

Zbigniew WNUKOWICZ

Efektywność energetyczna instalacji klimatyzacyjnych dla hal basenowych

1. Wprowadzenie

Rosnące wymagania klientów oraz coraz większa konkurencja zmuszają projektantów obiektów basenowych do ciągłego podnoszenia ich jakości, szczególnie w zakresie różnorodności świadczonych usług, estetyki wnętrza i komfortu.



Jednak ośrodki basenowe, ze względu na swoją specyfikę, są jednymi z najbardziej energochłonnych obiektów z dziedziny rekreacji. Dlatego, w dobie rosnących cen energii, zastosowanie rozwiązań technicznych gwarantujących niskie jej zużycie, w sposób zasadniczy wpływa na obniżenie kosztów eksploatacji, podnosząc konkurencyjność obiektu.

Zużycie energii zależy głównie od typu i sprawności zastosowanych urządzeń, chociaż nie bez znaczenia jest sposób ich wykorzystania oraz wartość utrzymywanych parametrów pracy (głównie wydajności urządzeń oraz parametrów wody basenowej i powietrza w hali z basenem). W opracowaniu porównamy zużycie ciepła i energii elektrycznej w instalacjach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych hal basenowych przy zastosowaniu różnych rozwiązań.

2. Elementy zużycia ciepła w ośrodku basenowym, zależne od funkcjonowania instalacji wentylacyjnej lub klimatyzacyjnej hali basenowej

Poniżej przedstawiono główne elementy zużycia ciepła w ośrodku basenowym, zależne od skutków funkcjonowania instalacji wentylacyjnej bądź klimatyzacyjnej hali basenowej:

- a) Straty ciepła na wentylację (ciepło zużywane do podgrzania powietrza zewnętrznego, wprowadzanego do wnętrza budynku przez systemy wentylacyjne).
- b) Straty przenikania poprzez przegrody budowlane (ciepło zużywane do ogrzewania hali basenowej).
- c) Ciepło zużywane na utrzymanie stałej temperatury wody w basenie, stygnącej głównie na skutek parowania
- d) Ciepło zużywane do podgrzania świeżej wody, którą uzupełniane są ubytki z basenu, wynikające z wychłapania, parowania, czy płukania filtrów. Technicznie ciepło związane z elementem „c” i „d” dostarczane jest zazwyczaj za pomocą wspólnego wymiennika.

Straty ciepła na wentylację zależą przede wszystkim od typu i jakości (sprawności, precyzji) zastosowanych urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, dlatego temu tematowi poświęcimy najwięcej uwagi.

Straty przenikania przez przegrody budowlane hali basenowej w praktyce zależne są od instalacji klimatyzacyjnej tylko w niewielkim stopniu, wynikającym z precyzji regulacji temperatury powietrza w hali basenowej oraz z prędkości ruchu powietrza, wymuszonego przez instalację wentylacyjną w obszarach stycznych do zewnętrznych przegród budowlanych.

Ciepło związane z utrzymaniem stałej temperatury wody w basenie zależy przede wszystkim od warunków klimatycznych w hali basenowej (temperatury, wilgotności i prędkości ruchu powietrza), a więc od skutków działania instalacji klimatyzacyjnej. Ponadto niektóre basenowe centrale klimatyzacyjne wyposażone są w instalacje chłodnicze z dodatkowym skraplaczem chłodzonym wodą. W rozwiązaniach tych część ciepła odzyskanego z powietrza w procesie osuszania przekazywana jest do wody basenowej.

Ciepło potrzebne do podgrzania świeżej wody, uzupełnianej do basenu, nie zależy ani od jakości instalacji klimatyzacyjnej ani od skutków jej działania. Istnieją jednak basenowe centrale klimatyzacyjne, wyposażone w instalacje chłodnicze z dodatkowym skraplaczem chłodzonym świeżą wodą, zasilającą basen. Systemy te ograniczają zużycie ciepła dostarczanego do basenu z odrębnego źródła (kotłownia, węzeł cieplny), jednocześnie poprawiają efektywność energetyczną instalacji chłodniczej w centrali klimatyzacyjnej.

3. Zadania instalacji wentylacyjnej i klimatyzacyjnej w ośrodku basenowym

Głównym zadaniem instalacji wentylacyjnej i klimatyzacyjnej jest utrzymywanie odpowiedniej jakości powietrza w hali basenowej, poprzez:

- usuwanie nadmiaru wilgoci
- usuwanie zanieczyszczeń chemicznych
- ogrzewanie bądź chłodzenie

Dodatkowe funkcje, jakie pełni instalacja wentylacyjna, to:
zabezpieczenie okien oraz elementów konstrukcyjnych budynku przed zawilgoceniem
utrzymanie odpowiedniej temperatury posadzki
ograniczenie rozprzestrzeniania się wilgoci do sąsiednich pomieszczeń, i t.p.

Nieustanne parowanie wody z niecki, silnie zależne od parametrów powietrza oraz duża emisja związków chloru, szkodliwych dla samej struktury budowlanej, nie pozwalają na wyłączenie tej instalacji nawet wtedy, gdy w ośrodku nie ma klientów.

