest dominującą nieorganiczną chloraminą w wodzie chlorowanej, zaś dichloramina jest rozpuszczalna, ale niestabilna w wodzie, przez co nieznacznie łatwiej przenoszona jest do powietrza. Spośród chloramin obecnych w wodzie w największych ilościach uwalniana do powietrza jest trichloramina, ze względu na względnie niską rozpuszczalność w wodzie i odpowiednio ponad 300

Monochloramina nie podrażnia oczu ani układu oddechowego i w normalnych stężeniach nie jest znaczącą przyczyną problemów z jakością powietrza w środowisku basenów. Dichloramina jest bardziej drażniąca dla układu oddechowego niż monochloramina, jednak również nie przyczynia się znacząco do problemów związanych z jakością powietrza, ale wiąże się z niepożądanym smakiem i zapachem w wodzie [70]. Trichloramina ze względu na swój wyraźny, przenikliwy i silnie drażniący dla oczu i górnych dróg oddechowych zapach, jest często mylona z chlorem [3,23,64,71]. Głównymi prekursorami trichloraminy jest mocznik, w dalszej kolejności: jony amonowe, – aminokwasy i kreatyna [60].

Charakterystykę innych lotnych, rzadko opisywanych w literaturze lotnych DBP, nienależących do chloramin, zawarto w tabeli 4 [41,42].

Tabela 4. Własności innych lotnych DBP
Table 4. Properties of other volatile DBPs

Związek	Wzór	Własności
chlorek cyjanogenu	CNCl	wysoce toksyczny, nawet przy bardzo niskich stężeniach; metabolizowany do cyjanu; prekursor: kwas moczowy, w mniejszym stopniu L-histydyna
bromocyjan	BrCN	silnie toksyczny, używany w czasie wojny jako gaz bojowy
dichloroacetonitryl	CNCHCl ₂	związek drażniący układ oddechowy i skórę; możliwy mutagen u ludzi; prekursor: L-histydyna
dichlorometylamina	CH ₃ NCl ₂	zapach podobny do zapachu trichloramina; prekursor: kreatyna

Narażenie na lotne DBP

DBP obecne w wodzie basenowej stanowią zagrożenie dla zdrowia przede wszystkim pracowników basenów (ratownicy, instruktorzy, personel techniczny) i pływaków, ale także osób niepływających, przebywających w obiektach basenowych. Pamiętać również należy, że woda i powietrze w tych obiektach oddziałują na zróżnicowane grupy osób: od niemowląt, małych dzieci, dzieci, poprzez dorosłych, kobiety w ciąży, osoby starsze, wśród których występują zarówno osoby zdrowe, ale też przewlekłe chore z osłabionym układem odpornościowym.

DBP mogą przenikać do ich organizmów trzema drogami: pokarmową (połykanie), inhalacyjną (wdychanie związków lotnych lub aerozoli) i przezskórną (przenikanie przez skórę). O tym, która droga narażenia jest dominująca decyduje rodzaj związku i aktywność osoby. Przykładowo nietolne i niepolarne haloletony

(HK) obecne w wodzie łatwo przenikają przez skórę osoby pływającej, w przeciwieństwie do bardziej nielotnych, ale polarnych kwasów haloctowych (HAA), także obecnych w wodzie, dla których najważniejszą drogą ekspozycji jest droga pokarmowa, czyli połykanie wody zawierającej tę grupę związków.

W przypadku narażenia na lotne DBP dla osób niekąpiących się najważniejszą drogą narażenia jest bezsprzecznie droga inhalacyjna. Jednak wskazanie dominującej drogi narażenia dla osób pływających nie jest już jednoznaczne. Długi czas wykazywano, że główną drogą narażenia na THM (chloroform) jest droga przezskórna i doustna. Lindstrom i in. [72] oszacowali, że przezskórne wchłanianie chloroformu odpowiadało aż w 80% za stężenia chloroformu mierzonego we krwi pływaków. Do podobnych wniosków prowadziły badania przeprowadzone przez Panyakapo i in. [73]. Do dziś zresztą niektórzy autorzy badań opierają się na tym założeniu, nie biorąc w ogóle w swoich badaniach pod uwagę narażenia inhalacyjnego [74].

Jednak kolejne licznie prowadzone badania wykazywały, że przy ekspozycji na lotne DBP, zwłaszcza trihalometany i chloraminy, dominującą drogą narażenia jest inhalacja i w mniejszym stopniu droga przezskórna [52,75-80]. Erdinger i in. w swoich badaniach [81] wykorzystujących butle do nurkowania w celu możliwości wyeliminowania narażenia inhalacyjnego, stwierdzili ostatecznie, że tylko 1/3 chloroformu obecnego we krwi pływaków pochodziła z wchłaniania przez skórę, co oznaczało, że reszta tj. 2/3 chloroformu wchłaniane jest przez organizm drogą inhalacyjną. Podobnie Laurencetti i in. [82] wykazali, że wchłanianie przez skórę stanowiło tylko 40% wchłaniania inhalacyjnego. Również Levesque i in. [83] oszacowali, że inhalacja jest najważniejszą drogą wchłaniania THM (chloroformu), odpowiada bowiem za ok. 75% całkowitego narażenia na THM (chloroform).

W szacowaniu istotności poszczególnych dróg narażenia na THM najczęściej brany pod uwagę jest chloroform. Dla niego bowiem stwierdza się największe znaczenie narażenia dla drogi inhalacyjnej. Potwierdzają to m.in. analizy przeprowadzone przez Dycka i zespół [84] umożliwiające porównanie wpływu poszczególnych dróg narażenia dla wszystkich czterech THM, a nie tylko chloroformu. W badaniu tym oceniono także dawki poszczególnych THM przyjmowane m.in. na drodze inhalacyjnej przez różne grupy wieko-

we osób pływających (1-4, 5-11, 12-17, 18-64 i >65 lat). Wyniki wskazują, że najwyższe dawki dla wszystkich badanych grup wiekowych są przyjmowane odpowiednio dla: chloroformu, bromodichlorometanu, chlorodibromometanu i bromoformu. Różnice w wielkościach dawek to ok. rząd wielkości. Analizując dawki dla wyszczególnionych przez badaczy grup wiekowych i dla wszystkich analizowanych THM widać wyraźną zależność: im młodsza grupa wiekowa, tym dawka przyjmowana na drodze inhalacyjnej jest większa. Najmłodsze dzieci (1-4 lat) przebywające w basenie otrzymują dawki chloroformu, bromodichlorometanu, chlorodibromometanu i bromoformu odpowiednio: 6,7; 6,9; 7,1 i 3,5 razy większe niż osoby dorosłe. Najmniejsze różnice w wielkości przyjmowanych dawek obserwowano dla osób dorosłych (18-64 lat) i starszych (>65 lat).

Wskazanie najmłodszej grupy wiekowej jako najbardziej narażonej na wysokie dawki THM znajduje również potwierdzenie w pozycjach [84-87] zwracających uwagę na fakt zwiększonego negatywnego oddziaływania DPB w odniesieniu do niemowląt i dzieci w porównaniu z osobami dorosłymi, ze względu na zwiększoną częstość oddechów u niemowląt i dzieci (nawet dwukrotnie większą niż u dorosłych), słabszy rozwój układu pokarmowego i bariery krew-mózg, co prowadzi prawdopodobnie do większego wchłaniania DBP. Ponadto narządy dzieci nie są w pełni rozwinięte, szczególnie wątroba i nerki, które jak wykazano, od 2 do 9 razy wolniej rozkładają i wydalają związki chemiczne. Również nie wykształcone w pełni mechanizmy rozkładu metabolitów prowadzą do ograniczonego usuwania DBP z organizmów tej grupy osób.

Nie tylko wiek osoby pływającej, ale i jej aktywność mają wpływ na przyjmowane dawki DBP. Zarówno Erdinger i in. [88], jak i Marco i in. [80] wykazali, że zawartość THM we krwi pływaków jest skorelowana głównie z ich zawartością w powietrzu, nie zawsze z ich zawartością w wodzie, oraz bezpośrednio z intensywnością pływania (wydatku energetycznego wyrażanego w kcal) [89]. Aktywność danej osoby wpływa niewątpliwie na otrzymywaną dawkę, a przez to na poziom narażenia, na co wskazują wyraźnie wyniki badania z wykorzystaniem analizy metabolitów powstających w żywych komórkach (metabolomika) podczas określonej aktywności, wykazujące wysoką korelację między aktywnością fizyczną a stężeniami THM we krwi i ich przyjmowaną dawką [80,90].

