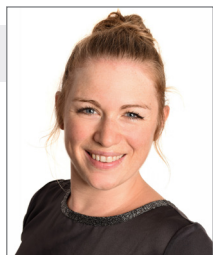




Wpływ sposobu użytkowania krytej pływalni na jakość powietrza w hali basenowej – studium przypadku

The impact of indoor swimming pool usage patterns on air quality in the pool hall – a case study



Dr hab. inż. Katarzyna Ratajczak, prof. PP

ORCID ID: [0000-0002-6950-8262](https://orcid.org/0000-0002-6950-8262)
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Poznańska
katarzyna.m.ratajczak@put.poznan.pl



Mgr inż. Małgorzata Kieszowska-Krzewicka

ORCID ID: [0009-0002-7763-3327](https://orcid.org/0009-0002-7763-3327)
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Poznańska

Słowa kluczowe: basen, wentylacja, jakość powietrza w pomieszczeniach

Streszczenie

Kryte pływalnie są obiektami o specyficznych warunkach środowiska wewnętrznego, wynikających z podwyższonej temperatury i wilgotności powietrza oraz obecności lotnych ubocznych produktów dezynfekcji wody basenowej. Celem badań była ocena wpływu sposobu użytkowania krytej pływalni na wybrane parametry powietrza w hali basenowej. Badania przeprowadzono w rzeczywistym obiekcie basenowym w okresie sześciu dni. W analizowanym okresie wyróżniono trzy tryby użytkowania obiektu: normalny, nocny oraz intensywny, obejmujący zawody pływackie. W sposób ciągły rejestrowano temperaturę i wilgotność względną powietrza oraz stężenia dwutlenku węgla (CO_2) i trichloraminy (NCl_3), a podczas zawodów dodatkowo liczbę osób przebywających w hali. Temperatura powietrza pozostawała stosunkowo stabilna we wszystkich analizowanych trybach. W trybie nocnym stwierdzono najwyższą średnią wilgotność względną oraz najniższe stężenia NCl_3 , które przez część okresu były zbliżone do zera. Podczas normalnego i intensywnego użytkowania niekiedy stężenia NCl_3 były wyraźnie wyższe i charakteryzowały się dużą zmiennością. Najwyższe średnie stężenie CO_2 odnotowano w trybie intensywnego użytkowania, kiedy w hali przebywała największa liczba osób. Wyniki wskazują, że sposób użytkowania obiektu jest związany ze zmianami parametrów powietrza, szczególnie stężeń CO_2 i NCl_3 . Stężenie CO_2 odzwierciedla przede wszystkim całkowite obciążenie hali użytkownikami, natomiast stężenie NCl_3 było silniej związane z użytkowaniem niekiedy i aktywnością pływaków. Uzyskane wyniki mogą być przydatne przy opracowywaniu sposobów sterowania wentylacją uwzględniających zmienne obciążenie pływalni.

Keywords: swimming pool, ventilation, indoor air quality

Abstract

Indoor swimming pools are characterized by specific indoor environmental conditions resulting from elevated air temperature and humidity, as well as the presence of volatile disinfection by-products formed in pool water. The aim of the study was to assess the impact of the mode of use of an indoor swimming pool on selected air parameters in the pool. The study was conducted in an operating indoor swimming pool facility over a six-day period. Three modes of facility use were distinguished: normal use, night-time operation, and intensive use, including swimming competitions. Air temperature, relative humidity, carbon dioxide (CO_2) concentration, and trichloramine (NCl_3) concentration were monitored continuously, and during the competitions the number of occupants in the pool was additionally recorded. Air temperature remained relatively stable in all analysed operating modes. During the night-time mode, the highest mean relative humidity and the lowest NCl_3 concentrations were observed, with values close to zero during part of this period. During normal and intensive use of the pool, NCl_3 concentrations were clearly higher and showed considerable variability. The highest mean CO_2 concentration was recorded during intensive use, when the number of occupants in the pool was also the highest. The results indicate that the mode of facility use is associated with changes in air parameters, particularly CO_2 and NCl_3 concentrations. CO_2 concentration primarily reflects the total occupancy load of the pool, whereas NCl_3 concentration was more strongly associated with pool use and swimmers' activity. The results may be useful in developing ventilation control strategies that account for variable occupancy and use of indoor swimming pool facilities.

Wstęp

Ludzie są narażeni zarówno na zanieczyszczenia powietrza zewnętrznego, jak i na zanieczyszczenia emitowane wewnątrz pomieszczeń (Lovrić i in., 2025). Osoby żyjące we współczesnych społeczeństwach spędzają nawet 90% czasu w zamkniętych pomieszczeniach (Wu i in., 2007). Zapewnienie odpowiedniej jakości powietrza wewnątrz-

nego w przestrzeniach zamkniętych jest zatem istotne dla zdrowia i komfortu użytkowników (Quang i in., 2025). Dotyczy to również obiektów sportowych, w których znaczna liczba osób podejmuje regularną aktywność fizyczną. Według danych Eurobarometru wynika, że 38% respondentów podejmuje aktywność fizyczną co najmniej raz w tygodniu, natomiast 6% pięć razy w tygodniu lub częściej. Najwyższy odsetek osób regularnie uprawiających sport

(co najmniej raz w tygodniu) odnotowano w Finlandii (71%), Luksemburgu (63%) i Holandii (60%) (European Commission, 2022).

Obiekty sportowe stanowią więc istotną kategorię przestrzeni, w których użytkownicy mogą spędzać znaczną część czasu przeznaczoną na aktywność fizyczną. Szczególnym rodzajem takich obiektów są kryte pływalnie. Na świecie istnieje około 13 milionów basenów, z czego około 4,4 miliona znajduje się w Europie (Mplougoura i in., 2025). Pływanie jest jedną z najpopularniejszych form aktywności fizycznej (Ward, 2017), a kryte baseny umożliwiają całoroczne uprawianie pływania niezależnie od warunków atmosferycznych.