4. Znaczenie parametrów powietrza w hali basenowej

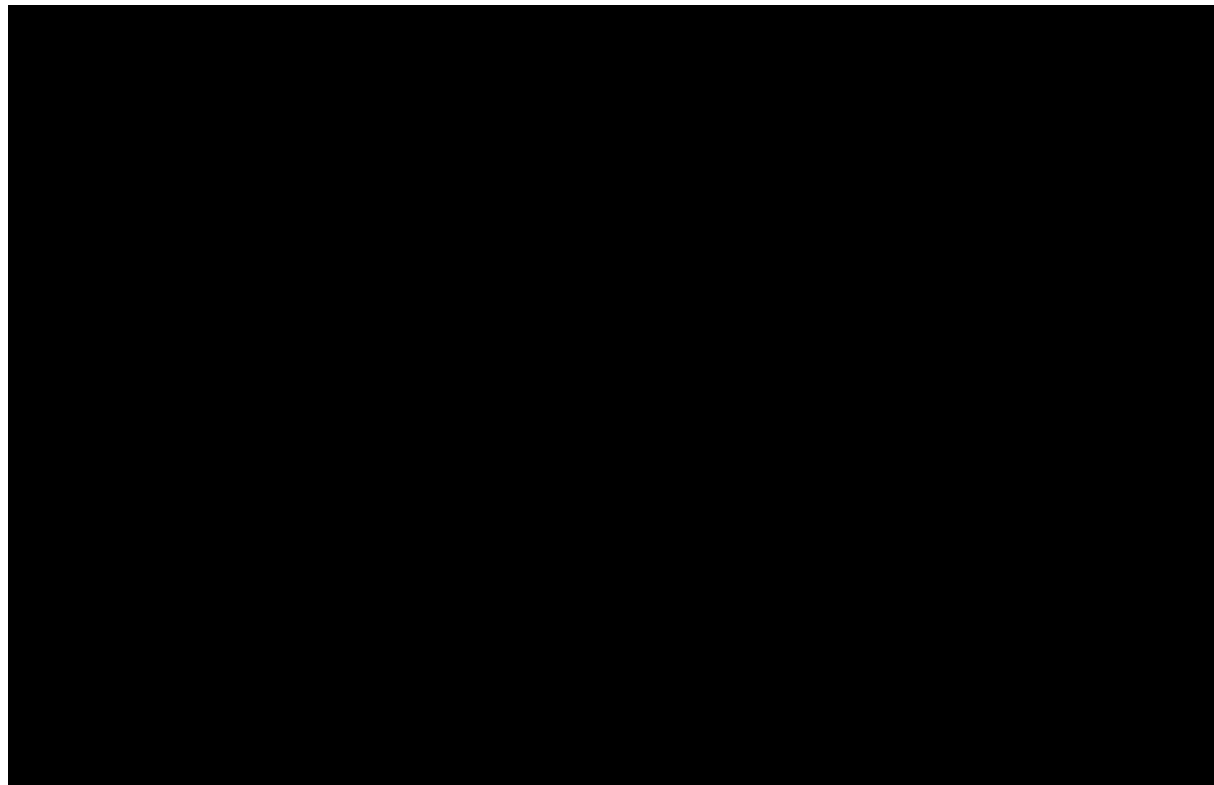
Parametry powietrza wewnątrz hal basenowych znacznie różnią się od parametrów powietrza w innych pomieszczeniach. Przeciętnie jeden kilogram powietrza w hali basenowej zawiera ponad 15g wilgoci, a więc dwukrotnie więcej, niż powietrze w pomieszczeniu mieszkalnym czy biurowym. W stosunku do pomieszczeń biurowych wyższa jest również temperatura powietrza w hali basenowej i wynosi zazwyczaj 30°C.

Dlaczego właśnie takie parametry powietrza zalecane są dla hal basenowych?

