

# Klimat wewnętrzny w hali lodowiska krytego, sztucznie mrożonego

Mgr inż. Marcin Kosieniak, PM Projekt

## 1. Wprowadzenie

Od czasu kiedy do Polski zaczęły napływać dotacje na rozwój powiatów i gmin, władze zaczęły przeznaczać środki na szeroki rozwój ośrodków rekreacji dla mieszkańców. Na przestrzeni ostatnich 15 lat zauważyć można duży przyrost nowych obiektów służących tym celom. Nowe hale widowiskowo-sportowe, nowe kompleksy basenowe, parki rozrywki, stadiony, a także lodowiska zaczęły upiększać krajobraz dzielnic, tworząc tym samym miejsca przyjazne dla całych rodzin. Niewątpliwie jednym z takich miejsc jest kompleks sportowo-widowiskowy w dzielnicy Babia Wieś w Bydgoszczy. Właśnie w tym miejscu powstało lodowisko „Torbyd”, którego projektantem instalacji ogrzewania, wentylacji, klimatyzacji, wody i kanalizacji jest autor artykułu.

W Bydgoszczy funkcjonował już obiekt o tej samej nazwie. Wybudowany w roku 1959 stary „Torbyd” został jednak zamknięty na długi okres, a następnie wyburzony. W roku 2014 władze Bydgoszczy podjęły decyzję o budowie nowego lodowiska, w miejscu gdzie zlokalizowana jest hala widowiskowo-sportowa Łuczniczka oraz hala rozgrzewkowa. W 2018 roku pierwsi łyżwiarze mogli cieszyć się ze ślizgania w nowoczesnym obiekcie. Obecny „Torbyd” to budynek o charakterystycznym wyglądzie, którego bryła przypomina kryształ lodu.

Powierzchnia budynku to 4605 m<sup>2</sup>, a sama tafla lodowa zajmuje powierzchnię 1779 m<sup>2</sup>. Wysokość budynku to 9,0 m. Obiekt przewidziano dla 240 (szczytowo 250) osób jeżdżących na tafli oraz 300 osób przebywających na trybunach. Podstawowa funkcja, jaką spełnia lodowisko „Torbyd”, to tzw. ślizgawka, ale obiekt ten spełnia wszystkie wymogi dla sztucznych lodowisk – zatem jest przygotowany do rozgrywania meczów hokejowych, a także innych sportów, takich jak jazda figurowa, short track oraz curling. Przewidziana jest 8-miesięczna eksploatacja lodowiska, ale układ pozwala na przejście do eksploatacji całorocznej. Budynek lodowiska został wyposażony w szereg pomieszczeń, które umożliwiają funkcjonowanie technologiczne, a także zapewniają wymagania dla obiektów użyteczności publicznej. Oprócz

pomieszczeń szatni, przebieralni i stanowisk do ostrzenia łyżew w budynku przewidziano pomieszczenie restauracji wraz z zaopieczonym kuchennym. W obiekcie znajdują się także pomieszczenia maszynowni chłodniczej, pomieszczenie rolby, maszynowni wentylacyjnej, węzła cieplnego oraz pomieszczenia trafo.

## 2. Rozwiązania technologiczne lodowiska

Projekt technologii lodowiska (Cielecki, 2015) zakładał przygotowanie lodu przez zespół urządzeń zlokalizowanych na parterze w pomieszczeniach agregatu i rolby oraz na dachu – skraplacze. Na potrzeby przygotowania lodu zastosowano amoniakalny agregat chłodniczy o mocy chłodniczej 360,0 kW przy parametrach chłodziwa  $t_z/t_p$  -12°C/-9°C. Czynnikiem chłodniczym jest amoniak R717. Odpowiednio dla tego układu zastosowano skraplacz chłodzony powietrzem odprowadzający ciepło skraplania o mocy 450,0 kW. W celu przystosowania układu do pracy całorocznej dodatkowo układ chłodzenia został wyposażony w system schładzania adiabatycznego. Do tego celu zastosowano 10 dysz natryskowych o kącie rozpylania 120° przy przepływie 2,0 dm<sup>3</sup>/min.