Środowisko krytej pływalni obejmuje dwa wzajemnie powiązane obszary: środowisko wodne, czyli wodę w nieckach basenowych, oraz środowisko powietrzne hali basenowej. W Polsce wymagania jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach określono w Obwieszczeniu Ministra Zdrowia z dnia 10 maja 2022 r. (Dz.U. 2022 poz. 1230), które wskazuje dopuszczalne wartości wybranych parametrów oraz zasady monitorowania jakości wody. Właściwy państwowy inspektor sanitarny dokonuje zbiorczej rocznej oceny, czy woda na pływalni odpowiada wymaganiom. Nie rzadziej niż co 4 godziny, w czasie funkcjonowania pływalni, należy rejestrować w wodzie wartość pH, potencjał redox, stężenie chloru wolnego i temperaturę, natomiast nie rzadziej niż raz na dobę należy rejestrować chlor związany. Dodatkowe wymagania fizykochemiczne wody w nieckach basenowych obejmują również okresowe oznaczanie m.in. mętności, chloroformu oraz sumy trihalometanów (THM), do których należą oznaczanie mętności, chloroformu i sumy trihalometanów (THM), do których zalicza się trichlorometan, bromodichlorometan, dibromochlorometan i tribromometan. Oznacza to, że jakość wody basenowej podlega systematycznej kontroli. Odmienne przedstawia się natomiast kwestia jakości powietrza w hali basenowej, dla której wymagania nie są równie jednoznacznie sprecyzowane.

W odniesieniu do warunków termiczno-wilgotnościowych przyjmuje się, że temperatura powietrza powinna być wyższa od temperatury wody o około 2 K (co zazwyczaj oznacza zakres od 28 do 32°C dla basenów rekreacyjnych i sportowych), a wilgotność względna mieści się w przedziale 50–60%. W Europie, wobec braku ujednoliconych przepisów wymagania dotyczące parametrów powietrza są przyjmowane na poziomie krajowym lub lokalnym (Gabriel i in., 2019). W Polsce parametry powietrza takie jak stężenie CO₂, stężenie chloraminy lub THM nie są rutynowo monitorowane w powietrzu na hali basenowej. Tymczasem ocena warunków w tego typu obiektach nie powinna ograniczać się wyłącznie do temperatury i wilgotności powietrza. Jakość powietrza w obiektach basenowych jest związana z powstawaniem i obecnością lotnych ubocznych produktów dezynfekcji (DBP, Disinfection By-Products), a na ich powstawanie i emisję mogą wpływać m.in. liczba kąpielących oraz zachowania higieniczne użytkowników (Lee i in., 2023). Hale basenowe są uznawane za środowisko agresywne, a występujące w nich zanieczyszczenia mogą oddziaływać na zdrowie użytkowników i pracowników. Część autorów podkreśla związek ekspozycji na chloraminy z występowaniem niekorzystnych skutków zdrowotnych m.in. podrażnienia oczu czy górnych dróg od-

dechowych (Chowdhury i in., 2014); (Lévesque i in., 2015); (Blatchley i in., 2026). Jednym z istotnych zanieczyszczeń występujących w krytych halach basenowych jest trichloramina (NCl₃), która jest lotnym związkiem o wyczuwalnym zapachu (Schmalz i in., 2011). Trichloramina jest przenoszona z fazy ciekłej do fazy gazowej w wyniku emisji z powierzchni wody basenowej (Weng i in., 2011). Znaczenie tego zanieczyszczenia potwierdzają również badania epidemiologiczne prowadzone wśród osób zawodowo przebywających w halach basenowych. Badania pracowników krytych pływalni wykazują, że szczególnie narażeni na działanie trichloraminy są ratownicy i trenerzy, którzy częściej zgłaszali objawy kataru, utraty głosu czy przeziębienia (Fantuzzi i in., 2013).

Stężenie zanieczyszczeń w powietrzu hali basenowej jest jednak wynikiem nie tylko procesów zachodzących w wodzie i intensywności użytkowania niecki, lecz także sposobu wentylacji obiektu. Ograniczenie stężenia trichloraminy w powietrzu zależy nie tylko od procesów zachodzących w wodzie basenowej, lecz także od działania systemu wentylacji mechanicznej (Proulx & Hallé, 2022). System wentylacji mechanicznej jest jednym z kluczowych elementów wyposażenia technicznego krytych basenów, odpowiadającym m.in. za odprowadzenie zysków ciepła i wilgoci w celu utrzymania wymaganych warunków środowiska wewnętrznego (Ciuman & Lipska, 2018). Organizacja nawiewu i wywiewu powietrza w hali basenowej może odbywać się na kilka sposobów, przy czym jednym z często stosowanych rozwiązań jest wentylacja mieszająca z przepływem powietrza od dołu do góry. W tego typu systemach spotyka się różne lokalizacje elementów nawiewnych i wywiewnych. Jednym z rozwiązań są nawiewniki szczelinowe umieszczone w podłodze po obu stronach hali przy przeszkleńiu, przy jednoczesnym usuwaniu powietrza przez wywiewniki zlokalizowane centralnie nad nieką pod sufitem (Ciuman & Kaczmarczyk, 2021). W przypadku obiektów o wysokiej efektywności energetycznej możliwe jest obniżenie krotności wymian powietrza, a także ograniczenie lub wyeliminowanie recyrkulacji powietrza, bez jednoczesnego zwiększania ryzyka kondensacji (Rojas & Grove-Smith, 2018). Należy przy tym podkreślić, że brak systemu wentylacji lub jego niewłaściwe działanie w krytej pływalni może powodować m.in. skraplanie pary wodnej, sprzyjające rozwojowi grzybów i pleśni (Ciuman & Lipska, 2018). Prawidłowa kontrola temperatury i wilgotności nie oznacza jednak automatycznie zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza pod względem obecności zanieczyszczeń chemicznych. Konwencjonalne systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji stosowane w krytych basenach mogą nie być wystarczająco skuteczne w ograniczaniu krótkotrwałych wzrostów stężenia NCl₃ (Blatchley i in., 2026).

Warunki w hali basenowej mogą przy tym ulegać istotnym zmianom w zależności od sposobu użytkowania obiektu. Szczególnym przypadkiem są okresy intensywnego użytkowania, takie jak zawody pływackie, podczas których jednocześnie wzrasta liczba osób przebywających w hali oraz aktywność pływaków w nieckach. Może to prowadzić do zmian zarówno parametrów związanych z obecnością użytkowników, takich jak stężenie CO₂, jak i stężenia zanieczyszczeń charakterystycznych dla środowiska basenowego, w tym trichloraminy. W związku

z powyższym celem niniejszej pracy jest ocena wpływu sposobu użytkowania krytej pływalni na wybrane parametry jakości powietrza w hali basenowej. Analizie poddano trzy charakterystyczne tryby funkcjonowania obiektu: normalne użytkowanie, okres nocny bez użytkowników oraz intensywne użytkowanie podczas zawodów pływackich. Oceniono zmienność temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz stężenia CO_2 i NCl_3 , ze szczególnym uwzględnieniem różnic pomiędzy analizowanymi trybami użytkowania.

