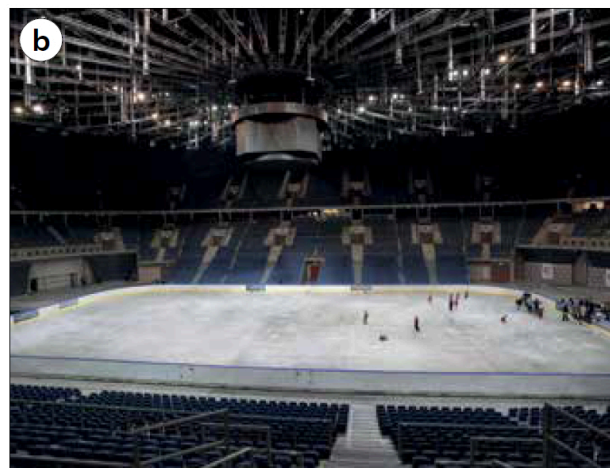
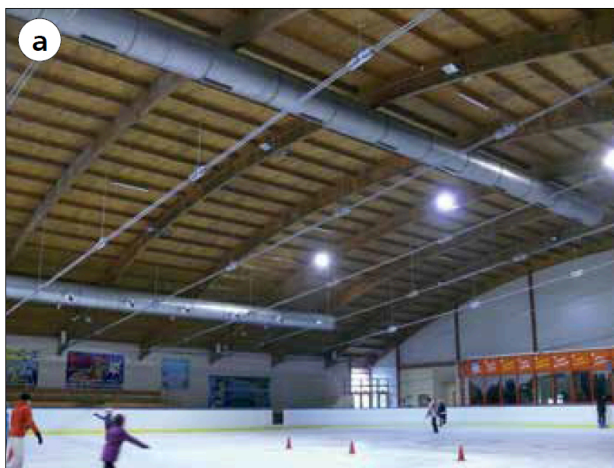


# Zasady i metody wentylacji z osuszaniem powietrza hal lodowisk

Wentylacja hali lodowiska jest potrzebna przede wszystkim do zapewnienia odpowiednich warunków ciepło-wilgotnościowych w obiekcie. Ze względu na duże zyski wilgoci, mogące powodować mgłę nad lodem i wykroplenie pary wodnej na powierzchniach wewnętrznych, wskazane jest zastosowanie dodatkowego osuszania powietrza nawiewanego.

Hale lodowisk, czyli inaczej kryte lodowiska są przeznaczone do różnego rodzaju zajęć na lodzie: rekreacyjnych i sportowych, w tym hokeja, curlingu, łyżwiarstwa figurowego oraz szybkiego. Ich najistotniejszą częścią jest tafla lodowa, która przeważnie jest otoczona trybunami dla widzów. Mogą to być obiekty zarówno małe, z niewielką liczbą osób na widowni (fot. 1a), jak i ogromne hale z liczną widownią (fot. 1b). Najczęściej są one eksploatowane sezonowo – od 5 do 6 miesięcy w roku, zimą i w okresie przejściowym. Mogą być wykorzystywane także latem, ale wtedy wskazane jest zastosowanie klimatyzacji całego obiektu, co nie jest objęte tematyką tego artykułu, który dotyczy przede wszystkim wentylacji w okresie zimowym i przejściowym.



Fot. 1. Przykładowe rozwiązania hal lodowisk z widownią: a) mała hala – Tafla w Gliwicach (fot. A. Palmowska), b) duża hala – Tauron Arena w Krakowie [1]

## CHARAKTERYSTYKA LODOWISK Z PUNKTU WIDZENIA WENTYLACJI

Analizując działanie krytego lodowiska pod kątem wentylacji, należy zauważyć, że bardzo istotnym parametrem jest temperatura lodu, której zakres zależy od przeznaczenia hali. Przy grze w hokeja powinna być ona jak najniższa i wynosić od  $-6,5$  do  $-5,5^{\circ}\text{C}$  [2], może być wyższa dla jazdy figurowej i szybkiej (od  $-4,0$  do  $-3,0^{\circ}\text{C}$ ) oraz curlingu [3]. Natomiast na lodowiskach rekreacyjnych zawiera się w granicach od  $-3,0$  do  $-2,0^{\circ}\text{C}$ . Przy wyższej temperaturze lód staje się mokry, a przy niższej – twardy i suchy, podatny na zniszczenie podczas jazdy. Wartość temperatury decyduje o parametrach powietrza w warstwie granicznej nad lodem, a co za tym idzie o tzw. granicznej zawartości wilgoci w powietrzu, która ma istotny wpływ na zjawiska ciepło-wilgotnościowe zachodzące w hali.