Układ mrożeniowy płytę stanowi woda amoniakalna Arium Alkaline 16% o przepływie ok. 110 m<sup>3</sup>/h, przy  $\Delta t=3^{\circ}\text{C}$ . Ze względu na bardzo dobre parametry termodynamiczne zauważono, że coraz częściej stosowane są czynniki w oparciu o roztwory amoniaku. Niestety stosowanie roztworu amoniaku wiąże się z niebezpieczeństwem, zatem niezbędne są dodatkowe środki, które uchronią przed tym zagrożeniem. Przypomnieć warto, że niebezpieczeństwem stosowania amoniaku jest jego wybuchowość. Jako mieszanka paliwowo-powietrzna przy temperaturze +650°C staje się mieszaniną wybuchową, stąd zapewniono odpowiednie układy wentylacji w miejscach, gdzie mogą wydzieląć się pary tego czynnika. Objętość zładu zastosowanego czynnika roboczego do mrożenia płyty wynosi blisko 12 m<sup>3</sup>. Oprócz mrożenia płyty lodowiska i wytworzenia sztucznego lodu równie ważnym elementem jest to, co znajduje się pod samą płytą lodu. Ochrona gruntu pod płytą jest szczególnie istotna z punktu widzenia parametrów technicznych, ale również z punktu widzenia ochrony środowiska. Płyta betonu hydrotechnicznego, na którym układane są przewody chłodzące, zabezpieczona jest izolacją termiczną. Pomimo tego sam grunt pod płytą jest zabezpieczony przed zamrożeniem przez podgrzanie. Do tego celu wykorzystano ciepło skraplania agregatu, przesyłając strumień ciepła do topielnika oraz dalej przez grunt do skraplacza na dachu. Temperatura czynnika po stronie skraplacza waha się w granicach ca. 35–45°C. Dla utrzymania odpowiedniej jakości tafli



Rys. 1. Budynek lodowiska (źródło: archiwum własne autora)



**Rys. 2.** Rolba w czasie pracy (źródło: archiwum własne autora)

lodu niezbędne jest zapewnienie rolby, która będzie w stanie zebrać śnieg z płyty. W samym pomieszczeniu (garażu) rolby znajduje się topielnik, do którego podłączona została wężywnica i system zraszania śniegu. Dzięki wykorzystaniu ciepła skraplania układ wykazuje wysoką efektywność energetyczną, co jest bardzo istotnym punktem przy planowaniu tego typu obiektów.

Samo lodowisko nie byłoby w stanie funkcjonować, gdyby nie zespół kolejnych urządzeń wraz z zasilaniem energetycznym na czele, gdzie zapewnienie odpowiedniego klimatu jest bardzo ważnym elementem stworzenia precyzyjnie działającej układanki systemu.

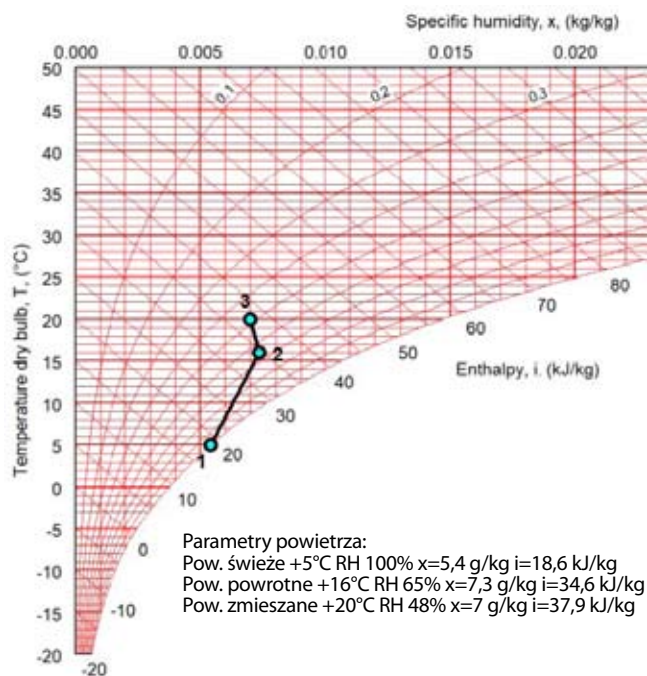
### 3. Zapewnienie prawidłowego klimatu wewnętrznego