Materiały i metody

Badania przeprowadzono w krytej pływalni wyposażonej w system wentylacji nawiewno-wywiewnej obsługujący halę basenową i trybuny. W obiekcie zastosowano cztery centrale wentylacyjne. Maksymalna wydajność powietrza pojedynczej centrali wynosi $25\,000\text{ m}^3/\text{h}$ (łącznie $100\,000\text{ m}^3/\text{h}$). Dwie centrale obsługują nawiewy podłogowe na hali basenowej, natomiast pozostałe dwie obsługiwały strefę trybun. Temperatura wody wynosiła 28°C , stężenie chloru wolnego i związanego utrzymywano na poziomie zgodnym z obowiązującymi wymaganiami dotyczącymi jakości wody basenowej.

Studium przypadku dotyczyło obiektu składającego się z dwóch nieek:

- basenu sportowego - o wymiarach $51,5\text{ m} \times 26\text{ m} \times 2,5\text{ m}$, wyposażonego w 10 torów pływackich. W zależności od potrzeb basen może zostać podzielony za pomocą ruchomego pomostu na dwa odcinki po 25 metrów.
- basenu z ruchomą podłogą – o wymiarach $30\text{ m} \times 25\text{ m}$, z możliwością regulacji głębokości w zakresie od 0 do 5 m. Ruchome dno może być regulowane niezależnie w dwóch częściach niecki.

Od 22 do 27 listopada 2024, w okresie zimowym przy użyciu przenośnego urządzenia NEMO TC (Ethera, France) umożliwiającego ciągłą rejestrację wybranych parametrów jakości powietrza. Pomiary wykonywano w interwałach dziesięciominutowych i obejmowały one: temperaturę, ($^\circ\text{C}$), wilgotność względną (%), stężenie dwutlenku węgla (CO_2 , ppm) i stężenie trichloraminy (NCl_3 , $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Lokalizacja punktu pomiarowego została dobrana tak, aby rejestrowane wartości odzwierciedlały warunki w strefie przebywania użytkowników hali.

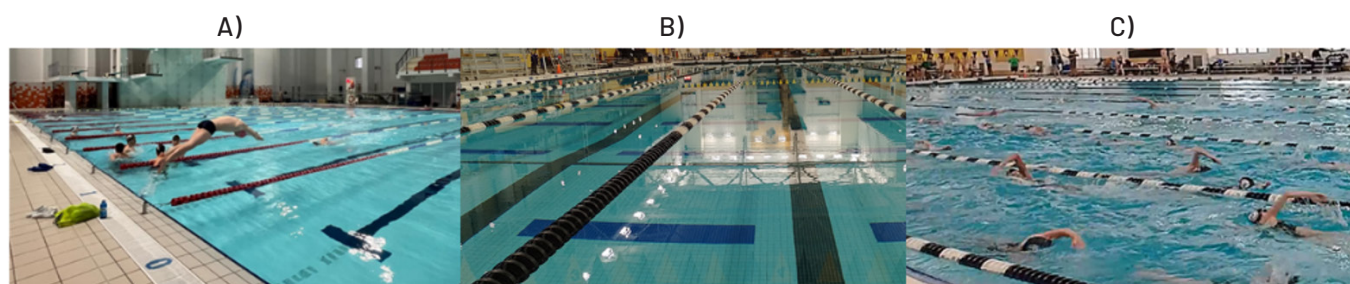
W czasie zawodów dodatkowo rejestrowano liczbę osób przebywających w hali basenowej. W okresie badania wyróżniano trzy sposoby użytkowania, które przedstawiono na fotografiach zamieszczonych na Rysunku 1:

- **tryb normalny (A)** – w czasie którego, odbywają się normalne zajęcia lub pływanie rekreacyjne (w zależności od rodzaju i przeznaczenia basenu);
- **tryb nocny (B)** – obejmuje godziny zamknięcia basenu. W tym okresie powierzchnia wody pozostawała niewzbudzona, co ograniczało procesy związane z aktywnym użytkowaniem niecki;
- **tryb intensywny (C)** (w tym zawody pływackie) – obejmujący okresy zawodów pływackich i towarzyszących im rozgrzewek, charakteryzujące się zwiększoną liczbą użytkowników oraz dużą intensywnością aktywności w wodzie. Podczas rozgrzewek jednocześnie w wodzie mogło przebywać do około 200 pływaków, natomiast

Tabela 1. Okresy funkcjonowania basenu. Źródło: opracowanie własne

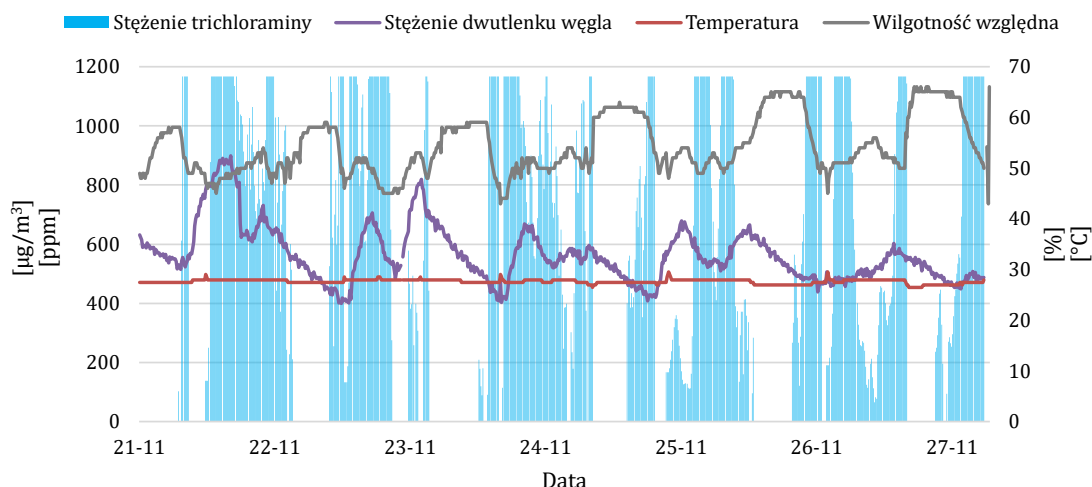
Table 1. Periods of pool operation. Source: authors' own study