W halach lodowisk występują zyski ciepła i wilgoci od źródeł zewnętrznych i wewnętrznych. Zewnętrzne zyski lub straty ciepła mają miejsce przez przegrody zewnętrzne w wyniku różnicy temperatury bądź nasłonecznienia. Głównymi wewnętrznymi źródłami ciepła są: oświetlenie oraz ludzie (widzowie i łyżwiarze).

Straty ciepła do powierzchni tafli lodowiska zachodzą w wyniku różnicy temperatury pomiędzy nią a powietrzem. Natomiast wilgoć do obiektów lodowisk jest wprowadzana od:

- odparowującej wody znad tafli lodu podczas jej topnienia;
- użytkowników hali: łyżwiarzy i widzów;
- powietrza zewnętrznego infiltrującego i wentylacyjnego;

- okresowej regeneracji tafli lodu za pomocą tzw. rolby;
- powierzchni lodu, gdy jego temperatura jest wyższa od temperatury punktu rosy powietrza; czyli inaczej, zawartość wilgoci w powietrzu jest niższa od wartości granicznej tej zawartości – w przeciwnym przypadku wilgoć z powietrza jest pochłaniana przez lód.

Metody obliczania zysków wilgoci w hali lodowiska przedstawione są w pracach [2, 4].

Zjawiska związane z zyskami ciepła nie odbiegają znacznie od standardowych zagadnień tego typu dla obiektów halowych, natomiast na istotne trudności napotykają projektanci, analizując problemy wilgotnościowe, które pojawiają się, gdy zawartość wilgoci w powietrzu nad lodem przekracza wartość graniczną. Zaliczają się do nich przede wszystkim:

- wykraplanie pary wodnej na powierzchni lodu;
- powstawanie mgły nad taflą lodową, co jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym ze względu na ograniczenie widoczności w hali, a więc i bezpieczeństwo łyżwiarzy (fot. 2);
- kondensację pary wodnej z powietrza na przegrodach hali, zwłaszcza na wewnętrznej powierzchni dachu.



Fot. 2. Widok mgły nad taflą lodu na lodowisku Windsor podczas meczu hokeja [5]

Wykroplona para wodna zamarza na powierzchni lodu, powodując powstawanie nierówności. Muszą być one usuwane przez rolbę, co wiąże się z dodatkowymi nakładami energetycznymi.

Mgła na lodowisku powstaje w wyniku napływu ciepłego i wilgotnego powietrza nad powierzchnię zimnej tafli lodu. Zjawisko to nasila się przy wyższych wartościach temperatury powietrza zewnętrznego, wykorzystywanego do wentylacji hali, gdyż w naszych warunkach klimatycznych wraz ze wzrostem wartości tego parametru rośnie ładunek zawartej w powietrzu wilgoci [6]. W wyniku wymiany ciepła między powietrzem a taflą lodu następuje stopniowe ochłodzenie powietrza. Gdy temperatura w warstwie stykającej się z taflą lodu spadnie poniżej temperatury punktu rosy, w powietrzu rozpocznie się proces kondensacji. Kiedy powietrze osiągnie stan nasycenia, pojawi się mgła lub zamglenie. Im większa będzie różnica między temperaturą tafli lodowiska a temperaturą punktu rosy powietrza oraz im temperatura punktu rosy będzie wyższa, tym mgła będzie bardziej gęsta. W celu uniknięcia tych zjawisk konieczne jest utrzymywanie odpowiednich parametrów powietrza wewnątrz hali, co zostanie szerzej wyjaśnione w następnym rozdziale.

Kondensacja pary wodnej na przegrodzie zewnętrznej następuje, gdy jej temperatura na powierzchni wewnętrznej spada poniżej punktu rosy powietrza wewnętrznego. Najbardziej niekorzystne jest to zjawisko w przypadku dachu, gdyż skraplająca się para ścieka na lód lub widownię. Aby temu zapobiec, trzeba utrzymywać odpowiednią temperaturę powierzchni tych przegród.

Zjawiska te powodują, że zadaniem wentylacji hali lodowiska oprócz utrzymania odpowiednich warunków ciepłno-wilgotnościowych dla użytkowników, czyli funkcji wentylacji z ogrzewaniem powietrza w okresie zimnym, musi być również usuwanie nadmiaru wilgoci z tafli, czyli funkcja osuszania [7]. Dlatego też powinno się dla lodowisk projektować wentylację z osuszaniem powietrza. W Polsce nie opracowano dotąd

szczegółowych wytycznych dotyczących projektowania i działania wentylacji hal lodowisk, a stosowane metody wentylowania tych obiektów wynikają z doświadczeń eksploatacyjnych i badawczych. Projektanci mogą się też posłużyć w tym zakresie wytycznymi IIHF [8] oraz standardami ASHRAE [2], które jednak nie dają odpowiedzi na wszystkie problemy.