Klimat wewnątrz w każdym obiekcie jest szczególnie ważnym aspektem użytkowania budynku. Odpowiednio dobrany system musi spełniać wymagania, jakie są niezbędne do zapewnienia komfortu przy racjonalnie niskim zużyciu energii. Nie jest sztuką zastosować przewymiarowany układ, który będzie pracował na 30% wydajności przez większą część roku. W takim przypadku oprócz przerostu kosztu inwestycji trzeba się również liczyć z kłopotami eksploatacyjnymi, jakie niesie za sobą nieprawidłowe zwymiarowanie urządzeń.

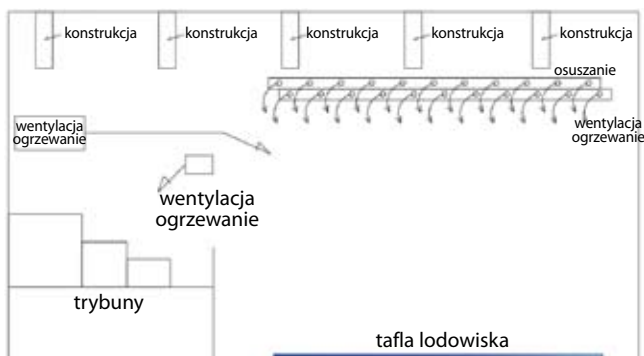
W przedmiotowym budynku najważniejszą rolę spełnia hala główna lodowiska. Podstawowe zadanie, jakie musi spełnić system HVAC w tego typu aplikacji, jest utrzymanie odpowiednich temperatur oraz, a w zasadzie przede wszystkim, system ten powinien utrzymać odpowiednią wilgotność w pomieszczeniu. Hala lodowiska z płytą lodu wewnątrz o wielkości 60×30 m to idealne źródło do kondensacji pary wodnej. Para wodna może osadzać się na przegrodach i kondensować, ale również w niesprzyjających warunkach może dojść do wytworzenia się mgły nad taflą. Jest to niedopuszczalne zjawisko, do którego nie można doprowadzić w nowoczesnym obiekcie. W tym celu wymagane było prawidłowe zwymiarowanie systemu wentylacji, ogrzewania i osuszania pomieszczenia. Do obliczenia odpowiednich wartości układów posłużono się wzorami empirycznymi, znanymi w termodynamice od wielu lat, jak również skorzystano z wyników wykonanych obliczeń numerycznej mechaniki płynów CFD przy innych lodowiskach. Do założeń obliczeniowych przyjęto temperaturę w strefie płyty lodowej na poziomie +12°C oraz wilgotność względną na poziomie 35%. Źródłem emisji wilgoci są przebywające osoby na widowni i na tafli lodu oraz powietrze zewnętrzne wprowadzane do pomieszczenia. Aby zminimalizować ilość wprowadzanej wilgoci do pomieszczenia, układ wentylacji wyposażono w sekcję osuszania. W tym celu wprowadzono chłodnicę o niskich temperaturach roboczych czynnika, wynoszących  $t_z/t_p$  0/5°C. Dzięki takiemu zabiegowi łączne zyski wilgoci wprowadzone do pomieszczenia skalkulowano