Wskazuje się również, że zagrożenie inhalacyjne stwarzają nie tylko zanieczyszczenia występujące w formie gazowej, ale także w postaci aerozolu. W takiej formie występować mogą niewielkie ilości związków nielotnych, np. niektórych kwasów haloctowych (HAA) [46]. Autorzy badania [47] wskazali, że zasadniczą drogą ekspozycji (94%) na tę grupę związków jest połykanie wody zawierającej HAA, inhalacja aerozolu zawierającego HAA odpowiada za 5%, a droga przezskórna za 1% narażenia. Na narażenie inhalacyjne na związki występujące w formie aerozolu ma wpływ rozkład wielkości cząstek aerozolowych, szybkość powstawania aerozolu, stężenie DBP w wodzie oraz szybkość usuwania aerozolu. W publikacji [91] wskazuje się, że cząstki aerozolu o średnicach mniejszych niż 7 µm mogą docierać do obszaru wymiany gazowej tj. pęcherzyków płucnych i dlatego w znacznym stopniu przyczyniają się do narażenia inhalacyjnego. Chociaż powszechnie przyjmuje się średnicę 10 µm jako górną granicę wdychanych cząstek to wykazano, że cząstki aerozolowe o średnicach 10 – 50 µm nie powinny być pomijane przy szacowaniu narażenia na nielotne DBP, ponieważ po opuszczeniu przez krople aerozolowe obszaru 100% wilgotności względnej zaczynają one odparowywać tworząc respirabilne aerozole, które będą miały wyższe stężenia nielotnych substancji w nich rozpuszczonych [91].

Skutki zdrowotne związane z inhalacyjnym narażeniem na trihalometany

Przy narażeniu inhalacyjnym i doustnym trihalometany są dobrze wchłaniane, metabolizowane i stosunkowo szybko wydalane. Okres ich półtrwania wynosi od 0,5 do 3h [51]. Są one w większości usuwane z wydychanym powietrzem a niewielka ich ilość przechodzi do krwi, moczu i osocza, w których to próbkach mierzy się stężenia THM przy szacowaniu narażenia pływaków. Wszystkie cztery THM są stwierdzane w powietrzu wydychanym, zwykle tylko chloroform jest wykrywany we krwi, a chloroform i bromodichlorometan są jedynymi wykrywanymi we moczu. Stąd sugeruje się, że powinno badać się powietrze wydychane, jako najbardziej wrażliwy biomarker narażenia na THM [92-98]. Całkowite wydalanie chloroformu w oparciu o badania wydychanego powietrza następuje po ok. 10h od zakończenia ekspozycji. Po wnikięciu do organizmu najwyższe stężenia THM stwierdza się w tłuszczu, krwi, wątrobie, nerkach, płucach i układzie nerwowym. Dominującą drogą

metabolizmu wszystkich THM jest utlenianie przez cytochrom P450 prowadzące do powstawania dihalokarbonyli, np. toksycznego fosgenu [51].

Wszystkie cztery najczęściej identyfikowane w wodzie i powietrzu THM są wymieniane przez US EPA (agenda IARC – International Agency for Research on Cancer) oraz US EPA (agenda IRIS – Integrated Risk Information System) jako czynniki rakotwórcze o prawdopodobnej lub możliwej rakotwórczości dla ludzi [99-103]. Klasyfikację wybranych THM pod kątem ich oddziaływania rakotwórczego przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Klasyfikacja trihalometanów pod kątem oddziaływania rakotwórczego
Table 5. Classification of trihalomethanes for carcinogenic effects

Związek	WHO (IARC)	EPA (IRIS)
chloroform	2B	B2
bromodichlorometan	2B	B2
bromoform	3	B2
chlorodibromometan	3	C
monochloramina	3	

2B, B2 prawdopodobny czynnik rakotwórczy dla ludzi
3, C możliwy czynnik rakotwórczy dla ludzi

Miarą szkodliwego działania substancji rakotwórczych w ocenie ryzyka zdrowotnego jest szacowane prawdopodobieństwo zachorowania na nowotwór, przy założeniu ciągłego narażenia na daną substancję w ciągu całego życia (ok. 70 lat), określane jako ryzyko nowotworowe (ang. Cancer Risk; CR). W obliczeniach ryzyka nowotworowego wykorzystuje się dwa rodzaje współczynników: współczynnik ryzyka jednostkowego (ang. Unit Risk; UR) lub współczynnik siły działania rakotwórczego substancji (ang. Slope Factor; SF). Oba współczynniki są określane w literaturze dla różnych dróg narażenia organizmu, w tym drogi inhalacyjnej. Mnożąc wymienione współczynniki przez wartości odpowiednio: stężenia zanieczyszczenia w powietrzu, bądź przyjmowaną dawkę zanieczyszczenia możliwe jest określenie ryzyka nowotworowego. Współczynniki ryzyka jednostkowego dla narażenia inhalacyjnego (ang. Inhalation Unit Risk; IUR) wybranych trihalometanów, określone przez EPA (IRIS) oraz California Environmental Protection Agency (CalEPA) zestawiono w tabeli 6 [100-104], natomiast w tabeli 7 zawarto współczynniki siły działania rakotwórczego (SF_{inh}) dla oceny ryzyka nowotworowego wybranych THM określone przez Risk Assessment Information System (RAIS) oraz California Environmental Protection Agency (CalEPA) [105,106].

Tabela 6. Współczynniki ryzyka jednostkowego wybranych THM dla narażenia inhalacyjnego (IUR) [$\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$]

Table 6. Unit risk factors of selected THMs for inhalation exposure (IUR) [$\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$]

Związek	EPA (IRIS)	CalEPA
chloroform	$2,3\cdot 10^{-5}$	$5,3\cdot 10^{-6}$
bromodichlorometan		$3,7\cdot 10^{-5}$
bromoform	$1,1\cdot 10^{-6}$	
chlorodibromometan		$2,7\cdot 10^{-5}$

Tabela 7. Współczynniki siły działania rakotwórczego dla narażenia inhalacyjnego (SF_{inh}) [$\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{dzień}^{-1}$] dla wybranych THM

Table 7. Slope factor for inhalation exposure (SF_{inh}) [$\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{day}^{-1}$] for selected THMs

Związek	RAIS	CalEPA
chloroform	0,081	
bromodichlorometan		0,13
bromoform	0,0039	
chlorodibromometan		0,094

W tabeli 8 przedstawiono przykładowe wartości ryzyka nowotworowego (CR) obliczone przez autorów badań [52, 77, 78] przy ekspozycji na THM z wykorzystaniem wartości SF dla wszystkich trzech dróg narażenia. Prezentowane wartości ryzyka nowotworowego uwzględniają ryzyko dla poszczególnych dróg narażenia oraz całkowite ryzyko nowotworowe wyznaczone z uwzględnieniem wszystkich dróg narażenia dla wybranych substancji.

Tabela 8. Ryzyka nowotworowe (CR) dla różnych dróg narażenia oraz ryzyko całkowite związane z ekspozycją na THM

Table 8. Cancer risks (CR) for different penetration pathways and total risk associated with THM exposure

Badanie	Drogi narażenia	Ryzyko nowotworowe (CR)	Udział ryzyka inhalacyjnego [%]
Lee, 2009 [78]	pokarmowa	$2,77\cdot 10^{-8}$	
	skórna	$1,57\cdot 10^{-7}$	
	inhalacyjna	$1,15\cdot 10^{-3}$	99,98
	całkowita	$1,15\cdot 10^{-3}$	
Chen, 2011 [77]	pokarmowa	$4,08\cdot 10^{-9}$	
	skórna	$2,56\cdot 10^{-8}$	
	inhalacyjna	$6,83\cdot 10^{-5}$	99,4
	całkowita	$6,87\cdot 10^{-5}$	
Chowdhury, 2015 [52]	pokarmowa	$1,47\cdot 10^{-7}$	
	skórna	$1,37\cdot 10^{-5}$	
	inhalacyjna	$1,05\cdot 10^{-5}$	42,8
	całkowita	$2,45\cdot 10^{-5}$	

Zaprezentowane w tabeli 8 wartości CR należy odnieść do zaleceń EPA, zgodnie z którymi wartości ryzyka nowotworowego można oceniać w kategorii przypisania jego wartości do jednej z 4 klas [107,108] ujętych w tabeli 9.

Tabela 9. Kryteria oceny ryzyka nowotworowego (CR) i zalecane działania

Table 9. Criteria for cancer risk (CR) assessment and recommended actions

Ryzyko	CR	Działanie
ryzyko pomijalne (znikome)	$<10^{-6}$	nie ma potrzeby podejmowania działań
akceptowalne niskie ryzyko	$1\cdot 10^{-6} \leq \text{CR} < 5,1\cdot 10^{-5}$	działania niskopriorytetowe
akceptowalne wysokie ryzyko	$5,1\cdot 10^{-5} \leq \text{CR} < 10^{-4}$	działania wysokopriorytetowe
ryzyko nieakceptowalne	$\geq 10^{-4}$	zagrożenie niedopuszczalne, konieczne jest podjęcie działań

Można zauważyć, że ryzyka nowotworowe dla narażenia inhalacyjnego wyznaczone we wszystkich prezentowanych w tabeli 8 badaniach przekraczają akceptowalny poziom 10^{-6} oznaczający, że 1 z 1000000 eksponowanych przez całe życie na dane zanieczyszczenie osób zachoruje na nowotwór. W przypadku wyników uzyskanych przez Lee [78] wartość ryzyka nowotworowego dla narażenia całkowitego i inhalacyjnego jest prawie trzy rzędy wielkości wyższa niż akceptowalny poziom ryzyka i z wartościami CR: $1,15\cdot 10^{-3}$ dla całkowitego ryzyka oraz $1,15\cdot 10^{-3}$ dla ryzyka inhalacyjnego jest ryzykiem nieakceptowalnym (dziesięciokrotne przekroczenie poziomu akceptowalnego). Dla badań [52,77] obie wartości ryzyka inhalacyjnego znajdują się w obszarze akceptowalnie wysokiego i niskiego ryzyka.