Data	Godziny	Tryb	Okres
22.11	00:00–05:30	Nocny	B1
	05:31–07:59	Normalny	A1
	08:00–13:00	Intensywny (zawody)	C1
	13:01–22:59	Normalny	A2
	23:00–23:59	Nocny	B2
23.11	00:00–05:30		B3
	05:31–07:59	Normalny	A3
	08:00–19:00	Intensywny (zawody)	C2
	19:01–23:59	Nocny	B4
24.11	00:00–05:30		B5
	05:31–07:59	Normalny	A4
	08:00–12:00	Intensywny (zawody)	C3
	12:01–22:59	Normalny	A5
	23:00–23:59	Nocny	B6
25.11	00:00–05:30		B7
	05:31–07:59	Normalny	A6
	08:00–12:00	Intensywny (zawody)	C4
	12:01–22:59	Normalny	A7
	23:00–23:59	Nocny	B8
26.11	00:00–05:30		B9
	05:31–22:59	Normalny	A8
	23:00–23:59	Nocny	B10
27.11	00:00–05:30		B11
	05:31–10:00	Normalny	A9



Rysunek 1. Przykładowy wygląd hali basenowej w trzech analizowanych trybach użytkowania: normalny (A), nocny (B) oraz intensywny (C). Źródło: opracowanie własne

Figure 1. Example view of the swimming pool hall during the three analyzed operating modes: normal (A), night (B), and intensive use (C). Source: authors' own study



Rysunek 2. Przebieg zmienności wybranych parametrów powietrza w hali basenowej: stężenia CO₂ (ppm), stężenia NCl₃ (µg/m³), temperatury powietrza (°C) oraz wilgotności względnej (%). Źródło: opracowanie własne

Figure 2. Time variation of selected air parameters in the indoor swimming pool hall: CO₂ concentration (ppm), NCl₃ concentration (µg/m³), air temperature (°C), and relative humidity (%). Source: authors' own study

w trakcie właściwych konkurencji jednocześnie startowało od 8 do 10 zawodników. W hali przebywali ponadto zawodnicy oczekujący na start, sędziowie, trenerzy oraz kibice. Powodowało to okresowe znaczne zwiększenie całkowitej liczby użytkowników hali w porównaniu z normalnym trybem pracy obiektu.

Okres zawodów obejmował cztery analizowane przedziały intensywnego użytkowania, oznaczone jako C1–C4. Każdy z nich obejmował okres zawodów wraz z rozgrzewką poprzedzającą rozpoczęcie konkurencji. Szczegółowy podział całego okresu pomiarowego na tryby A, B i C przedstawiono w Tabeli 1.

Wyniki

W okresie od 22 do 27 listopada 2024 analizowano zmienność temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz stężeń CO₂ i NCl₃ w trzech trybach użytkowania hali basenowej: normalnym (A), nocnym (B) oraz intensywnym (C). Przebieg zmian analizowanych parametrów w poszczególnych trybach przedstawiono na kolejnych rysunkach. Wyniki dla całego okresu pomiarowego przedstawiono na Rysunku 2.

W całym okresie pomiarowym temperatura powietrza mieściła się w zakresie 26,5–29,5°C i charakteryzowała się stosunkowo niewielką zmiennością. Wilgotność względna wykazywała większe różnice pomiędzy analizowanymi trybami użytkowania, a najwyższe wartości rejestrowano w okresach nocnych, kiedy wartość maksymalna osiągnęła 66%. Stężenie CO₂ w całym okresie badania mieściło się w zakresie 400–898 ppm, przy średniej około 564 ppm. Największą zmiennością spośród analizowanych parametrów charakteryzowało się stężenie trichloraminy, którego rejestrowane wartości mieściły się w zakresie od 0 do 1167,5 µg/m³. W interpretacji wyników NCl₃ należy jednak uwzględnić górną granicę zakresu pomiarowego zastosowanego urządzenia, która wynosiła 1250 µg/m³.

W trybie nocnym w hali nie przebywali użytkownicy. Największe obciążenie obiektu odnotowano 22 listopada, kiedy maksymalna liczba osób przebywających jednocześnie w hali wyniosła 625. Wysokie wartości występowały

również 23 listopada (maksymalnie 422 osoby), 25 listopada (410 osób) oraz 24 listopada (350 osób). Wyraźnie mniejsze obciążenie hali odnotowano 26 listopada, kiedy maksymalnie przebywało w niej 67 osób. Najwięcej użytkowników przypadało zatem na okresy intensywnego użytkowania obiektu związane z zawodami pływackimi. Jednocześnie w tych okresach obserwowano najwyższe średnie stężenie CO₂ spośród trzech analizowanych trybów.

Tryb normalnego użytkowania A

Na Rysunku 3 zaprezentowano dane dla okresów przypisanych do trybu normalnego, oznaczonych jako A1–A9.

Średnia temperatura powietrza w tym trybie wyniosła 27,8°C, a średnie wartości dla poszczególnych okresów A1–A9 mieściły się w zakresie od 27,4°C do 28,0°C, co wskazuje na niewielką zmienność warunków termicznych. Średnia wilgotność względna wyniosła 52,7%, przy średnich dla poszczególnych okresów od 48,6% (A4) do 56,8% (A9).

Średnie stężenie CO₂ dla całego trybu normalnego wyniosło 551 ppm. Najniższą średnią wartość odnotowano w okresie A3 (431 ppm), natomiast najwyższą w A2 (688 ppm). Niższe wartości obserwowano przede wszystkim w godzinach porannych.

Średnie stężenie trichloraminy wyniosło 754,1 µg/m³, przy średnich dla poszczególnych okresów od 474,9 do 1088,6 µg/m³. Najniższe wartości średnie obserwowano w okresach A1, A3 i A5, natomiast najwyższą średnią wartość odnotowano w A4. W przeciwieństwie do temperatury i CO₂, stężenie NCl₃ wykazywało więc znaczną zmienność również w warunkach normalnego użytkowania obiektu.

Tryb nocny

Rysunek 4 przedstawia okresy przypisane do trybu nocnego, oznaczone jako B1–B11.

Średnia temperatura powietrza wyniosła 27,3°C, przy zakresie od 26,5 do 28,0°C. Podobnie jak w trybie normalnym temperatura pozostawała stosunkowo stabilna.

Średnia wilgotność względna wyniosła 60,1%, a więc była wyższa niż w pozostałych analizowanych trybach. Jej wartości mieściły się w zakresie 48–66%. W kolejnych dniach obserwowano stopniowy wzrost wilgot-

ności względnej w okresach nocnych: od 51,2–54,1% w B1–B2, przez około 57–58% w B3–B4 i około 61,8% w B7–B8, do wartości przekraczających 64% w B9–B11. Najwyższą średnią wartość odnotowano w okresie B11 (64,9%).

Średnie stężenie CO_2 wyniosło 526 ppm. Najniższą średnią wartość odnotowano w B7 (483 ppm), a najwyższą w B4 (613 ppm); w pozostałych okresach wartości mieściły się przeważnie w zakresie około 490–575 ppm.