## PARAMETRY POWIETRZA WYMAGANE W HALI LODOWISKA

Wszystkie wspomniane uwarunkowania ciepłno-wilgotnościowe mają wpływ na wymagania odnośnie do parametrów powietrza w hali. Temperatura powietrza nad lodem powinna wynosić 10–12°C podczas treningów oraz 12–14°C w trakcie zawodów. W rejonie widowni musi być nieco wyższa i wynosić 14–15°C. Natomiast prędkość powietrza nad taflą lodu nie powinna przekraczać 0,25 m/s [9]. Niskie prędkości przepływu powietrza minimalizują obciążenie urządzeń chłodniczych, a zbyt wysokie mogą spowodować topnienie i sublimację lodu. Szczegółowe informacje o zalecanych parametrach powietrza w halach lodowiska znaleźć można w pracy [2].

Wymagany zakres wilgotności względnej powietrza związany jest ze zjawiskami wilgotnościowymi występującymi w hali. Ze względu na ryzyko kondensacji pary wodnej na powierzchni przegród, ważne jest, aby temperatura punktu rosy powietrza w hali była niższa od temperatury tych powierzchni. Oznacza to przykładowo, że jeśli temperatura tafli lodowej wynosi -3°C, a powietrza nad lodem 12°C, to wilgotność względna powietrza nie powinna przekraczać około 35%. Zapewnia to utrzymanie temperatury punktu rosy powietrza równej lub niższej od temperatury powierzchni lodu [7]. Natomiast dla usunięcia zamglenia w zasadzie wystarczające jest, aby powietrze nad lodem nie osiągnęło stanu nasycenia parą wodną. Dla zwiększenia bezpieczeństwa wskazane jest, aby temperatura punktu rosy powietrza w hali była niższa niż 7°C, co odpowiada wilgotności względnej niższej niż 70%. Należy jednak pamiętać, że w takich warunkach może występować kondensacja wilgoci na powierzchni dachu ze względu na oddawanie przez nią ciepła na drodze promieniowania do tafli lodu [8].

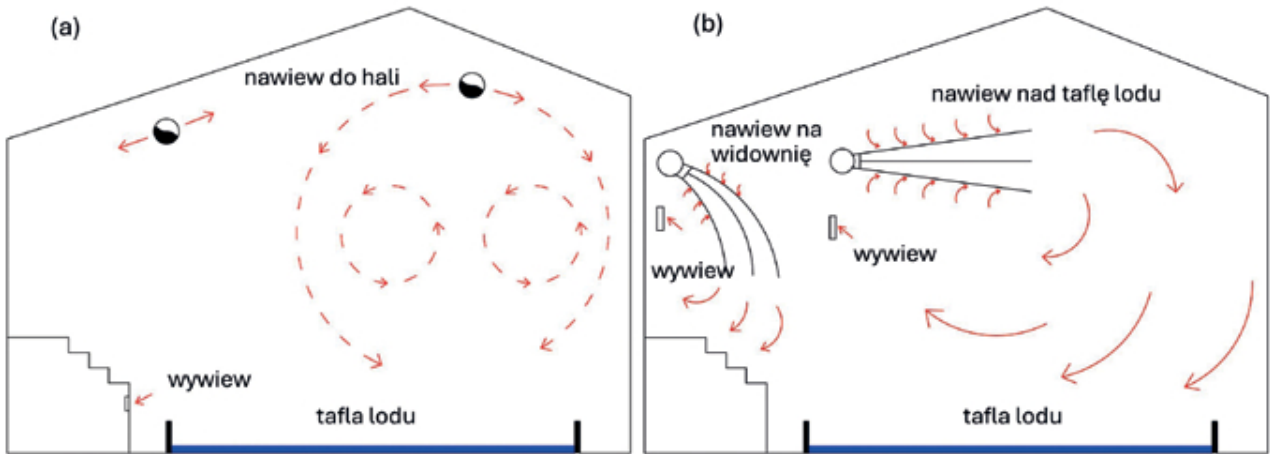
## PRZYGOTOWANIE I ROZPROWADZANIE POWIETRZA WENTYLACYJNEGO I OSUSZAJĄCEGO W HALI

W celu realizacji funkcji wentylacji i ogrzewania powietrze wentylacyjne przed doprowadzeniem do pomieszczenia powinno być ogrzane. W okresie zimowym realizuje się to dwustopniowo, wykorzystując nagrzewnicę i odzysk ciepła z powietrza wywiewanego. Najprostszym sposobem odzyskiwania ciepła jest recyrkulacja powietrza wywiewanego, która polega na zawracaniu powietrza usuwanego z pomieszczenia, mieszaniu go z powietrzem zewnętrznym w odpowiednim stosunku i ponownym nawiewaniu do pomieszczenia. W okresie przejściowym recyrkulacja jest zazwyczaj wystarczająca do ogrzania powietrza nawiewanego do wymaganych parametrów.