Wyniki uzyskane przez Lee i in. [78] oraz Chen i in. [77] pokazują jednocześnie jak duży wkład w całkowite ryzyko zachorowania na nowotwór ma droga inhalacyjna (99,98% i 99,4%). Równie wysoki poziom wpływu drogi inhalacyjnej na ryzyko nowotworowe wyznaczone dla THM podawany jest przez Hang i in. [109].

Dane zaprezentowane przez Kanana [110] dotyczące szacowanych wartości

ryzyka nowotworowego w odniesieniu do różnych grup użytkowników basenów: mężczyzn, kobiet i dzieci z rozróżnieniem poszczególnych związków należących do THM pozwalają stwierdzić, że ryzyko związane z inhalacją jest dla wszystkich

badanych grup osób największe a wszystkie wartości obliczonego ryzyka, zarówno dla narażenia inhalacyjnego, jak i całkowitego, przekraczają ryzyko akceptowalne 10^{-6} . Ryzyko inhalacyjne i całkowite dla wszystkich branych pod uwagę THM było w analizowanym przypadku największe dla kobiet, mniejsze dla mężczyzn i najmniejsze dla dzieci. Ryzyka nowotworowe wyznaczone dla wskazanych grup osób i poszczególnych THM zaprezentowano w tabeli 10.

DBP, w tym Br-THM, są na ogół bardziej genotoksyczne i mutagenne w porównaniu z chlorowanymi analogami [17,121].

Oprócz działania kancerogennego THM oddziałują na organizmy ludzkie także na inne sposoby. Wybrane THM, jak bromodichlorometan, chlorodibromometan, czy bromoform wykazują działanie hepatotoksyczne, nefrotoksyczne i kardiotoxyczne. Działanie mutagenne i genotoksyczne trihalometanów jest niezbyt silne i dotyczy głównie bromowa-

wydechanego przez pływaków stwierdzono wzrost biomarkerów mutagenności wydechanego powietrza związany z obecnością i stężeniem bromowanych THM, ale nie chloroformu [121].

Niektóre badania wykazały, że narażenie na THM może mieć wpływ na zdrowie reprodukcyjne, przyczyniając się do bezpłodności, opóźnionego wzrostu wewnątrzmacicznego, niskiej masy urodzeniowej, poronień, przedwczesnych porodów, wad wrodzonych, urodzeń martwego płodu, gdyż małowzrastkowe DBP mogą być przenoszone przez łożysko na płód [124-134]. W odniesieniu do chloroformu wykazano przenoszenie go przez łożysko u kilku gatunków zwierząt i ludzi [135]. Jednocześnie w literaturze znaleźć można badania epidemiologiczne oraz metaanalizy wykazujące niespójność uzyskiwanych wyników badań, występowanie mało istotnych związków lub brak związków między ekspozycją na THM w czasie ciąży a rozwojem płodu, powstawaniem wad wrodzonych bądź niekorzystnymi wynikami porodu [131,136].

Doniesienia literaturowe wskazują także na silnie negatywny wpływ narażenia na wysokie stężenia reprotoksycznych produktów ubocznych chlorowania wody, w tym THM, obecnych zarówno w wodzie basenowej, jak i powietrzu, na układ hormonalny małych dzieci, głównie chłopców, prowadzący do wyraźnego obniżenia stężenia męskich hormonów płciowych (np. testosteronu) stwierdzanego w okresie dojrzewania, co może w konsekwencji prowadzić do rozwoju nowotworu układu moczowego [137].

Badania Guariglia i in. [138] wykazały, że ekspozycja na THM, głównie chloroform i bromoform, wywołuje u samców myszy zachowania podobne do autyzmu (niepokój, powtarzające się zachowania i deficyty społeczne).

Przeprowadzone przez Vlaanderen badania [139] wskazują dodatkowo, że pływanie w chlorowanym basenie indukuje zaburzenia odpowiedzi immunologicznej poprzez wyraźne zmiany wzorców wydzielania cytokin i chemokin. Obserwowane w badaniu spadki poziomów markerów immunologicznych są prawdopodobnie powodowane immunosupresyjnym działaniem DBP.

Skutki zdrowotne związane z inhalacyjnym narażeniem na chloraminy

Chloraminy są silnymi środkami drażniącymi (utleniaczami). Oddziaływanie chloramin na organizmy dotyczy głównie

Tabela 10. Ryzyko nowotworowe (CR) dla różnych grup osób i wybranych THM
Table 10. Cancer risk (CR) for different groups of people and selected THMs

Osoba	Droga narażenia	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl
mężczyzna	pokarmowa	1,87 · 10 ⁻⁸	3,63 · 10 ⁻⁸	1,13 · 10 ⁻⁸
	skórna	6,47 · 10 ⁻⁷	1,67 · 10 ⁻⁷	5,73 · 10 ⁻⁸
	inhalacyjna	1,48 · 10⁻³	9,67 · 10⁻⁵	1,46 · 10⁻⁵
	całkowita	1,48 · 10 ⁻³	9,69 · 10 ⁻⁵	1,47 · 10 ⁻⁵
kobieta	pokarmowa	2,23 · 10 ⁻⁸	4,34 · 10 ⁻⁸	1,36 · 10 ⁻⁸
	skórna	6,71 · 10 ⁻⁷	1,74 · 10 ⁻⁷	5,96 · 10 ⁻⁸
	inhalacyjna	1,77 · 10⁻³	1,16 · 10⁻⁴	1,74 · 10⁻⁵
	całkowita	1,77 · 10 ⁻³	1,16 · 10 ⁻⁴	1,75 · 10 ⁻⁵
dziecko (11-14 lat)	pokarmowa	8,11 · 10 ⁻⁹	1,57 · 10 ⁻⁸	4,91 · 10 ⁻⁹
	skórna	1,02 · 10 ⁻⁷	2,65 · 10 ⁻⁸	9,07 · 10 ⁻⁹
	inhalacyjna	3,20 · 10⁻⁴	2,1 · 10⁻⁵	3,16 · 10⁻⁶
	całkowita	3,21 · 10 ⁻⁴	2,1 · 10 ⁻⁵	3,17 · 10 ⁻⁶

Zestawione w tabeli 10 wyniki pokazują, że największe ryzyko stwarza ekspozycja na chloroform. Dla tego związku wartości ryzyka inhalacyjnego dla wszystkich grup osób przekraczają ryzyko akceptowalne (10^{-6}) a dla mężczyzn i kobiet są w obszarze ryzyka nieakceptowalnego ($>10^{-4}$), co wskazuje na istnienie bardzo dużego ryzyka związanego z wdychaniem chloroformu. Podobna tendencja prezentowana jest przez Anachal i in. [111]. Dla pozostałych THM wyznaczone ryzyka nowotworowe mieszczą się w zakresie akceptowalnym $1 \cdot 10^{-6} \leq CR < 5,1 \cdot 10^{-4}$. Dehghani i in. [112] wskazali, że wśród dorosłych osób to kobiety są bardziej narażone na rakotwórcze działanie chloroformu niż mężczyźni ze względu na niższy stosunek masy ciała do powierzchni ciała.

Badania toksykologiczne wskazują, że najczęstszymi rodzajami nowotworów związanymi z ekspozycją na THM są nowotwory pęcherza moczowego, okrężnicy i odbytnicy [113-119]. Analizując dane dotyczące działania rakotwórczego THM, należy mieć na uwadze, że oddziaływanie rakotwórcze tych związków jest słabsze niż związków z innych grup DBP. Siłę działania rakotwórczego poszczególnych grup związków należących do DBP można uszeregować następująco: haloacetamidy > haloacetaldehydy > halonitrometany > kwasy haloctowe > haloacetonitryle > THMs [120]. W tym zestawieniu THM są jednak jedynymi lotnymi DBP. Bromowane

nach trihalometanów (Br-THM) [53,121]. Dobrze udokumentowane dane dotyczące działania genotoksycznego DBP, w tym THM, zestawione zostały w kompleksowym przeglądzie dokonany przez Richardsona i in. [122] oraz w pozycji [123] wskazującej na powstawanie mutacji genowych w hodowlach bakterii w odniesieniu do bromoformu, chlorodibromometanu i bromodichlorometanu, hodowlach komórek ludzkich (dla bromoformu i chlorodibromometanu), mutacji chromosomowych w badaniach in vitro (dla bromoformu i chlorodibromometanu). Działanie mutagenne THM upatruje się w ich drugorzędowym szlaku metabolicznym opartym o redukcję odhalogenowanie prowadzącym do wytwarzania wolnych rodników a następnie koniunkcji z glutationem, której towarzyszy powstawanie mutagennych związków pośrednich [51].