Najbardziej charakterystyczną cechą trybu nocnego były niskie stężenia NCl_3 . Średnie stężenie dla całego trybu wyniosło około $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a w kilku okresach nocnych (B1, B4, B6, B8 i B10) rejestrowano wartości równe $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Stężenia NCl_3 były zatem wyraźnie niższe niż w okresach, w których niecki były użytkowane przez pływaków.

Tryb intensywnego użytkowania

Rysunek 5 przedstawia dane dla okresów intensywnego użytkowania, oznaczonych jako C1–C4.

Średnia temperatura powietrza dla całego trybu wyniosła $27,9^\circ\text{C}$, a średnie dla poszczególnych okresów mieściły się w zakresie od $27,6^\circ\text{C}$ (C3) do $28,1^\circ\text{C}$ (C1). Średnia wilgotność względna wyniosła 49,2%. W okresach C1–C3 wartości były zbliżone i wynosiły odpowiednio 48,1%, 48,8% i 49,0%, natomiast w C4 wzrosły do 52%.

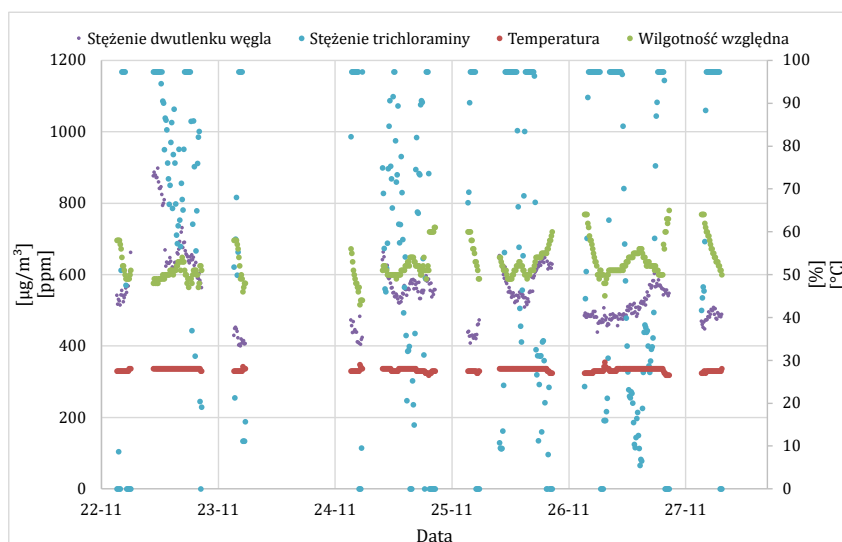
W trybie intensywnego użytkowania najwyższe spośród trzech analizowanych trybów było średnie stężenie CO_2 , które wyniosło 638 ppm. Najwyższą średnią wartość odnotowano w C1 (782 ppm), natomiast w C2, C3 i C4 wynosiła ona odpowiednio 608 ppm, 569 ppm i 605 ppm. W okresach zawodów obserwowano jednocześnie największą liczbę osób przebywających w hali, co wskazuje na zbieżność zmian frekwencji i stężenia CO_2 .

Średnie stężenie trichloraminy dla całego trybu intensywnego wyniosło $677 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W okresach C1–C4 średnie wartości wynosiły odpowiednio 557; 725; 1054 i $224 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najwyższą średnią wartość odnotowano zatem w okresie C3, natomiast najniższą w C4. Duże różnice pomiędzy kolejnymi okresami zawodów wskazują, że samo zakwalifikowanie obiektu do trybu intensywnego nie wyjaśnia w pełni zmienności stężenia NCl_3 .

Porównanie trybów użytkowania

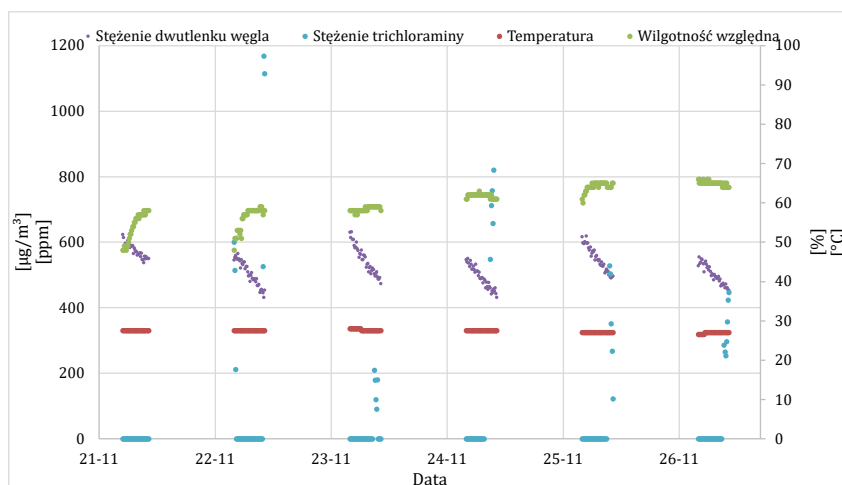
Porównanie średnich wartości dla trzech analizowanych trybów wskazuje na odmienne zachowanie poszczególnych parametrów jakości powietrza (Tabela 2).

Temperatura była zbliżona we wszystkich trybach i wynosiła średnio $27,8^\circ\text{C}$ w trybie normalnym, $27,3^\circ\text{C}$ w trybie nocnym oraz $27,9^\circ\text{C}$ w trybie intensywnego użytkowania. Większe różnice obserwowano dla wilgotności względnej, której najwyższą średnią wartość stwierdzono w trybie nocnym (60,1%), wobec 52,7% w trybie normalnym



Rysunek 3. Przebieg zmienności wybranych parametrów powietrza w hali basenowej podczas normalnego trybu użytkowania (A): stężenia CO_2 (ppm), stężenia NCl_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), temperatury powietrza ($^\circ\text{C}$) oraz wilgotności względnej (%). Źródło: opracowanie własne

Figure 3. Variation of selected air parameters in the swimming pool hall during normal use (A): CO_2 concentration (ppm), NCl_3 concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), air temperature ($^\circ\text{C}$), and relative humidity (%). Source: authors' own study



Rysunek 4. Przebieg zmienności wybranych parametrów powietrza w hali basenowej podczas trybu nocnego (B): stężenia CO_2 (ppm), stężenia NCl_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), temperatury powietrza ($^\circ\text{C}$) oraz wilgotności względnej (%). Źródło: opracowanie własne