Jak już wspomniano uprzednio, zewnętrzne powietrze wentylacyjne (wyłączając okres najniższych wartości jego temperatury, kiedy powietrze jest suche) wprowadza do hali duży ładunek wilgoci, który może spowodować zamglenie powietrza nad lodem. Aby temu zapobiegać, należy ilość powietrza zewnętrznego ograniczyć do niezbędnego minimum. Wg wytycznych [N1] minimalny strumień objętości powietrza zewnętrznego, który musi zostać wprowadzony do hali lodowiska, wynosi ok. 9 m<sup>3</sup>/h na m<sup>2</sup> powierzchni lodowiska lub 25,5 m<sup>3</sup>/h na osobę przebywającą na lodowisku. Natomiast zgodnie z Polską Normą [N2] strumień powietrza higienicznego przypadający na osobę powinien wynosić 20 m<sup>3</sup>/h.

Z tego punktu widzenia recyrkulacja powietrza usuwanego jest więc bardzo korzystna, gdyż pozwala na ograniczenie ilości wilgoci wprowadzanej z powietrzem zewnętrznym oraz na ponowne wykorzystanie powietrza wewnętrznego, uprzednio osuszonego. Celem uniknięcia negatywnych zjawisk takich jak mgła czy kondensacja pary wodnej na powierzchni dachu w halach lodowisk, powinien być zainstalowany system

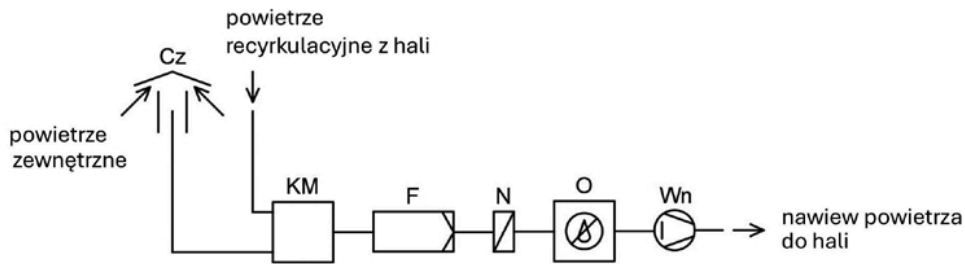
osuszania powietrza. Najczęściej stosuje się osuszanie za pomocą sorbentów stałych [10], skutkujące zmniejszeniem zawartości wilgoci w powietrzu z jednoczesnym wzrostem jego temperatury.



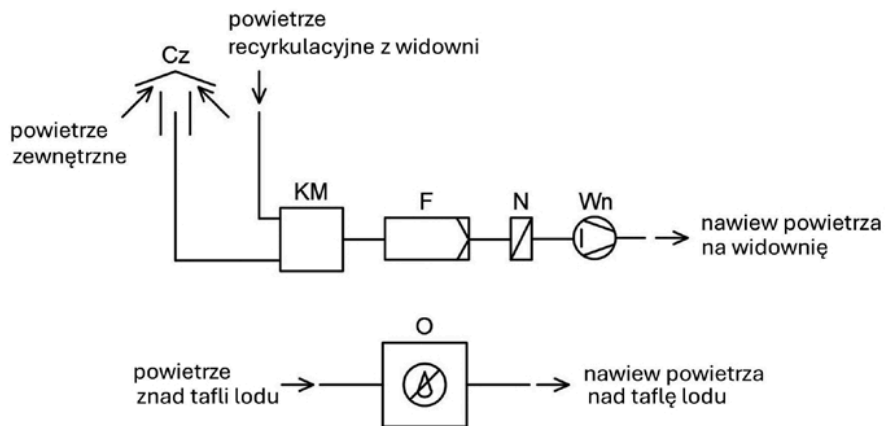
Rys. 1. Przykładowe rozwiązanie systemu rozdziału powietrza dla hali lodowiska: a) zintegrowanego, b) rozłączanego [7]

Sposób realizacji tej drugiej funkcji wentylacji i dobór osuszacza w dużej mierze zależy od przewidzianego w hali systemu nawiewania oraz usuwania powietrza, zwanego dalej systemem rozdziału powietrza. Mogą być stosowane dwa rodzaje takich systemów (rys. 1). Tradycyjnym rozwiązaniem jest system zintegrowany, który pełni obie funkcje łącznie. Nowoczesnym natomiast jest system rozłączony, w którym rozdzielono funkcję wentylacji/ogrzewania od funkcji osuszania powietrza [7]. Schematy central wentylacyjnych z osuszaniem dla obu systemów przedstawiono na rys. 2.