W odniesieniu do badań mutagenności wód basenowych istnieją nieliczne prace wskazujące, że mutagenność tych wód jest podobna do mutagenności wody pitnej [122]. W badaniu [15] stwierdzono natomiast odpowiednio 2,4 i 4,1 razy większą mutagenność wód basenowych i z obiektów SPA niż wód wodociagowych, 1,8 razy większą mutagenność bromowanych niż chlorowanych wód basenowych, zaś wody uzdrowiskowe, zasobniejsze w związki bromu wykazywały 1,7 razy większą mutagenność niż wody basenowe. Także w badaniach powietrza

układu oddechowego i błon śluzowych oczu i nosa. Ekspozycja na trichloraminę, najbardziej lotną spośród chloramin, występującą w powietrzu obiektów basenowych w najwyższych stężeniach, powoduje podrażnienie układu oddechowego, problemy z oddychaniem, infekcje dolnych dróg oddechowych, świszczący oddech, kaszel, podrażnienie oczu, nadciśnienie oskrzelowe czy nadreaktywność dróg oddechowych. Wskazuje się na korelację tych objawów z frekwencją na basenach, zwłaszcza w odniesieniu do pływaków wyczynowych [71,140-142]. Wyniki badań [143] wskazują natomiast, że krótkotrwałe umiarkowane ćwiczenia i ekspozycja na chlorowane produkty uboczne dezynfekcji nie wpływają na markery uszkodzenia nabłonka płuc i stresu oksydacyjnego.

Wnioski z badań nie są również spójne w odniesieniu do wpływu narażenia na chloraminy na występowanie astmy. Badania i analizy w tym zakresie są prowadzone głównie w odniesieniu do zawodowych pływaków i pracowników basenów, jako grupy najbardziej narażonej (wysokie stężenia, długi czas narażenia), jak również dzieci, które są szczególnie wrażliwe na działanie chloramin. Porównanie pomiędzy różnymi grupami pływaków dokonane przez Päivinen i in. [144] wykazało, że pływacy wyczynowi zgłaszali znacznie więcej objawów ze strony układu oddechowego niż pływacy rekreacyjni (OR 2,31 (95% CI 1,41-3,80, $p < 0,0001$)) i osoby okazjonalnie korzystające z basenów (OR 5,27 (95% CI 3,19-8,69, $p < 0,0001$)). Badania [145-147] pokazują, że zarówno ostra, jak i przewlekła ekspozycja na trichloraminę może zwiększać przepuszczalność nabłonka płuc, a tym samym może ułatwiać przenikanie alergenów i przyczyniać się do powstawania odpowiedzi immunologicznej i stanu zapalnego prowadzących do rozwoju astmy.

Dodatnią korelację między występowaniem astmy u pływających dzieci i młodzieży wykazano w badaniach [148-150], natomiast zwiększoną częstotliwością zachorowania i zaostrzenia objawów astmatycznych w odniesieniu do pływaków wyczynowych w stosunku do innych sportowców wyczynowych i populacji ogólnej opisano w pozycjach [151-156]. Niektórzy próbują tłumaczyć tą zależność faktem skłonności astmatyków do częstszego wybierania tej dyscypliny sportu, gdyż pływanie uznawane jest za jeden z mniej astmagenicznych i bezpiecznych sportów dla osób z astmą [157-160].

W literaturze dostępne są wyniki badań wykazujące, jak czas pływania

i pokonywany dystans wpływają na obserwowane objawy ze strony układu oddechowego. Päivinen i in. [144] stwierdzili, że dopóki osoby pływające nie przebywają w basenie dłużej niż 90 min lub nie pokonują dystansu większego niż 2000 m, to nie obserwuje się u nich żadnych objawów dotyczących dróg oddechowych. Jednak pływacy, którzy przepływali dłuższe dystanse lub spędzali w basenie dłuższy czas, zgłaszali objawy ze strony układu oddechowego znacznie częściej (odpowiednio: OR 2,91 (95% CI 2,02-4,17, $p < 0,0001$) i OR 2,66 (95% CI 1,91-3,71, $p < 0,0001$)) w porównaniu z pozostałymi osobami. Największe ryzyko wystąpienia objawów zaobserwowano dla grupy pływaków wyczynowych z wywiadem medycznym dotyczącym astmy i alergii.

Jednocześnie inne badania nie potwierdzają istnienia korelacji między występowaniem astmy a pływaniem w basenach [159,161]. Przeprowadzona przez Valeriani i in. metaanaliza danych [161] wskazuje, że pływanie w dzieciństwie nie zwiększa prawdopodobieństwa wystąpienia diagnozowanej przez lekarzy astmy, jednocześnie jednak autorka konkluduje, że związek choroby z uczęszczaniem na kryty basen jest nadal niejasny i wymaga kolejnych badań. Potrzebę dalszych badań w tej kwestii wskazuje również Ramachandran i in. w oparciu o dokonaną metaanalizę wyników [162].

W literaturze znajdujemy również badania wskazujące, że pływanie zarówno w dzieciństwie, jak i wieku dorosłym, nie tylko nie powoduje astmy, alergii, czy innych chorób układu oddechowego, lecz przeciwnie, przyczynia się do polepszenia czynności płuc i zmniejszonej częstotliwości występowania ataków astmy, alergicznych nieżyty nosa, czy nadreaktywności oskrzeli [159,163-166].

Zaprezentowana niespójność uzyskanych wyników może być związana z przyjętą metodologią badań, różnymi stężeniami chloramin w wodzie i powietrzu oraz obecnością innych związków w środowisku basenów, które mogą wpływać na obserwowane objawy. Goodman i Hays [157] oraz Weisel i in. [54] zauważyli, że brak korelacji dotyczy badań opierających się na dużych próbach populacyjnych, podczas gdy badania wykazujące korelację oparte są na mniejszych zbiorach danych.

Nie ma również zgodnych danych na temat rakotwórczości, genotoksyczności, mutagenności i toksyczności reprodukcyjnej chloramin [7,15,121]. W odniesieniu do rakotwórczego działania chloramin jedynie monochloramina została zaliczo-

na do grupy substancji niemożliwych do zaklasyfikowania jako rakotwórcze dla człowieka (WHO (IARC): 3; EPA (IRIS): D), co nie jest jednak jednoznaczne ze stwierdzeniem, że nie jest ona rakotwórcza [99]. Pozostałe chloraminy nie są brane pod uwagę w opracowaniach dotyczących rakotwórczości. Chloraminy i inne N-DBP są bardziej genotoksyczne niż chlorowane DBP [122,167,168]. Bardzo obszerną charakterystykę wyników badań dotyczących obecności i oddziaływania chloramin na organizmy żywe prezentuje publikacja [67].

Podsumowanie

Konieczność dezynfekcji wody w obiektach basenowych prowadzona dla zminimalizowania ryzyka infekcji wywołanych przez drobnoustroje chorobotwórcze i zapobiegania rozprzestrzenianiu się chorób zakaźnych jest niepodważalna, jednak należy mieć na uwadze również negatywne aspekty tego procesu, jak powstawanie ubocznych produktów dezynfekcji wody (DBP). W świetle licznie prowadzonych badań mogą one stanowić zagrożenie dla zdrowia publicznego. Osobami szczególnie wrażliwymi są niemowlęta, dzieci, osoby z osłabioną odpornością, lub osoby starsze ze współistniejącymi chorobami.

Niektóre związki z grupy DBP, jak trihalometany (THM), lub chloraminy (CAM) są związkami o dużej lotności, co powoduje, że w znacznych ilościach są uwalniane z wody do powietrza i wnikają do organizmu głównie na drodze inhalacyjnej. Stwarzają one zagrożenie zdrowotne, biorąc pod uwagę opisywane w literaturze własności rakotwórcze, mutagenne, genotoksyczne, toksyoreprodukcyjne, silnie podrażniające układ oddechowy, przyczynianie się do rozwoju i zaostrzenia astmy i alergii oraz wiele innych oddziaływań zdrowotnych. Szkodliwe działanie DBP jest szeroko opisywane w literaturze, głównie pod kątem ich obecności w wodzie wodociągowej. Badania skupiające się na oddziaływaniu zdrowotnym tych zanieczyszczeń występujących w fazie gazowej/aerozolowej w powietrzu są znacznie ograniczone. Dodatkowo, opracowania (także prezentowanych w tym artykule) prezentują niespójne wyniki wykazując negatywne lub pozytywne oddziaływanie zdrowotne, ale też brak stwierdzonego oddziaływania, co utrudnia jednoznaczną ocenę wpływu tych związków na zdrowie ludzkie, zwłaszcza w odniesieniu do chloramin i ich znaczenia w rozwoju/zaostrzeniu chorób astmatycznych, na co zresztą wskazują sami autorzy badań.