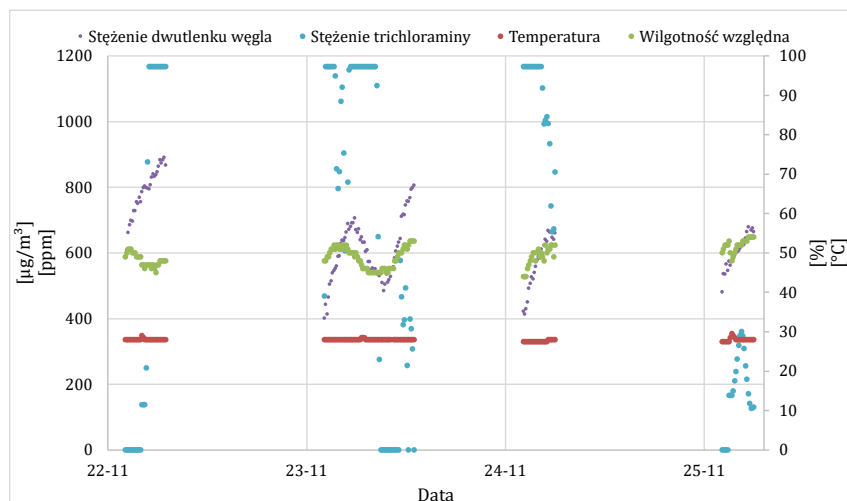
Figure 4. Variation of selected air parameters in the swimming pool hall during night operating mode (B): CO_2 concentration (ppm), NCl_3 concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), air temperature ($^\circ\text{C}$), and relative humidity (%). Source: authors' own study

i 49,2% w trybie intensywnym.

Średnie stężenie CO_2 było najwyższe w trybie intensywnym (638 ppm), niższe w trybie normalnym (551 ppm) i najniższe w trybie nocnym (526 ppm). Odmienne przebieg obserwowano dla NCl_3 . Najniższe średnie stężenie występowało zdecydowanie w trybie nocnym (około $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$), natomiast wysokie i silnie zmienne wartości występowały zarówno podczas normalnego, jak i intensywnego użytkowania niecek.

Dyskusja

Uzyskane wyniki wskazują, że sposób użytkowania hali basenowej był związany ze zmianami analizowanych parametrów powietrza. Największą dynamikę zmian obserwowano szczególnie w przypadku stężenia dwutlenku węgla i trichloraminy. Z kolei znacznie mniejsze różnice



Rysunek 5. Przebieg zmienności wybranych parametrów powietrza w hali basenowej podczas trybu intensywnego (C): stężenia CO₂ (ppm), stężenia NCl₃ (µg/m³), temperatury powietrza (°C) oraz wilgotności względnej (%). Źródło: opracowanie własne

Figure 5. Variation of selected air parameters in the swimming pool hall during intensive operating mode (C): CO₂ concentration (ppm), NCl₃ concentration (µg/m³), air temperature (°C), and relative humidity (%). Source: authors' own study

Tabela 2. Porównanie średnich wartości wybranych parametrów jakości powietrza w zależności od trybu użytkowania hali basenowej. Źródło: opracowanie własne
Table 2. Comparison of the average values of selected air quality parameters depending on the operating mode of the indoor swimming pool hall. Source: authors' own study

Parametr	Normalny (A)	Nocny (B)	Intensywne użytkowanie(C)
Temperatura, °C	27,8	27,3	27,9
Wilgotność względna, %	52,7	60,1	49,2
Stężenie CO ₂ , ppm	551	526	638
Stężenie NCl ₃ , µg/m ³	754	59	677

w wartościach parametrów powietrza w różnych trybach użytkowania obserwowano w przypadku temperatury powietrza. Wilgotność względna wykazywała umiarkowane zróżnicowanie. Najwyższą średnią wartość wilgotności względnej stwierdzono w trybie nocnym – 60%, natomiast w trybie normalnym i intensywnym wyniosła ona odpowiednio 52,7% i 49,2%. Wyższa wilgotność względna w trybie nocnym, pomimo braku użytkowników w hali, wskazuje, że parametr ten nie był bezpośrednio związany z liczbą osób przebywających w obiekcie. Zmienność wilgotności względnej mogła wynikać m.in. ze sposobu pracy instalacji wentylacyjnej, ponieważ wilgotność względna jest jednym z parametrów kontrolowanych przez system wentylacji hali basenowej. Należy jednak podkreślić, że nie rejestrowano na bieżąco chwilowego strumienia powietrza nawiewanego ani rzeczywistej krotności wymian powietrza w hali basenowej, dlatego nie można jednoznacznie określić przyczyn obserwowanych zmian wilgotności względnej.

Największe różnice pomiędzy wartościami parametrów powietrza dotyczyły stężenia trichloraminy. Obecność trichloraminy w powietrzu hal basenowych jest silnie związana z użytkowaniem niecki basenowej, co znajduje odzwierciedlenie w wynikach. W trybie nocnym przez większość czasu wartości stężenia były zbliżone do 0 µg/m³. Brak pływaków ograniczał wzburzenie powierzchni wody, co ograniczało przenoszenie NCl₃ z fazy ciekłej do gazowej.

Podczas zawodów obserwowano okresowe wzrosty stężenia trichloraminy, czemu towarzyszyły zwiększona liczba pływaków oraz większa intensywność aktywności w wodzie, szczególnie podczas rozgrzewki. Podobne zależności zaobserwowali inni badacze (Weng i in., 2011), którzy przeanalizowali zależność pomiędzy obciążeniem niecki basenowej, a stężeniem NCl₃. Weng i in. stwierdzili, że im więcej osób korzystało z basenu, tym większe było stężenie NCl₃ w powietrzu, ale podkreślili także, że charakter aktywności pływaków wpływał na jakość powietrza. W niniejszym badaniu nie zaobserwowano jednak proporcjonalnego wzrostu stężenia NCl₃ wraz ze wzrostem całkowitej liczby osób przebywających w hali. Wynika to prawdopodobnie z faktu, że podczas zawodów znaczna część osób przebywała na trybunach, a nie bezpośrednio w niecce. W nocy wartości stężenia trichloraminy były zbliżone do zera przy braku użytkowników w wodzie.

Temperatura powietrza w całym okresie badań mieściła się w zakresie 26,5–29,5°C, a wartości średnie w każdym trybie były do siebie zbliżone. Wskazuje to, że zmiana sposobu użytkowania hali i pory dnia wiązała się jedynie z niewielkimi zmianami temperatury powietrza. Może to świadczyć o skutecznym utrzymywaniu warunków temperatury przez instalację obsługującą halę basenową.