### SYSTEM ZINTEGROWANY



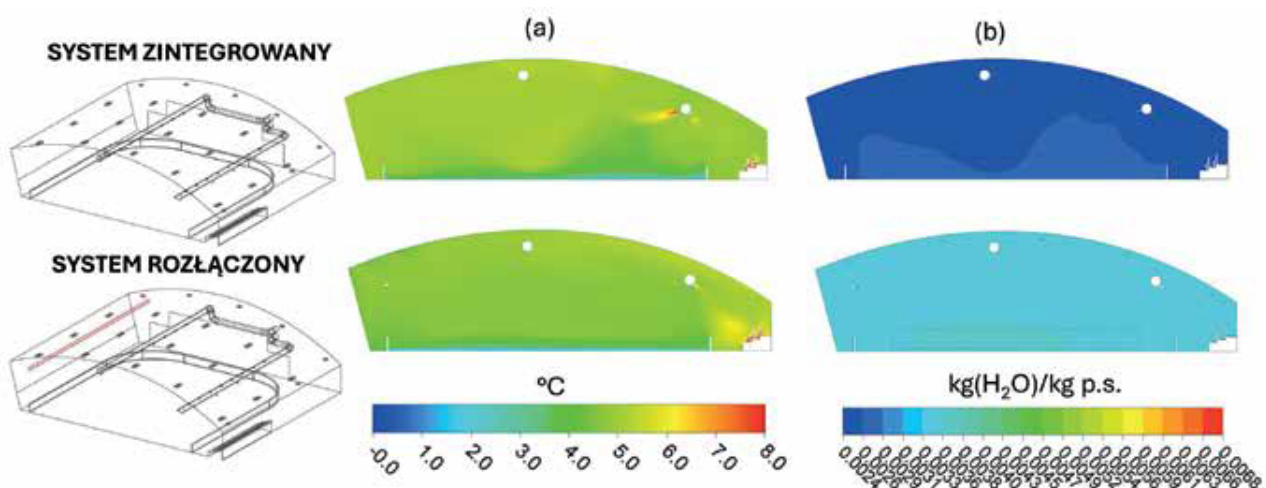
### SYSTEM ROZŁĄCZONY



Rys. 2. Uprozczone schematy instalacji wentylacyjnych z osuszaniem dla systemu: a) zintegrowanego, b) rozłączanego; Cz - czerpnia powietrza, KM - komora, F - filtr, N - nagrzewnica, O - osuszacz, Wn - wentylator nawiewny (rys. autorek)

W systemie zintegrowanym lodowisko wraz z widownią stanowi jedną strefę. Całe powietrze wentylacyjne jest osuszane w osuszaczu sorpcyjnym [11], a jego nawiew realizowany jest przez dysze dalekiego zasięgu umieszczone bezpośrednio pod powierzchnią dachu, który chroniony jest w ten sposób przed wykropleniem wilgoci w efekcie nadmiernego spadku jego temperatury. Wywiew zlokalizowany jest w przestrzeni widowni, blisko podłogi. To rozwiązanie jest preferowane dla obiektów z niewielką widownią i małą liczbą widzów.