W przypadku narażenia na trihalometany, dla których wskazuje się na działanie rakotwórcze, obliczane ryzyka zachorowania na nowotwór (CR) przyjmując w niektórych publikowanych wynikach obliczeń alarmująco wysokie wartości, czasami wielokrotnie przekraczające poziomy ryzyka zalecane przez EPA. Sugeruje to możliwość występowania dużego zagrożenia zdrowotnego dla osób korzystających z obiektów basenowych. Należy prawdopodobnie jednak wziąć pod uwagę, że rozwój chorób nowotworowych jest procesem wieloletnim i trudno jest jednoznacznie stwierdzić, że to narażenie na związki z grupy THM jest jedyną przyczyną rozwoju nowotworu u danej osoby, która w okresie kilkunastu/kilkudziesięciu lat była ekspozowana na liczne inne związki, nie związane ze środowiskiem basenu, które również mogły przyczynić się do zachorowania. Być może z tego względu wnioski prezentowane przez WHO i specjalistów ds. zdrowia publicznego wskazują na korzystny efekt ćwiczeń fizycznych w basenach, który przeważa nad ryzykiem zdrowotnym powodowanym obecnością DBP w środowisku tych obiektów.

Dodatkowo badania narażenia osób na trihalometany często zawężane są wyłącznie do chloroformu, występującego w powietrzu w najwyższych stężeniach spośród pozostałych THM, dlatego narażenie na inne trihalometany nie jest do końca poznane i wymagane są dalsze badania w tym kierunku.

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

BIBLIOGRAFIA

[1] Zwiener C., Richardson S.D., DeMarini D.M., Grummt T., Glauner T., Frimmel F.H.: Drowning in disinfection byproducts? Assessing swimming pool water. *Environ Sci Technol.*, 2007, 41(2), p.363-372 doi: 10.1021/es062367v

[2] Weng S., Blatchley E.R. 3rd: Disinfection by-product dynamics in a chlorinated, indoor swimming pool under conditions of heavy use: national swimming competition. *Water Res.*, 2011, 45(16), p.5241-5248 https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.07.027

[3] Keuten M.G., Peters M.C., Daanen H.A., de Kreuk M.K., Rietveld L.C., van Dijk J.C.: Quantification of continual anthropogenic pollutants released in swimming pools. *Water Res.*, 2014, 53, p.259-270 doi: 10.1016/j.watres.2014.01.027

[4] 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

[5] Weil L., Jandik J., Eichelsdörfer D.: Organic halogenated compounds in swimming pool

water. Part I. Determination of volatile halogenated hydrocarbons. *Z. Wasser Abwasser Forsch.*, 1980, 13, p.165-169 (in German)

[6] Beech J.A., Diaz R., Ordaz C., Palomeque B.: Nitrites, chlorates and trihalomethanes in swimming pool water. *Am J Public Health*, 1980, 70(1), p.79-82 doi: 10.2105/ajph.70.1.79

[7] 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

[8] Xiao F., Zhang X., Zhai H., Lo I.M., Tipoe G.L., Yang M., Pan Y., Chen G.: New halogenated disinfection byproducts in swimming pool water and their permeability across skin. *Environ Sci Technol.*, 2012, 46(13), p.7112-7119 doi: 10.1021/es3010656

[9] 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/10.1007/978-2011-125

[10] Cotto 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

[11] 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

[12] Liu J., Zhang X.: Comparative toxicity of new halophenolic DBPs in chlorinated saline wastewater effluents against a marine alga: halophenolic DBPs are generally more toxic than haloaliphatic ones. *Water Res.*, 2014, 65, p.64-72 doi: 10.1016/j.watres.2014.07.024

[13] Zhai H., Zhang X., Zhu X., Liu J., Ji M.: Formation of brominated disinfection byproducts during chloramination of drinking water: new polar species and overall kinetics. *Environ Sci Technol.*, 2014, 48, p.2579-2588 doi: 10.1021/es4034765

[14] 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

[15] Daiber E.J., DeMarini D.M., Ravuri S.A., Liberatore H.K., Cuthbertson A.A., Thompson-Klemish A., Byer J.D., Schmid J.E., Afifi M.Z., Blatchley E.R., Richardson S.D.: Progressive increase in disinfection byproducts and mutagenicity from source to tap to swimming pool and spa water: impact of human inputs. *Environ Sci Technol.*, 2016, 50(13), p.6652-6662 https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00808

[16] Wang W., Qian Y., Boyd J.M., Wu M., Hruday S.E., Li X.F.: Halobenzoquinones in swimming pool waters and their formation from personal care products. *Environ Sci Technol.*, 2013, 47(7), p.3275-3282 doi: 10.1021/es304938x

[17] 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

[18] Lakind J.S., Richardson S.D., Blount B.C.: The good, the bad, and the volatile: can we have both healthy pools and healthy people? *Environ. Sci. Technol.*, 2010, 44, p.3205-3210 http://dx.doi.org/10.1021/es903241k

[19] Pavon J.L.P., Martin S.H., Pinto C.G., Cordero 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

[20] 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

[21] Anchal P., Kumari M., Gupta S.K.: Human health risk estimation and predictive modeling of halogenated disinfection by-products (chloroform) in swimming pool waters: a case study of Dhanbad, Jharkhand, India. *J Environ Health Sci Eng.*, 2020, 18(2), p.1595-1605 doi: 10.1007/s40201-020-00578-6

[22] Blatchley E.R., Cheng M.: Reaction mechanism for chlorination of urea. *Environ Sci Technol.*, 2010, 44(22), p.8529-8534 doi: 10.1021/es102423u

[23] 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

[24] Ternes T.A., Joss A., Siegrist H.: Scrutinizing pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment. *Environ Sci Technol.*, 2004, 38, p.392-399 doi: 10.1021/es040639t

[25] 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

[26] 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

[27] 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

[28] Sharifan H., Klein D., Morse A.N.: UV filters interaction in the chlorinated swimming pool, a new challenge for urbanization, a need for community scale investigations. *Environ Res.*, 2016, 148, p.273-276 doi: 10.1016/j.envres.2016.04.002

[29] Kim H., Shim J., Lee S.: Formation of disinfection by-products in chlorinated swimming pool water. *Chemosphere*, 2002, 46(11), p.123-130 doi: 10.1016/s0045-6535(00)00581-6

[30] Nassan F.L., Coull B.A., Gaskins A.J., Williams M.A., Skakkebaek N.E., Ford J.B., Ye X., Calafat A.M., Braun J.M., Hauser R.: Personal care product use in men and urinary concentrations of select phthalate metabolites