na poziomie 73,2 kg/h przy założeniu 240 osób łącznie na tafli i na widowni. Ponieważ powietrze wentylacyjne po przejściu przez układ osuszania i dalej po podgrzaniu na nagrzewnicy wtórnej zawiera ilość wody o wielkości 6,8 g/kg p.s., to na tej podstawie do bilansu nie było konieczne przyjmowanie wilgoci z powietrza wprowadzanego. Parametry powietrza w kolejnych stadiach przedstawiono na wykresie Molliera (rys. 3). W celu utrzymania parametrów powietrza zaprojektowano centralę wentylacyjną z wymiennikiem obrotowym oraz komorą mieszania. Układ pełni funkcję wentylowania oraz ogrzewania hali. Oprócz tego wprowadzono dodatkową odnogę do wentylacji i ogrzania strefy widowni. Łączny wydatek centrali wentylacyjnej (VBW, 2015) wynosi 50 000 m<sup>3</sup>/h powietrza. Ponadto w celu utrzymania odpowiedniego stopnia wilgotności w pomieszczeniu zastosowano adsorpcyjny osuszacz powietrza. Schemat zaprojektowanego systemu został przedstawiony na rysunku 4. Pierwotnie zaprojektowano osuszacz adsorpcyjny (LEWACO, 2015) z nagrzewnicą elektryczną do regeneracji rotora, ale w trakcie wykonywania obiektu pojawiło się na rynku bardziej ekonomiczne rozwiązanie i końcowo zastosowano osuszacz z nagrzewnicą regeneracyjną o mniejszej mocy. Utrzymywanie parametrów zgodnych ze standardem zapisanym w ASHRE (Handbook, ASHRAE; 2010) nie byłoby możliwe, gdyby nie zachowanie odpowiednich elementów do nawiewu powietrza. W tym celu dobrano dysze dalekiego zasięgu, które zapewniają odpowiedni ruch powietrza w strefie ludzi. Wywiew powietrza z pomieszczenia stanowią kraty wywiewu, które zostały zlokalizowane w jednym miejscu, tuż przy maszynowni wentylacyjnej.

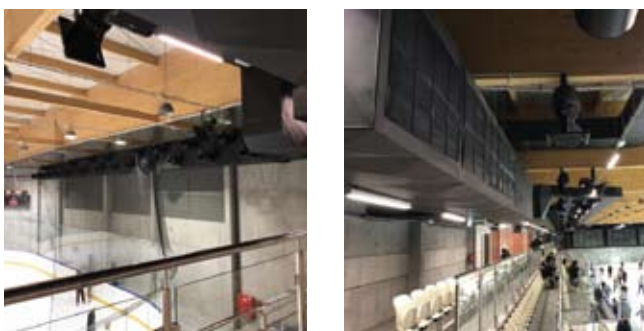
Budynek lodowiska to oczywiście nie samo pomieszczenie z taflą lodu. W przedmiotowym projekcie znalazły się również inne pomieszczenia, które wymagały odpowiedniego klimatu. Warto wspomnieć o pomieszczeniu kuchni i sali restauracyjnej. W tych pomieszczeniach klimat wewnętrzny utrzymują osobne centrale



**Rys. 3.** Wykres Molliera (źródło: opracowanie własne przy wykorzystaniu oprogramowania Mollier Sketcher)

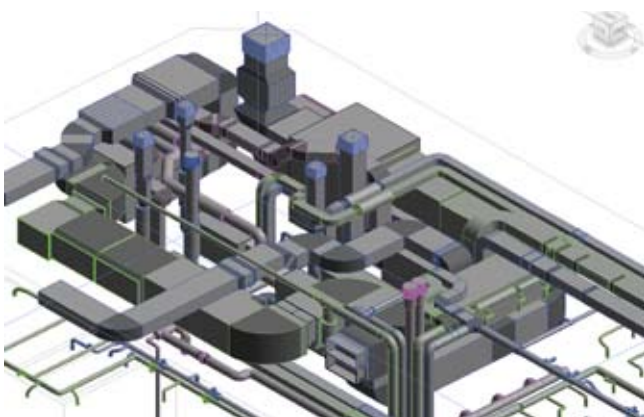


**Rys. 4.** Schemat systemu wentylacji osuszania i ogrzewania (źródło: opracowanie własne autora)



**Rys. 5.** Lokalizacja dysz dalekiego zasięgu oraz krat wylotu powietrza (źródło: fotografie własne autora)

wentylacyjne z odzyskiem ciepła, przy czym centrala dla kuchni pracuje we współpracy z okapami kuchennymi. Pomieszczenia techniczne takie jak rozdzielnie, maszynownie itp. zorganizowano na osobnych zespołach wentylacyjnych. Dodatkowo pomieszczenie maszynowni amoniakalnej zabezpieczono wentylatorem w wykonaniu przeciwwybuchowym, który działa we współpracy z czujnikami podwyższonego stężenia amoniaku w pomieszczeniu. W chwili wykrycia oparów amoniaku układ uruchamia się na tryb awaryjny, zapewniając odpowiednie rozrzedzenie tej substancji w powietrzu i zabezpiecza przed wybuchem.