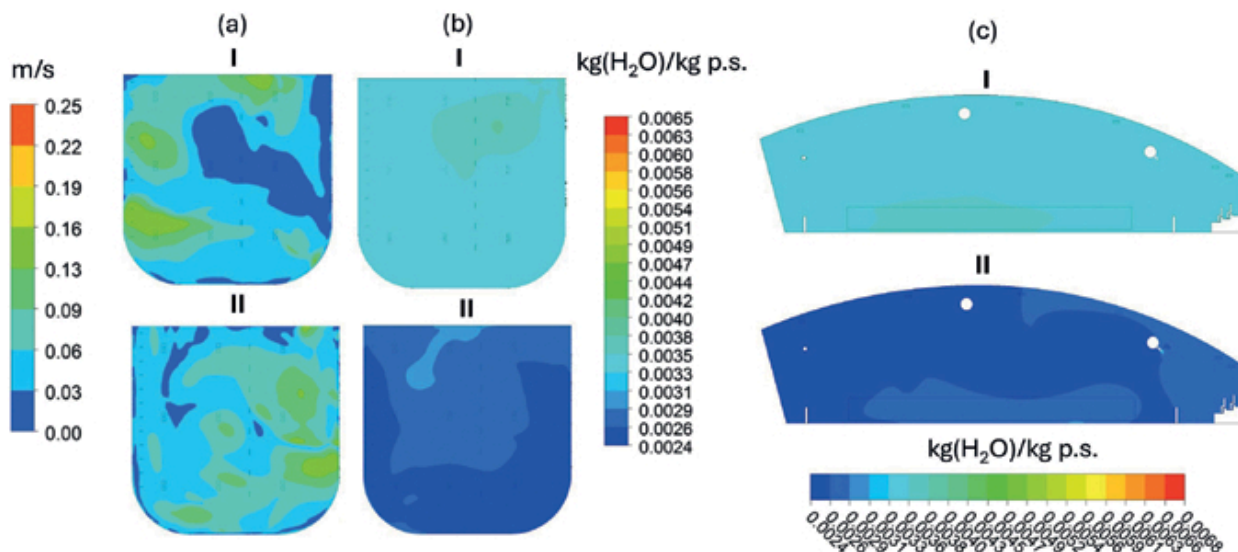
W systemie rozłączonym hala jest podzielona na dwie strefy: lodowisko i widownię. W strefie widowni nawiew powietrza wilgotnego po recyrkulacji i ewentualnym ogrzaniu realizowany jest przez dysze dalekiego zasięgu, zlokalizowane w górnej części hali. Struga nawiewana z dysz skierowana jest w taki sposób, aby powietrze rozprzestrzeniało się po widowni, ale omijało powierzchnię tafli lodu. Powietrze nawiewane ma parametry zapewniające utrzymanie wymaganych dla widzów warunków cieplno-wilgotnościowych. Jeśli chodzi o drugą ze stref, to część powietrza znad tafli zasysana jest przez osuszacz sorpcyjny (wyposażony we własne wentylatory), w którym podlega osuszeniu, a jego nawiew nad tafelą lodu jest realizowany przez dysze dalekiego zasięgu, umieszczone też w górnej części obiektu. Struga nawiewana z tych dysz ukierunkowana jest w stronę powierzchni lodu. W górnej części umieszczony jest indywidualny dla tego obszaru wywiew. Projektantom znane jest zalecenie, aby strumień powietrza osuszającego stanowił 7-10% strumienia powietrza wentylacyjnego, choć nie znajduje ono jakiegoś konkretnego uzasadnienia. Dzięki temu, że nie całe powietrze wentylacyjne jest kierowane przez osuszacz, zmniejsza się zapotrzebowanie na energię do osuszenia powietrza, czyli przede wszystkim na regenerację sorbentu [11].



Rys. 3. Rozkład parametrów powietrza w przekroju pionowym poprzecznym hali lodowiska na podstawie obliczeń numerycznych CFD dla obu systemów rozdzielania powietrza (modele po lewej): a) temperatury powietrza, b) zawartości wilgoci powietrza [4]

Na etapie projektowania trudno jest o ocenę warunków panujących w hali w efekcie działania wentylacji. Ze względu na złożoność zagadnienia odpowiedź na to pytanie można znaleźć jedynie w wyniku zastosowania modelowania numerycznego CFD [4]. Na rys. 3 pokazano wyniki badań numerycznych wpływu zastosowanego systemu rozdzielania powietrza na rozkład temperatury i zawartości wilgoci w powietrzu w hali lodowiska. W obu wariantach, dla systemu rozdzielania powietrza zintegrowanego i rozłączonego przy 10% udziale powietrza osuszającego, otrzymano zbliżoną średnią temperaturę powietrza w hali, jak również podobny rozkład tego parametru w przekroju pionowym poprzecznym hali lodowiska (rys. 3a). Różnice wystąpiły na mapach konturowych zawartości wilgoci w powietrzu (rys. 3b), gdzie w systemie rozłączonym zaobserwowano wyższą wartość tego parametru. Stosowany zazwyczaj przez projektantów udział powietrza osuszającego nie wpłynął zatem na polepszenie warunków cieplno-wilgotnościowych w hali w porównaniu z systemem zintegrowanym. Wykorzystując wyniki badań CFD na rys. 4 sprawdzono jak zwiększenie tego procentowego udziału do 59% wpłynęło na rozkład parametrów w hali. Przede wszystkim nie stwierdzono negatywnego wpływu na rozkład prędkości powietrza (rys. 4a). Z kolei na rozkładach zawartości wilgoci w powietrzu zaobserwowano znaczący spadek wartości tego parametru zarówno w obszarze nad tafelą lodu

(rys. 4b), jak i w przekroju poprzecznym hali (rys. 4c), co jest korzystne z punktu widzenia celów działania wentylacji z osuszaniem.