- and parabens: Results from the Environment And Reproductive Health (EARTH) Study. *Environ Health Perspect.*, 2017; 125(8), p.087012 doi: 10.1289/EHP1374
- [31] Kanan A., Selbes M., Karanfil T.: Occurrence and formation of disinfection by-products in indoor U.S. swimming pools. In: *Recent Advances in Disinfection By-Products*, 2015, Chapter 21, p. 405-430, ACS Symposium Series, 1190, American Chemical Society doi: 10.1021/bk-2015-1190.ch021
- [32] Parinet J., Tabaries S., Coulomb B., Vassalo L., Boudenne J.L.: Exposure levels to brominated compounds in seawater swimming pools treated with chlorine. *Water Res.*, 2012, 46(3), p.828-836 https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.060
- [33] Simard S., Tardif R., Rodriguez M.J.: Variability of chlorination by-product occurrence in water of indoor and outdoor swimming pools. *Water Res.*, 2013, 47(5), p.1763-1772 https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.12.024
- [34] Ak Yang L., Schmalz C., Zhou J., Zwiener C., Chang V.W.C., Ge L., Wan M.P.: An insight of disinfection by-product (DBP) formation by alternative disinfectants for swimming pool disinfection under tropical condition. *Water Res.*, 2016, 101, p.535-546 doi: 10.1016/j.watres.2016.05.088
- [35] 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
- [36] Glauner T., Waldmann P., Frimmel F.H., Zwiener C.: Swimming pool water-fractionation and genotoxicological characterization of organic constituents. *Water Res.*, 2005, 39(18), p.4494-4502 doi: 10.1016/j.watres.2005.09.005
- [37] 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
- [38] [39] Sdougkou A., Kapsalaki K., Kozari A., Pantelaki I., Vousta 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
- [39] Weaver W.A., Li J., Wen Y., Johnston J., Blatchley M.R., Blatchley E.R. 3rd: Volatile disinfection by-product analysis from chlorinated indoor swimming pools. *Water Res.*, 2009, 43(13), p.3308-3318 doi: 10.1016/j.watres.2009.04.035
- [40] Li J., Blatchley E.R. 3rd.: Volatile disinfection byproduct formation resulting from chlorination of organic-nitrogen precursors in swimming pools. *Environ Sci Technol.*, 2007, 41(19), p.6732-6739 doi: 10.1021/es070871
- [41] E Y., Bai H., Lian L., Li J., Blatchley E.R. 3rd.: Effect of chloride on the formation of volatile disinfection byproducts in chlorinated swimming pools. *Water Res.*, 2016, 105, p.413-420 doi: 10.1016/j.watres.2016.09.018
- [42] Bernard A., Carbonnelle S., Dumont X., Nickmilder M.: Infant swimming practice, pulmonary epithelium integrity, and the risk of allergic and respiratory diseases later in childhood. *Pediatrics*, 2007, 119(6), p.1095-1103 doi: 10.1542/peds.2006-3333
- [43] Bernard A., Carbonnelle S., Michel O., Higuët S., De Burbure C., Buchet J.P., Hermans C., Dumont X., Doyle I.: Lung hyperpermeability and asthma prevalence in schoolchildren: unexpected associations with the attendance at indoor chlorinated swimming pools. *Occup Environ Med.*, 2013, 60(6), p.385-94 doi: 10.1136/oem.60.6.385
- [44] Hansen K.M.S., Spiliotopoulou A., Cheema W.A., Andersen H.R.: Effect of ozonation of swimming pool water on formation of volatile disinfection by-products – A laboratory study. *Chemical Engineering Journal*, 2016, 289, p.277-285 https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.12.052
- [45] 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
- [46] Cardador M. J., Gallego M.: Haloacetic acids in swimming pools: swimmer and worker exposure. *Environ Sci Technol.*, 2011, 45(13), p.5783-5790 doi: 10.1021/es103959d
- [47] WHO: Water, Sanitation and Health Team. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 2, Swimming pools and similar environments. World Health Organization, 2006 https://apps.who.int/iris/handle/10665/43336
- [48] Zhang Yj., Zhou Ll., Zeng G., Song Zg., Li Gb.: Factors affecting the formation of trihalomethanes in the presence of bromide during chloramination. *J. Zhejiang Univ. Sci.*, 2010, 11, p.606-612 https://doi.org/10.1631/jzus.A1000100
- [49] US EPA. 2003a. User's manual swimmer exposure assessment model (SWIMMODEL) Version 3.0. U.S. Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs Antimicrobials Division https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/swimodel-users-guide.pdf
- [50] WHO: Disinfectants and Disinfectant By-Products – Environmental Health Criteria 216, 2000, https://apps.who.int/iris/handle/10665/42274
- [51] 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
- [52] Manasfi T., De Méo M., Coulomb B., Di Giorgio C., Boudenne J.-L.: Identification of disinfection by-products in freshwater and seawater swimming pools and evaluation of genotoxicity. *Environment International*, 2016, 88, p.94-102 doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.028
- [53] Weisel C.P., Richardson S.D., Nemery B., Aggazzotti G., Baraldi E., Blatchley E.R. 3rd, Blount B.C., Carlsen K.H., Eggleston P.A., Frimmel F.H., Goodman M., Gordon G., Grinshpun S.A., Heederik D., Kogevinas M., LaKind J.S., Nieuwenhuijsen M.J., Piper F.C., Sattar S.A.: Childhood asthma and environmental exposures at swimming pools: state of the science and research recommendations. *Environ Health Perspect.*, 2009, 117(4), p.500-507 doi: 10.1289/ehp.11513.
- [54] 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.
- [55] Bradford W.L.: What bathers put into a pool: a critical review of body fluids and a body fluid analog. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 2014, 8, p.168-181 doi: 10.1123/ijare.2013-0028
- [56] Carter R.A.A., Joll C.A.: Occurrence and formation of disinfection by-products in the swimming pool environment: A critical review. *J Environ Sci.*, 2017, 58, p.19-50 https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.06.013
- [57] Hirokawa T., Okamoto H., Gosyo Y., Tsuda T., Timerbaev A.R.: Simultaneous monitoring of inorganic cations, amines and amino acids in human sweat by capillary electrophoresis. *Anal Chim Acta*, 2007, 581(1), p.83-8 doi: 10.1016/j.aca.2006.07.077
- [58] Montain S.J., Chevront S.N., Lukaski H.C.: Sweat mineral-element responses during 7 h of exercise-heat stress. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, 2007, 17(6), p.74-582 doi: 10.1123/ijsnem.17.6.574
- [59] Schmalz C., Frimmel F.H., Zwiener C.: Trichloramine in swimming pools – Formation and mass transfer, *Water Research*, 2011, 45(8), p.2681-2690, https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.02.024
- [60] De Laat J., Feng W., Freyfer D.A., Dossier-Berne F.: Concentration levels of urea in swimming pool water and reactivity of chlorine with urea. *Water Res.*, 2011, 45(3), p.1139-1146 doi: 10.1016/j.watres.2010.11.005
- [61] Weng S., Li J., Blatchley E.R. 3rd.: Effects of UV 254 irradiation on residual chlorine and DBPs in chlorination of model organic-N precursors in swimming pools. *Water Res.*, 2012, 46(8), p.2674-82doi: 10.1016/j.watres.2012.02.017
- [62] Wyczarska-Kokot J.: Porównanie stężeń chloramin w wodzie basenowej w zależności od funkcji basenu. *Proceedings of ECCOpole*, 2015, 9(1), p.357-363 doi:10.2429/proc.2015.9(1)045
- [63] Afifi M.Z., Blatchley E.R.: Seasonal dynamics of water and air chemistry in an indoor chlorinated swimming pool. *Water Res.*, 2015, 68, p.771-783 doi: 10.1016/j.watres.2014.10.037
- [64] Wolfe R.L., Ward N.R., Olson B.H.: Inorganic chloramines as drinking water disinfectants: a review. *J. Am. Water Works Assoc.*, 1984, 76(5), p.74-88 doi:10.1002/J.15518833.1984.TB05337.X
- [65] Florentin A., Hautemanière A., Hartemann P.: Health effects of disinfection by-products in chlorinated swimming pools, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2011, 214(6), p.461-469 doi:10.1016/j.ijheh.2011.07.012
- [66] Wastensson 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
- [67] Couto M., Bernard A., Delgado L., Drobnic F., Kurowski M., Moreira A., Rodrigues-Alves R., Rukhadze M., Seys S., Wiszniewska M., Quirce S.: Health effects of exposure to chlorination by-products in swimming pools. *Allergy*, 2021, 76(11), p.3257-3275 doi: 10.1111/all.15014
- [68] 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
- [69] Baxter R.C.: Designing for IAQ in natatoriums. *ASHRAE Journal*, 2012, 54, p.24-32
- [70] 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>
- [71] Lindstrom A., Pleil J., Berkoff D.: Alveolar breath sampling and analysis to assess trihalomethane exposures during competitive swimming training. *Environ Health Perspect.*, 1997, 105(6), p.636-642 doi: 10.1289/ehp.97105636
- [72] 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.
- [73] Avsar E., Avsar D.D., Hayta S.: Evaluation of disinfection by-product (DBP) formation and fingerprint in a swimming pool in Bitlis/Turkey: a case study. *Environmental forensics*, 2020, 21(3-4), p.375-385 doi: 10.1080/015275922.2020.1772413
- [74] 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
- [75] 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.
- [76] 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.
- [77] Lee J., Ha K.T., Zah 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.
- [78] Villanueva C.M., Font-Ribera L.: Health impact of disinfection byproducts in swimming pools. *Ann Ist Super Sanita*, 2012; 48(4), p.387-396 doi: 10.4415/ANN_12_04_06
- [79] 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
- [80] 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
- [81] 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
- [82] Levesque B., Ayoitte P., Tardif R., Charest-Tardif G., Dewailly E., Prud'Homme D., Gingras G., Allaire S.: Evaluation of the health risk associated with exposure to chloroform in indoor swimming pools. *J Toxicol Environ Health A.*, 2000, 61, p.225-243 doi: 10.1080/00984100050136553
- [83] Dyck R., Sadiq R., Rodriguez M.J., Simard S., Tardif R.: Trihalomethane exposures in indoor swimming pools: a level III fugacity model. *Water Res.*, 2011, 45(16), p.5084-5098 doi: 10.1016/j.watres.2011.07.005
- [84] Thompson K.M.: Changes in children's exposure as a function of age and the relevance of age definitions for exposure and health risk assessment. *MedGenMed.*, 2004, 6(3), p.2 PMID: 15520624
- [85] WHO: Children are not little adults. *Children's Health and the Environment WHO Training Package for the Health Sector 2008.* WHO/CED/PHE/EPE/19.12.07 <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-EPE-19.12.07>
- [86] Couto M., Bernard A., Delgado L., Drobnic F., Kurowski M., Moreira A., Rodrigues-Alves R., Rukhadze M., Seys S., Wiszniewska M., Quirce S.: Health effects of exposure to chlorination by-products in swimming pools. *Allergy*, 2021, 76(11), p.3257-3275 doi: 10.1111/all.15014
- [87] Erdinger K., Kühn L., Gabrio T.: Formation of trihalomethanes in swimming pool water – identification of precursors and kinetics of formation. *Proceedings of the 1st International Conference of Health and Water Quality Aspects of the Man Made Recreational Water Environment*; 10-11 March, 2005; Budapest
- [88] Bożym M., Wzorek M., Kłosok-Bazan I.: Health risk as a consequence of exposure to trihalomethanes in swimming pool water. *Rocz Panstw Zakl Hig.*, 2017, 68(4), p.331-337 PMID: 29264908
- [89] van Veldhoven K., Keski-Rahkonen P., Barupal D.K., Villanueva C.M., Font-Ribera L., Scalbert A., Bodinier B., Grimalt J.O., Zwerner C., Vlaanderen J., Portengen L., Vermeulen R., Vineis P., Chadeau-Hyam M., Kogevinas M.: Effects of exposure to water disinfection by-products in a swimming pool: A metabolome-wide association study. *Environ Int.*, 2018, 111, p.60-70 doi: 10.1016/j.envint.2017.11.017
- [90] Xu X., Weisel C.P.: Inhalation Exposure to Haloacetic Acids and Haloketones during Showering. *Environ. Sci. Technol.* 2003, 37(3), p.569-576 <https://doi.org/10.1021/es025747z>
- [91] 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
- [92] Cammann K., Hubner K.: Trihalomethane concentrations in swimmers' and bath attendants' blood and urine after swimming or working in indoor swimming pools. *Arch Environ Health*, 1995, 50(1), p.61-65 doi: 10.1080/00039896.1995.9955013
- [93] Caro J., Gallego M.: Assessment of exposure of workers and swimmers to trihalomethanes in an indoor swimming pool. *Environ Sci Technol.*, 2007, 41(13), p.4793-4798 doi: 10.1021/es070084c
- [94] 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
- [95] 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
- [96] Aggazzotti G., Fantuzzi G., Righi E., Tartoni P., Cassinadi T., Predieri G.: Chloroform in alveolar air of individuals attending indoor swimming pools. *Arch Environ Health*, 1993, 48(4), p.250-254 doi: 10.1080/00039896.1993.9940368
- [97] 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
- [98] WHO: Guidelines for Drinking-water Quality. 2017 <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- [99] EPA (IRIS): Chloroform; CASRN 67-66-3. Washington, D.C., 1987 https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0025_summary.pdf
- [100] EPA (IRIS): Bromodichloromethane; CASRN 75-27-4. Washington, D.C., 1987 https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0213_summary.pdf
- [101] EPA (IRIS): Bromoform; CASRN 75-25-2. Washington, D.C., 1987 https://iris.epa.gov/static/pdfs/0214_summary.pdf
- [102] EPA (IRIS): Dibromochloromethane; CASRN 124-48-1. Washington, D.C., 1987 https://iris.epa.gov/static/pdfs/0222_summary.pdf
- [103] US EPA: Human Health Benchmarks in Multimedia, Multipathway, and Multireceptor Risk Assessment (3MRA) Modeling System – Volume II: Site-based, Regional, and National Data. US EPA archive document – 2-chap15.pdf https://www.google.com/url?sa=t&rc=tj&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwitlDxpN_kAhVPKlAKHY0TA1IQFjAAegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Farchive.epa.gov%2Fepawaste%2Fhazard%2Fweb%2Fpdf%2F2-chap15.pdf&usq=AOvYaw33MHsyvHLOf-5k1obJJN-yZ
- [104] Risk Assessment Information System (RAIS) (2010). <http://rais.ornl.gov>. Accessed 15 June 2022
- [105] Cal/EPA California Environmental Protection Agency (Cal/EPA) (2010) <http://www.calepa.ca.gov>.
- [106] EPA Guidelines for Carcinogen Risk Assessment, <https://www.epa.gov/risk/guidelines-carcinogen-risk-assessment>
- [107] US EPA: Integrated Risk Information System (electronic data base). U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. <https://www.epa.gov/iris/basic-information-about-integrated-risk-information-system>
- [108] Hang C., Zhang B., Gong T., Xian Q.: Occurrence and health risk assessment of halogenated disinfection byproducts in indoor swimming pool water. *Sci Total Environ.*, 2016, 543(A), p.425-431 doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.055
- [109] Kanan A.: Occurrence and formation of disinfection by-products in indoor swimming pools water. Clemson University, 2010 https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1532&context=all_dissertations
- [110] Anchal P., Kumari M., Gupta S.K.: Human health risk estimation and predictive modeling of halogenated disinfection by-products (chloroform) in swimming pool waters: a case study of Dhanbad, Jharkhand, India. *J Environ Health Sci Eng.*, 2020, 18(2), p.1595-1605 doi: 10.1007/s40201-020-00578-6
- [111] Dehghani M, Shahsavani S, Mohammadpour A, Jafarian A, Arjmand S, Rasekhi MA,