Bardziej widoczny związek z użytkowaniem obiektu stwierdzono w przypadku stężenia dwutlenku węgla. Średnie stężenie wyniosło około 526 ppm w trybie nocnym, 551 ppm podczas trybu normalnego i 638 ppm w trybie intensywnego użytkowania. Najwyższą wartość średnią uzyskano w okresie, w którym hala była najbardziej obciążona. Tendencja ta jest zgodna z innymi badaniami (Nitter & Hirsch Svendsen, 2020), w których wykazano korelację pomiędzy stężeniem CO₂ i liczbą użytkowników ($\rho = 0,82$, $p = 0,01$). Nitter i Hirsch Svendsen wykazali również zależność pomiędzy stężeniem dwutlenku węgla a stężeniem trichloraminy, wskazując możliwość wykorzystywania pomiarów dwutlenku węgla do dostosowania strumienia powietrza do aktualnego obciążenia obiektu. Podkreślili, że wyższe stężenia zarówno CO₂, jak i NCl₃, występowały po południu, gdy w basenie było więcej pływaków.

W badaniu obejmującym 20 krytych pływalni w Portugalii (Gabriel i in., 2019) przedstawiono podobne obserwacje. Autorzy wykorzystali stężenie CO₂ jako wskaźnik warunków wentylacyjnych. Dodatkowo wykazali, że wartości tego parametru zwiększały się w okresie największej frekwencji. Dla wszystkich badanych basenów, średnia zmierzona stężenia CO₂ nie przekroczyła 1000 ppm, a w niniejszym badaniu maksymalne stężenie dwutlenku węgla wyniosło 898 ppm. Pomimo znacznego okresowego obciążenia hali nie obserwowano zatem wysokich wartości stężenia CO₂. Może to wskazywać na skuteczne ograniczanie jego akumulacji przez system wentylacji. Ma to prawdopodobnie związek z dużą

krotnością wymian powietrza w hali basenowej, gdyż wentylacja basenów projektowana jest m.in. w oparciu o kryterium usuwania zysków wilgoci wynikających z parowania. Z uwagi na znaczne parowanie wody w tych obiektach strumień powietrza doprowadzany do hali basenowej jest zazwyczaj duży i obejmuje udział powietrza zewnętrznego o stosunkowo niskim stężeniu CO₂. Może to ograniczać ryzyko nadmiernego wzrostu stężenia tego parametru.

Uzyskane wyniki wskazują, że instalacja wentylacji w analizowanym basenie umożliwiała utrzymanie względnie stabilnych warunków temperaturowych pomimo zmian obciążenia obiektu. Największą zmiennością charakteryzowały się stężenia trichloraminy i dwutlenku węgla. Dwutlenek węgla wykazywał bardziej bezpośredni związek z całkowitą liczbą osób przebywających w hali, co jest zgodne z jego emisją metaboliczną przez użytkowników, natomiast poziom stężenia trichloraminy był silniej związany z użytkowaniem niecki i aktywnością pływaków. Wskazuje to, że przy dostosowywaniu pracy instalacji wentylacyjnej do aktualnego obciążenia obiektu warto uwzględniać nie tylko całkowitą liczbę użytkowników, lecz również sposób użytkowania samej niecki. Szczególne znaczenie może to mieć przy okresowym występowaniu trybu intensywnego użytkowania obiektu. W badaniu z 2015 roku (Lévesque i in., 2015) stwierdzono także zmienność stężenia trichloraminy w zależności od pory dnia. Średnie stężenie wyniosło 350 µg/m³ rano, 360 µg/m³ po południu i 510 µg/m³ wieczorem. Autorzy nie wyróżniali odrębnych trybów użytkowania, jednak stwierdzili, że prawdopodobnie wyższe wartości wieczorne były związane ze wzrostem aktywności w basenie w ciągu dnia.

Należy podkreślić, że uboczne produkty dezynfekcji (w tym trichloramina) mogą mieć negatywny wpływ na zdrowie człowieka (Chowdhury i in., 2014); (Lévesque i in., 2015); (Fantuzzi i in., 2013); (Blatchley i in., 2026). Z tego względu istotne znaczenie może mieć możliwość wykorzystania parametrów środowiskowych do pośredniej oceny jakości powietrza w halach basenowych, co znajduje potwierdzenie w literaturze (Ahmadpour i in., 2023). Wykazano, że łatwo mierzalne parametry, takie jak stężenie dwutlenku węgla i wilgotność względna, mogą stanowić użyteczne wskaźniki zmian stężeń produktów ubocznych dezynfekcji w powietrzu basenowym. Może to wspierać bieżące monitorowanie warunków panujących w hali, a także umożliwiać szybszą identyfikację niekorzystnych zmian jakości powietrza.

Przedstawione badanie ma charakter studium przypadku i obejmuje jeden obiekt oraz sześciodniowy okres pomiarowy, dlatego uzyskanych wyników nie należy bezpośrednio uogólniać na wszystkie kryte pływalnie. Ograniczeniem badania był również brak ciągłej rejestracji chwilowego strumienia powietrza wentylacyjnego, co uniemożliwia jednoznaczną ocenę wpływu aktualnej wydajności systemu wentylacji na obserwowane zmiany jakości powietrza. Dodatkowym ograniczeniem był zakres pomiarowy urządzenia stosowanego do oznaczania NCl₃, który ograniczał możliwość dokładnego określenia najwyższych stężeń. Pomimo tych ograniczeń pomiary prowadzone podczas rzeczywistego i zmiennego użytkowania obiektu umożliwiły identyfikację różnic w zachowaniu analizowanych parametrów pomiędzy normalnym, nocnym i intensywnym trybem użytkowania hali.

Wnioski

Sposób użytkowania hali basenowej był związany ze zmianami analizowanych parametrów jakości powietrza, przy czym największe różnice obserwowano dla stężeń CO₂ i NCl₃. Temperatura powietrza pozostawała stosunkowo stabilna we wszystkich analizowanych trybach, natomiast najwyższą średnią wilgotność względną stwierdzono w trybie nocnym. Najniższe stężenia trichloraminy obserwowano w okresach nocnych, gdy niecka nie była użytkowana, natomiast podczas aktywnego użytkowania basenu wartości NCl₃ były wyraźnie wyższe i charakteryzowały się dużą zmiennością. Stężenie CO₂ wykazywało bardziej bezpośredni związek z całkowitą liczbą osób przebywających w hali, podczas gdy stężenie NCl₃ było silniej związane z użytkowaniem niecki i aktywnością pływaków. Największe obciążenie hali występowało podczas intensywnego trybu użytkowania związanego z zawodami pływackimi; w tym trybie odnotowano również najwyższe średnie stężenie CO₂. Uzyskane wyniki wskazują, że przy ocenie jakości powietrza w krytych pływalniach warto uwzględniać nie tylko całkowitą liczbę użytkowników, lecz także rzeczywisty sposób użytkowania niecki. Informacja ta może być istotna również przy opracowywaniu strategii sterowania wentylacją dostosowanych do zmiennego obciążenia obiektu.