Rys. 4. Rozkład parametrów powietrza w hali lodowiska na podstawie obliczeń numerycznych CFD dla rozłącznego systemu rozdzielania powietrza (model z rys. 3): a) prędkości powietrza na wysokości 0,1 m nad taflą lodu, b) zawartości wilgoci powietrza na wysokości 0,1 m nad taflą lodu, c) zawartości wilgoci powietrza w przekroju pionowym poprzecznym dla procentowej ilości powietrza osuszającego: (I) 10% i (II) 59% [4, 12]

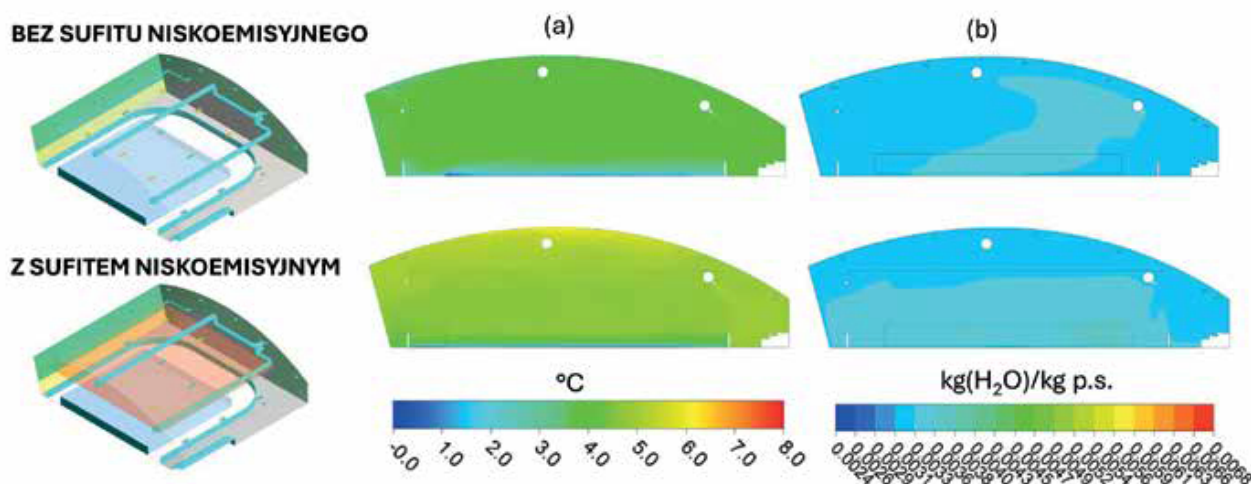
## SPOSOBY ZAPOBIEGANIA KONDENSACJI WILGOCI NA POWIERZCHNI DACHU

Jak już wspomniano, jednym z problemów związanych z dużą ilością wilgoci w hali jest kondensacja pary wodnej na powierzchni wewnętrznej dachu wskutek jej niskiej temperatury. Aby zapobiec temu zjawisku, temperatura dachu nie powinna być mniejsza o więcej niż 3K od temperatury powietrza wewnętrznego. Ponadto, temperatura punktu rosy powietrza w pomieszczeniu nie może być większa od temperatury dachu [12].



Niska temperatura dachu jest spowodowana przede wszystkim wypromieniowaniem ciepła do lodu. Promieniowanie to może zostać zmniejszone poprzez zmniejszenie różnicy temperatury pomiędzy tymi powierzchniami, zwiększenie izolacji dachu, a co ważniejsze – poprzez obniżenie emisyjności powierzchni dachu. Materiały, z których wykonane są konstrukcje dachu mają wysoką emisyjność, wynoszącą nawet 0,9. Specjalne farby aluminiowe mogą zmniejszyć emisyjność do wartości 0,2–0,5. Metale polerowane, takie jak aluminium bądź folia aluminiowa, mają emisyjność 0,05 [2]. W nowych obiektach wykorzystuje się też do tego celu niskoemisyjne sufity podwieszane (fot. 3), co także jest często stosowanym rozwiązaniem naprawczym w działających już halach lodowisk [2]. Sufit taki jest znacznie słabiej chłodzony przez wypromieniowanie, co powoduje, że przez większość czasu jego temperatura pozostaje powyżej punktu rosy otaczającego powietrza wewnątrz hali. Wówczas kondensacja pary wodnej jest znacznie zmniejszona lub wręcz wyeliminowana.

Na rys. 5 pokazano na podstawie badań CFD wpływ sufitu niskoemisyjnego na rozkład parametrów powietrza w hali. Po zainstalowaniu takiego sufitu zaobserwowano wzrost średniej temperatury powietrza w hali o 1°C oraz wyższą temperaturę powierzchni dachu o ok. 2°C. Średnia zawartość wilgoci w powietrzu była zbliżona w obu wariantach, jednak z zastosowaniem sufitu niskoemisyjnego powietrze osuszające pozostało pod powierzchnią sufitu (rys. 5b). Bez sufitu niskoemisyjnego wykroplenie wilgoci na powierzchni dachu nastąpiłoby przy temperaturze punktu rosy ponad 3,6°C, a z sufitem niskoemisyjnym dopiero przy ponad 5,5°C.



Rys. 5. Rozkład parametrów powietrza w przekroju pionowym poprzecznym hali lodowiska na podstawie obliczeń numerycznych CFD [4], [12] dla wariantu bez i z sufitem niskoemisyjnym (schematy po lewej): a) temperatury powietrza; b) zawartości wilgoci powietrza.