- Dehghani S, Zaravar F, Derakhshan Z, Ferrante M, Oliveri Conti G.: Determination of chloroform concentration and human exposure assessment in the swimming pool. *Environ Res.*, 2022, 203, p.111883 doi: 10.1016/j.envres.2021.111883
- [112] 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
- [113] 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
- [114] Espín-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
- [115] 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
- [116] King W.D., Marrett L.D., Woolcott C.G.: Case-control study of colon and rectal cancers and chlorination byproducts in treated water. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, 20009, p.813-818 PMID: 10952098
- [117] 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
- [118] Villanueva C.M., Cantor K.P., Grimalt J.O., Malats N., Silverman D., Tardon A., Garcia-Closas R., Serra C., Carrato A., Castaño-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(2), p.148-156 doi: 10.1093/aje/kwj364
- [119] Jeong C.H., Postigo C., Richardson S.D., Simmons J.E., Kimura S.Y., Marinas B.J., Barcelo D., Liang P., Wagner E.D., Plewa M.J.: Occurrence and comparative toxicity of haloacetaldehyde disinfection byproducts in drinking water. *Environ. Sci. Technol.*, 2015, 49, p.13749-13759 doi: 10.1021/es506358x
- [120] Kogevinas M., Villanueva C.M., Font-Ribera L., Liviác D., Bustamante M., Espinoza 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(11), p.1531-1537 doi: 10.1289/ehp.1001959
- [121] Richardson S.D., Plewa M.J., Wagner E.D., Schoeny R., Demarini D.M.: Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: a review and roadmap for research. *Mutat Res.*, 2007, 636(1-3), p.178-242 doi: 10.1016/j.mrev.2007.09.001
- [122] ANSES (French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety), Evaluation des risques sanitaires liés aux piscines. Partie I: piscines réglementées. ANSES, 2011, p.244 (report in French available at: <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2007sa0409Ra.pdf>)
- [123] Bove F., Shim Y., Zeitz P.: Drinking water contaminants and adverse pregnancy outcomes: a review. *Environ Health Perspect.*, 2002, 110 (Suppl 1), p.61-74 doi: 10.1289/ehp.02110s161
- [124] 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
- [125] Hwang B.F., Jaakkola J.J.: Risk of stillbirth in the relation to water disinfection by-products: a population-based case-control study in Taiwan. *PLoS One.*, 2012, 7(3), p.33949 doi: 10.1371/journal.pone.0033949
- [126] Levallois P., Gingras S., Marcoux S., Legay C., Catto C., Rodriguez M., Tardif R.: Maternal exposure to drinking-water chlorination by-products and small-for-gestational-age neonates. *Epidemiology*, 2012, 23(2), p.267-276 doi: 10.1097/EDE.0b013e3182468569. Erratum in: *Epidemiology*, 2013, 24(2), p.339
- [127] Aggazzotti G., Righi E., Fantuzzi G., Biasotti B., Ravera G., Kanitz S., Barbone F., Sansebastiano G., Battaglia M.A., Leoni V., Fabiani L., Triassi M., Sciacca S., Collaborative Group for the Study of Chlorinated Drinking Waters and Pregnancy: Chlorination by-products (CBPs) in drinking water and adverse pregnancy outcomes in Italy. *J Water Health.*, 2004, 2(4), p.233-247 PMID: 15666965
- [128] Nieuwenhuijsen M.J., Martinez D., Grellier J., Bennett J., Best N., Iszatt N., Vrijheid M., Toledano M.B.: Chlorination disinfection by-products in drinking water and congenital anomalies: review and meta-analyses. *Environ Health Perspect.*, 2009, 117(10), p.1486-1493 doi: 10.1289/ehp.0900677
- [129] 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
- [130] Patelarou E., Kargaki S., Stephanou EG, Nieuwenhuijsen M, Sourtzi P, Gracia E, Chatzi L, Koutis A, Kogevinas M.: Exposure to brominated trihalomethanes in drinking water and reproductive outcomes. *Occup Environ Med.*, 2011, 68(6), p.438-445 doi: 10.1136/oem.2010.056150
- [131] 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
- [132] Juhl M., Kogevinas M., Andersen P.K., Andersen A.M., Olsen J.: Is swimming during pregnancy a safe exercise? *Epidemiology*, 2010, 21(2), p.253-258 doi: 10.1097/EDE.0b013e3181cb6267
- [133] Villanueva C.M., Gracia-Lavedan E., Ibarluzea J., Santa Marina L., Ballester F., Llop S., Tardón 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
- [134] Dowty B.J., Laseter J.L., Storer J.: The transplacental migration and accumulation in blood of volatile organic constituents. *Pediatr Res.*, 1976, 10(7), p.696-701 doi: 10.1203/00006450-197607000-00013
- [135] Tardiff R.G., Carson M.L., Ginevan M.E.: Updated weight of evidence for an association between adverse reproductive and developmental effects and exposure to disinfection by-products. *Regul Toxicol Pharmacol.*, 2006, 45(2), p.185-205 doi: 10.1016/j.yrtph.2006.03.001
- [136] Nickmilder M., Bernard A.: Associations between testicular hormones at adolescence and attendance at chlorinated swimming pools during childhood. *Int J Androl.*, 2011, 34(5), p.446-458 doi: 10.1111/j.1365-2605.2011.01174.x
- [137] 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
- [138] 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
- [139] 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
- [140] Voisin C., Sardella A., Marcucci F., Bernard A.: Infant swimming in chlorinated pools and the risks of bronchiolitis, asthma and allergy. *Eur Respir J.*, 2010, 36(1), p.41-47 doi: 10.1183/09031936.00118009
- [141] Löfstedt H., Westerlund J., Graff P., Bryngelsson I.L., Mölley 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
- [142] Llana-Belloch S., Priego Quesada J.I., Pérez-Soriano P., Lucas-Cuevas Á.G., Salvador-Pascual A., Oloso-González G., Moliner-Martínez Y., Verdú-Andrés J., Campins-Falco P., Gómez-Cabrera M.C.: Disinfection by-products effect on swimmers oxidative stress and respiratory damage. *Eur J Sport Sci.*, 2016, 16(5), p.609-617 doi: 10.1080/17461391.2015.1080306
- [143] Päivinen M., Keskinen K., Putus T., Kujala U.M., Kalliokoski P., Tikkanen H.O.: Asthma, allergies and respiratory symptoms in different activity groups of swimmers exercising in swimming halls. *BMC Sports Sci Med Rehabil.*, 2021, 13(1), p.119 doi: 10.1186/s13102-021-00349-2
- [144] Voisin C., Sardella A., Bernard A.: Risks of new-onset allergic sensitization and airway inflammation after early age swimming in chlorinated pools. *Int J Hyg Environ Health*, 2014, 217(1), p.38-45 doi: 10.1016/j.ijheh.2013.03.004
- [145] Kanikowska K., Napiórkowska-Baran K., Graczyk M., Kucharski M.A.: Influence of chlorinated water on the development of allergic diseases – An overview. *Ann Agric*