Finansowanie

Badania sfinansowano ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (0713/SBAD/1014).

Bibliografia

- Ahmadpour, E., Delpla, I., Debia, M., Simard, S., Proulx, F., Sérodes, J.-B., Valois, I., Tardif, R., Haddad, S., & Rodriguez, M. (2023). Full-scale multisampling and empirical modeling of DBPs in water and air of indoor pools. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(9), 1128. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11619-6>
- Blatchley, E. R., Coletto, A., & Pochini, I. (2026). Active air stripping and direct point exhaust of trichloramine (NCl₃) from indoor pools. *Chemosphere*, 409, 145000. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2026.145000>
- Chowdhury, S., Alhooshani, K., & Karanfil, T. (2014). Disinfection byproducts in swimming pool: Occurrences, implications and future needs. *Water Research*, 53, 68–109. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.017>
- Ciuman, P., & Kaczmarczyk, J. (2021). Numerical Analysis of the Energy Consumption of Ventilation Processes in the School Swimming Pool. *Energies*, 14(4), 1023. <https://doi.org/10.3390/en14041023>
- Ciuman, P., & Lipska, B. (2018). Experimental validation of the numerical model of air, heat and moisture flow in an indoor swimming pool. *Building and Environment*, 145, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.009>
- European Commission. Directorate General for Education, Youth, Sport and Culture. (2022). Sport and physical activity: Full report. *Publications Office*. <https://doi.org/10.2766/356346>
- Fantuzzi, G., Righi, E., Predieri, G., Giacobazzi, P., Petra, B., & Aggazzotti, G. (2013). Airborne trichloramine (NCl₃) levels

- and self-reported health symptoms in indoor swimming pool workers: Dose-response relationships. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 23(1), 88–93. <https://doi.org/10.1038/jes.2012.56>
- Gabriel, M. F., Felgueiras, F., Mourão, Z., & Fernandes, E. O. (2019). Assessment of the air quality in 20 public indoor swimming pools located in the Northern Region of Portugal. *Environment International*, 133, 105274. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105274>
- Lee, L. T., Wu, T., Boor, B. E., & Blatchley, E. R. (2023). Dynamic behavior of gas-phase NCl_3 and CO_2 in indoor pool facilities. *Building and Environment*, 233, 110088. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110088>
- Lévesque, B., Vézina, L., Gauvin, D., & Leroux, P. (2015). Investigation of Air Quality Problems in an Indoor Swimming Pool: A Case Study. *Annals of Occupational Hygiene*, 59(8), 1085–1089. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mev038>
- Lovrić, M., Gajski, G., Fernández-Agüera, J., Pöhlker, M., Gursch, H., The EDIAQI Consortium, Borg, A., Switters, J., & Mureddu, F. (2025). Evidence driven indoor air quality improvement: An innovative and interdisciplinary approach to improving indoor air quality. *BioFactors*, 51(1), e2126. <https://doi.org/10.1002/biof.2126>
- Mplougoura, A., Klonas, K., Mavridou, A., & Mandilara, G. D. (2025). An Assessment of Hazards and Associated Risks in Greek Swimming Pools. *Water*, 17(7), 929. <https://doi.org/10.3390/w17070929>
- Nitter, T. B., & Hirsch Svendsen, K. V. (2020). Covariation amongst pool management, trichloramine exposure and asthma for swimmers in Norway. *Science of The Total Environment*, 723, 138070. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138070>
- Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 10 maja 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach, Dz.U. 2022 poz. 1230 (2022).
- Proulx, H., & Hallé, S. (2022). A numerical study of the impacts of outdoor air intake and air changes per hour on the trichloramine concentrations in a swimming pool enclosure. *Frontiers in Built Environment*, 8, 957973. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.957973>
- Quang, T. V., Doan, D. T., Ngarambe, J., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., & Zhang, T. (2025). AI management platform for privacy-preserving indoor air quality control: Review and future directions. *Journal of Building Engineering*, 100, 111712. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111712>
- Rojas, G., & Grove-Smith, J. (2018). Improving Ventilation Efficiency for a Highly Energy Efficient Indoor Swimming Pool Using CFD Simulations. *Fluids*, 3(4), 92. <https://doi.org/10.3390/fluids3040092>
- Schmalz, C., Frimmel, F. H., & Zwiener, C. (2011). Trichloramine in swimming pools – Formation and mass transfer. *Water Research*, 45(8), 2681–2690. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.02.024>
- Ward, M. (2017). Swimming in a contained space: Understanding the experience of indoor lap swimmers. *Health & Place*, 46, 315–321. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2016.09.006>
- Weng, S.-C., Weaver, W. A., Zare Afifi, M., Blatchley, T. N., Cramer, J. S., Chen, J., & Blatchley, E. R. (2011). Dynamics of gas-phase trichloramine (NCl_3) in chlorinated, indoor swimming pool facilities: Dynamics of gas-phase NCl_3 in pools. *Indoor Air*, 21(5), 391–399. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00710.x>
- Wu, F., Jacobs, D., Mitchell, C., Miller, D., & Karol, M. H. (2007). Improving Indoor Environmental Quality for Public Health: Impediments and Policy Recommendations. *Environmental Health Perspectives*, 115(6), 953–957. <https://doi.org/10.1289/ehp.8986>

Zastrzeżenie: Oświadczenia, opinie i dane przedstawione w publikacjach są wyłączną odpowiedzialnością ich autorów i nie odzwierciedlają stanowiska redakcji *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek szkody dotyczące osób lub mienia wynikające z idei, metod, zaleceń lub produktów omawianych w treści publikacji. Artykuł udostępniony na licencji Creative Commons CC BY 4.0.

Disclaimer: The statements, opinions, and data presented in the publications are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the views of the editorial board of *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. The editorial board assumes no responsibility or liability for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content of the publications. The article is distributed under the Creative Commons CC BY 4.0 license.



Platforma wiedzy dla specjalistów infrastruktury medycznej

TECHMEDIS to polska platforma wiedzy techniczno-medycznej, której celem jest wspieranie zdrowego i bezpiecznego środowiska w obiektach ochrony zdrowia. Projekt integruje środowisko naukowe, inżynierskie i medyczne, tworząc przestrzeń współpracy między badaniami B+R, uczelniami, a praktyką techniczną w szpitalach i przychodniach.

Szczegóły:

www.techmedis.pl