## INNE PROBLEMY ZWIĄZANE Z PROJEKTOWANIEM I EKSPLOATACJĄ WENTYLACJI HAL LODOWISK

- O ile problem wykroplenia pary wodnej na powierzchni dachu jest, można powiedzieć, opanowany, to projektanci sygnalizują potrzebę sprawdzenia wystąpienie takiej kondensacji na innych powierzchniach wewnętrznych hali lodowiska. Zjawisko to nie powinno się pojawiać w okresach zimnych, ale może się nasilać wraz ze wzrostem temperatury powietrza zewnętrznego i związanym z tym zwiększeniem zawartości wilgoci w powietrzu. Ocena tego wymaga znajomości rozkładu temperatury na tych powierzchniach, co jest trudne do uzyskania nawet za pomocą modelowania CFD. Pomocne może się tu okazać wykorzystanie do obliczeń modeli cieplnych budynku.
- Jeśli jednak przewidywane jest długotrwałe użytkowanie hali w ciepłych okresach roku, należy rozważyć zastosowanie dwustopniowego osuszania, w którym powietrze zewnętrzne przepływa najpierw przez chłodnicę przeponową, dzięki czemu podlega wstępnemu ochłodzeniu i osuszeniu, a następnie jest

uzdatniane w osuszaczu sorpcyjnym. Jest to rodzaj klimatyzacji obiektu, dzięki której nie tylko utrzymuje się wymaganą temperaturę na widowni i nad lodem, ale także zapobiega powstawaniu mgły nad lodem oraz wykrapaniu się pary wodnej na dachu i wspomnianych wcześniej powierzchniach. Ze względu na większe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne w tym przypadku, wskazane jest poprzedzenie projektowania klimatyzacji wspomnianą oceną. Aby zapobiec powstawaniu mgły, wystarczające jest, nawet w okresach ciepłych, zastosowanie osuszaczy sorpcyjnych w połączeniu z recyrkulacją powietrza usuwanego.

## NORMY I ROZPORZĄDZENIA

- N1. ASHRAE Standard 62: Ventilation for acceptable indoor air quality, Atlanta, 2007.
- N2. PN-B-03430:1983/Az3:2000 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania.

## LITERATURA

- 1. [www.mmkrakow.pl](http://www.mmkrakow.pl).
- 2. ASHRAE Handbook – Refrigeration, Chapter 44, Ice rinks, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.
- 3. Pawlus J., Florek R., Sztuczne lodowiska i tory lodowe do jazdy szybkiej. Sposoby obliczania i praktycznej realizacji, Chłodnictwo & Klimatyzacja, tom 8, 2006, s. 64–71.
- 4. Palmowska A., Modelowanie rozdziału powietrza wentylacyjnego w hali krytego lodowiska, rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2016.
- 5. [www.nytimes.com](http://www.nytimes.com).
- 6. Lipska B., Projektowanie wentylacji i klimatyzacji. Podstawy uzdatniania powietrza, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2022.
- 7. Lipska B., Koper P., Jopert K., Trzeciakiewicz Z., Badania numeryczne rozdziału powietrza wentylacyjnego w hali krytego lodowiska, COW, tom 10, 2011, s. 431–437.
- 8. Technical guidelines of an ice rink, Chapter 3, International Ice Hockey Federation, Switzerland, 2003.
- 9. Sormunen P., Sundman T.L., Lestinen S., The design challenges of multipurpose arenas, Proceedings of Clima Well Being Indoors, Finland, 2007.
- 10. Lipska B., Osuszanie powietrza w wentylacji i klimatyzacji, Przewodnik projektanta, nr 2/2023.
- 11. Lipska B., Trzeciakiewicz Z., Projektowanie wentylacji i klimatyzacji. Zagadnienia zaawansowane, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2023.
- 12. Palmowska A., Lipska B., Research on improving thermal and humidity conditions in a ventilated ice rink arena using a validated CFD model, International Journal of Refrigeration 86, November 2017.
- 13. [www.rrspecialties.com/energie-innovation-ceilings/](http://www.rrspecialties.com/energie-innovation-ceilings/).

dr hab. inż. Barbara Lipska, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania

dr inż. Agnieszka Palmowska, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania, Członek Zarządu PZITS o/Katowice

Artykuł zamieszczony w "Przewodniku Projektanta" nr 1/2024





**DOSTĘP DLA  
CZŁONKÓW PIIB**

**PO ZALOGOWANIU**

[www.portal.piib.org.pl](http://www.portal.piib.org.pl)

**DOSTĘP DLA  
CZYTELNIKÓW**

**PO ZAMÓWIENIU**

[www.inzynierbudownictwa.pl/sklep](http://www.inzynierbudownictwa.pl/sklep)