- Environ Med., 2018, 25(4), p.651-655 doi: 10.26444/aaem/79810
- [146] Carbonnelle S., Francaux M., Doyle J., Dumont X., de Burbure C., Morel G., Michel O., Bernard A.: Changes in serum pneumoproteins caused by short-term exposures to nitrogen trichloride in indoor chlorinated swimming pools. *Biomarkers*, 2002, 7(6), p.464-478 doi: 10.1080/13547500210166612
- [147] Bernard A., Carbonnelle S., Dumont X., Nickmilder M.: Infant swimming practice, pulmonary epithelium integrity, and the risk of allergic and respiratory diseases later in childhood. *Pediatrics*, 2007, 119(6), p.1095-1103 doi: 10.1542/peds.2006-3333
- [148] Bernard A., Nickmilder M., Voisin C.: Outdoor swimming pools and the risks of asthma and allergies during adolescence. *Eur Respir J*, 2008, 32(4), p.979-88 doi: 10.1183/09031936.00114807
- [149] Andersson M., Backman H., Nordberg G., Hagenbjörk A., Hedman L., Eriksson K., Forsberg B., Rönmark E.: Early life swimming pool exposure and asthma onset in children – a case-control study. *Environ Health*, 2018, 17(1), p.34 doi: 10.1186/s12940-018-0383-0
- [150] Lévesque B., Duchesne J.F., Gingras S., Lavioie 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.
- [151] Bougault V., Turmel J., Levesque B., Boulet L.P.: The respiratory health of swimmers. *Sports Med.*, 2009, 39(4), p.295-312 doi: 10.2165/00007256-200939040-00003
- [152] 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), p.28-34 doi: 10.3810/psm.2010.12.1822.
- [153] Boulet L.P.: Cough and upper airway disorders in elite athletes: a critical review. *Br J Sports Med.*, 2012, 46(6), p.417-421 doi: 10.1136/bjsports-2011-090812
- [154] Päivinen M., Putus T., Kalliokoski P., Tikkanen H.: Airway obstruction in competitive swimmers. *Health*, 2013, 5, p.460-464. doi: 10.4236/health.2013.53062
- [155] Päivinen M.K., Keskinen K.L., Tikkanen H.O.: Swimming and Asthma: Differences between Women and Men. *J Allergy (Cairo)*, 2013, p.520913 doi: 10.1155/2013/520913
- [156] Goodman M., Hays S.: Asthma and swimming: a meta-analysis. *J Asthma*, 2008, 45(8), p.639-647 doi: 10.1080/02770900802165980
- [157] Rosimini C.: Benefits of swim training for children and adolescents with asthma. *J Am Acad Nurse Pract.*, 2003, 15(6), p.247-252 doi: 10.1111/j.1745-7599.2003.tb00394.x
- [158] Font-Ribera L., Villanueva C.M., Nieuwenhuisen M.J., Zack J.P., Kogevinas M., Henderson J.: Swimming pool attendance, asthma, allergies, and lung function in the Avon Longitudinal Study of Parents and Children cohort. *Am J Respir Crit Care Med.*, 2011, 183(5), p.582-588 doi: 10.1164/rccm.201005-0761OC
- [159] Weisgerber M.C., Guill M., Weisgerber J.M., Butler H.: Benefits of swimming in asthma: effect of a session of swimming lessons on symptoms and PFTs with review of the literature. *J Asthma*, 2003, 40(5), p.453-464 doi: 10.1081/jas-120018706
- [160] Valeriani F., Protano C., Vitali M., Romano Spica V.: Swimming attendance during childhood and development of asthma: Meta-analysis. *Pediatr Int.*, 2017, 59(5), p.614-621 doi: 10.1111/ped.13230
- [161] Ramachandran H.J., Jiang Y., Shan C.H., Tam W.W.S., Wang W.: A systematic review and meta-analysis on the effectiveness of swimming on lung function and asthma control in children with asthma. *Int J Nurs Stud.*, 2021, 120, p.103953 doi: 10.1016/j.ijnurstu.2021.103953
- [162] Kohlhammer Y., Döring A., Schäfer T., Wichmann H.E., Heinrich J.: KORA Study Group. Swimming pool attendance and hay fever rates later in life. *Allerg*, 2006, 61(11), p.1305-1309 doi: 10.1111/j.1398-9995.2006.01229.x
- [163] Rasmussen F., Lambrechtsen J., Siersted H.C., Hansen H.S., Hansen N.C.: Low physical fitness in childhood is associated with the development of asthma in young adulthood: the Odense schoolchild study. *Eur Respir J*, 2000, 16(5), p.866-870 doi: 10.1183/09031936.00.16586600
- [164] Sherriff A., Maitra A., Ness A.R., Mattocks C., Riddoch C., Reilly J.J., Paton J.Y., Henderson A.J.: Association of duration of television viewing in early childhood with the subsequent development of asthma. *Thorax*, 2009, 64(4), p.321-325 doi: 10.1136/thx.2008.104406
- [165] Shaaban R., Leynaert B., Soussan D., Antó J.M., Chinn S., de Marco R., Garcia-Aymerich J., Heinrich J., Janson C., Jarvis D., Sunyer J., Svanes C., Wjst M., Burney P.G., Neukirch F., Zureik M.: Physical activity and bronchial hyperresponsiveness: European Community Respiratory Health Survey II. *Thorax*, 2007, 62(5), p.403-10 doi: 10.1136/thx.2006.068205
- [166] Muellner M.G., Wagner E.D., Mccalla K., Richardson S.D., Woo Y.T., Plewa M.J.: Haloacetonitriles vs. regulated haloacetic acids: are nitrogen-containing DBFs more toxic? *Environ. Sci. Technol.*, 2007, 41, p.645-651 doi: 10.1021/es0617441
- [167] Plewa M.J., Wagner E.D., Muellner M.G., Hsu K.-M., Richardson S.D.: Comparative mammalian cell toxicity of N-DBPs and C-DBPs. In: *Disinfection By-Products in Drinking Water*, ACS Symposium Series, American Chemical Society, Washington DC, 2008 doi: 10.1021/bk-2008-0995.ch003