**Rys. 6.** Projekt instalacji w maszynowni wentylacyjnej (źródło: opracowanie własne autora)

## 4. Narzędzia do projektowania

W obecnych czasach proces realizowania dokumentacji projektowej jest ściśle powiązany z techniką komputerową. Nie uda się stworzyć nowoczesnego projektu, bez wykorzystania nowoczesnych technik numerycznych czy narzędzi wspomaganego projektowania. Zawsze należy pamiętać, że za każdymi obliczeniami komputerowymi stoi człowiek i to, w jaki sposób zostaną stworzone obliczenia, zależy ściśle od wprowadzonych danych wejściowych. Przy projektowaniu lodowiska bardzo mocny nacisk położono na optymalizację i tzw. „efektywne projektowanie”. Wykorzystanie dostępnej przestrzeni bez zbędnej nadwyżki nie byłoby możliwe, gdyby nie zaawansowane techniki modelowania 3D. W tym celu skorzystano z oprogramowania, które stanowi człon obecnej technologii BIM. Dzięki temu możliwe było zaprojektowanie skomplikowanych geometrii w pomieszczeniach i wykorzystanie miejsc dostępnych na urządzenia czy przewody instalacyjne. Instalację w maszynowni wentylacyjnej, gdzie bez zastosowania geometrii trójwymiarowej czas niezbędny na projektowanie nie byłby tak krótki jak w tym wypadku – przedstawiono na rysunku 6. Warto też wspomnieć o technikach numerycznej mechaniki płynów. Dzięki narzędziom CFD jakimi dysponujemy, jesteśmy w stanie wykonać najbardziej wymagające obliczenia związane z termodynamiką i innymi zjawiskami fizycznymi. Zastosowane metody równań Naviera-Stokesa, hydrodynamika z algorytmami turbulencji Smagorinsky'ego przy wykorzystaniu chmury obliczeniowej są narzędziami, dzięki którym odwzorowanie założeń projektowych jest niemalże identyczne ze zrealizowanym przedsięwzięciem.

## 5. Podsumowanie

Klimat wewnętrzny w hali lodowiska jest bardzo ważnym elementem, bez utrzymania którego taki obiekt nie będzie funkcjonował. Utrzymanie tego klimatu w odpowiednich parametrach będzie możliwe jedynie przy zachowaniu prawidłowości obliczeń. Skrupulatne skalkulowanie wilgoci, ciepła, chłodu, a także sprawdzenie zasięgów i prędkości końcowej strugi powietrza to tylko kilka ważnych elementów, które należy przewidzieć przy projektowaniu sztucznego lodowiska w krytej hali. Rozwiązania, jakie zastosowano w omawianym projekcie, znalazły odzwierciedlenie w wybudowanym obiekcie w Bydgoszczy. Zoptymalizowane rozwiązania techniczne w połączeniu z ciekawym wyglądem bryły budynku podkreślają nietuzinkowy charakter tego obiektu. Niewątpliwie największym weryfikatorem systemu dla utrzymania klimatu wewnętrznego w pomieszczeniach jest korzystający z obiektu. Nade wszystko nie może on dostrzec anomalii klimatu wewnętrznego, a cały proces dziejący się w zaprojektowanych układach spowoduje tylko jego pozytywne wrażenie, że właśnie „tak ma być”.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Cielecki J., Projekt technologii lodowiska, Gdańsk, 2015
- [2] Handbook, ASHRAE, 2010. ASHRAE Handbook: Refrigeration, 1791 Tullie Circle., GD 30329, Atlanta, 2010
- [3] Kosieniak M., Projekt instalacji sanitarnych lodowiska, Gdańsk, 2015
- [4] Lewaco 2015. Wysokowydajny, adsorpcyjny osuszacz powietrza, Grudziądz: Lewaco, 2015
- [5] VBW. 2015. Dobór techniczny central wentylacyjnych, VBW Engineering, Gdynia: VBW, 2015