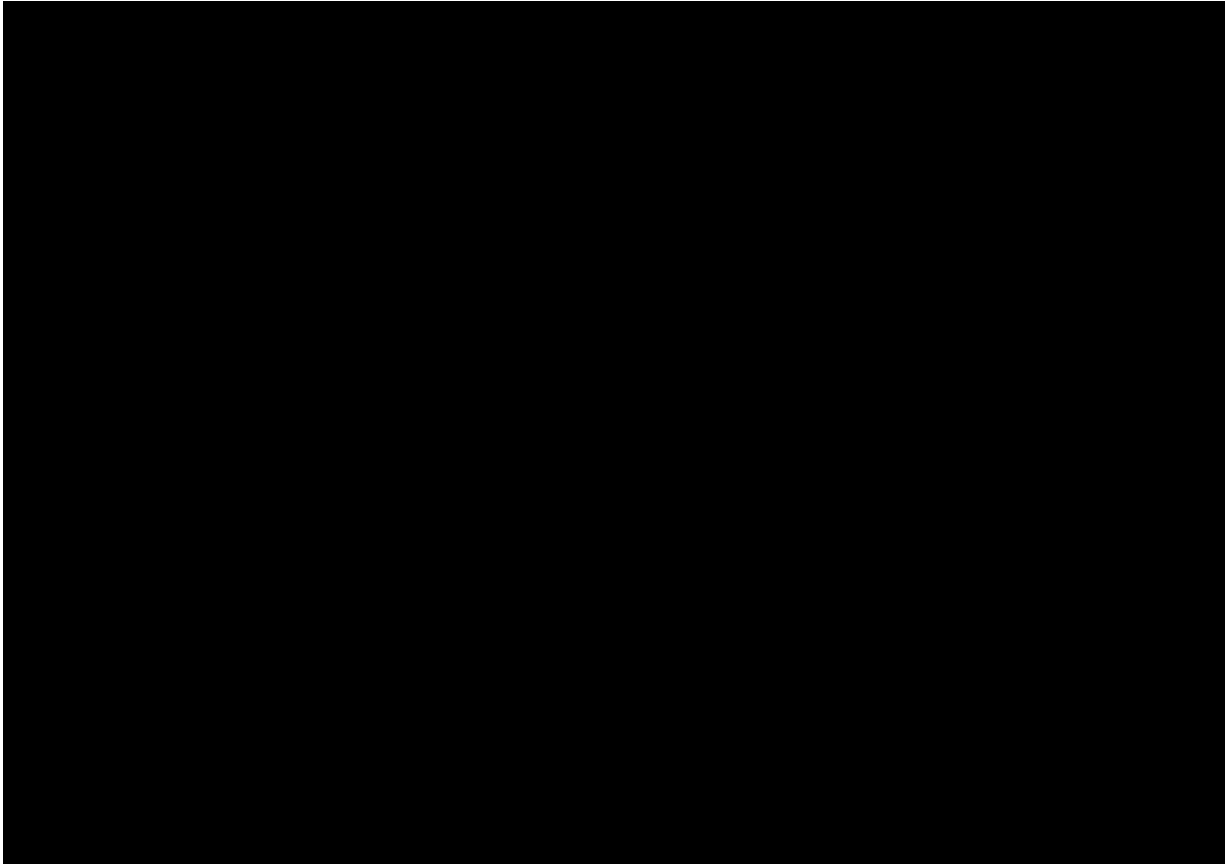
Wartości tych parametrów mają bowiem znaczący wpływ na warunki komfortu, trwałość budynku i zużycie energii.

A mianowicie:

Istnieje ścisła zależność intensywności parowania wody od parametrów wody i powietrza. Im wyższa jest temperatura wody i niższa temperatura bądź wilgotność powietrza, tym bardziej intensywne parowanie z powierzchni basenu. Intensywność parowania zależy również od falowania powierzchni wody, czyli od stopnia wykorzystania basenu. Poniżej przedstawiono zależność odparowania wody z niecki od temperatury i wilgotności powietrza w hali basenowej (wykresy dla okresu podczas kąpieli i poza kąpielą).



Większe odparowanie wody z powierzchni basenu powoduje większe straty ciepła z niecki basenowej. Warto przypomnieć, że odparowanie 1 g wody wymaga ponad 530 razy więcej ciepła, niż podgrzanie go o 1 °C. Ciepło związane z odparowaniem wody stanowi ponad 80% całkowitych strat ciepła z niecki basenowej, ograniczanie parowania wody może więc przynieść spore oszczędności. Poniżej przedstawiono straty ciepła z niecki na skutek parowania w funkcji parametrów powietrza w hali basenowej.



Z większym odparowaniem wody wiąże się konieczność bardziej wydajnego usuwania wilgoci z powietrza, a więc większego zużycia energii przez instalację wentylacyjną (temat ten rozwinięty będzie w dalszej części opracowania). Dla ograniczenia parowania i związanego z nim zużycia energii należałoby więc maksymalnie podnosić parametry powietrza w hali basenowej.

Temperatura punktu rosy jest funkcją wilgotności i temperatury powietrza i jest tym wyższa, im wyższe są te parametry. Dla zalecanej w halach basenowych temperatury powietrza 30°C i wilgotności 55% temperatura punktu rosy wynosi aż 20°C, co oznacza kondensację pary wodnej na każdym elemencie o temperaturze niższej od 20°C. Dla zmniejszenia ryzyka zawilgocenia elementów konstrukcji budynku należałoby maksymalnie obniżać parametry powietrza w hali basenowej.

U osób ubranych tylko w stroje kąpielowe i mokrych zachodzi silne parowanie wody z powierzchni skóry, powodując jej schładzanie. Niska wilgotność bądź temperatura powietrza wzmacnia to zjawisko, powodując uczucie chłodu. Jednak zbyt wysoka wilgotność lub temperatura powietrza powoduje uczucie duszności. Warunki komfortu w hali basenowej stanowią więc wąski przedział parametrów powietrza.

Parametry powietrza w hali basenowej są więc wynikiem kompromisu pomiędzy kosztami eksploatacji a ryzykiem zawilgocenia budynku przy jednoczesnym zachowaniu warunków komfortu. Wartość tych parametrów powinna być dostosowana do wymagań konkretnego obiektu.

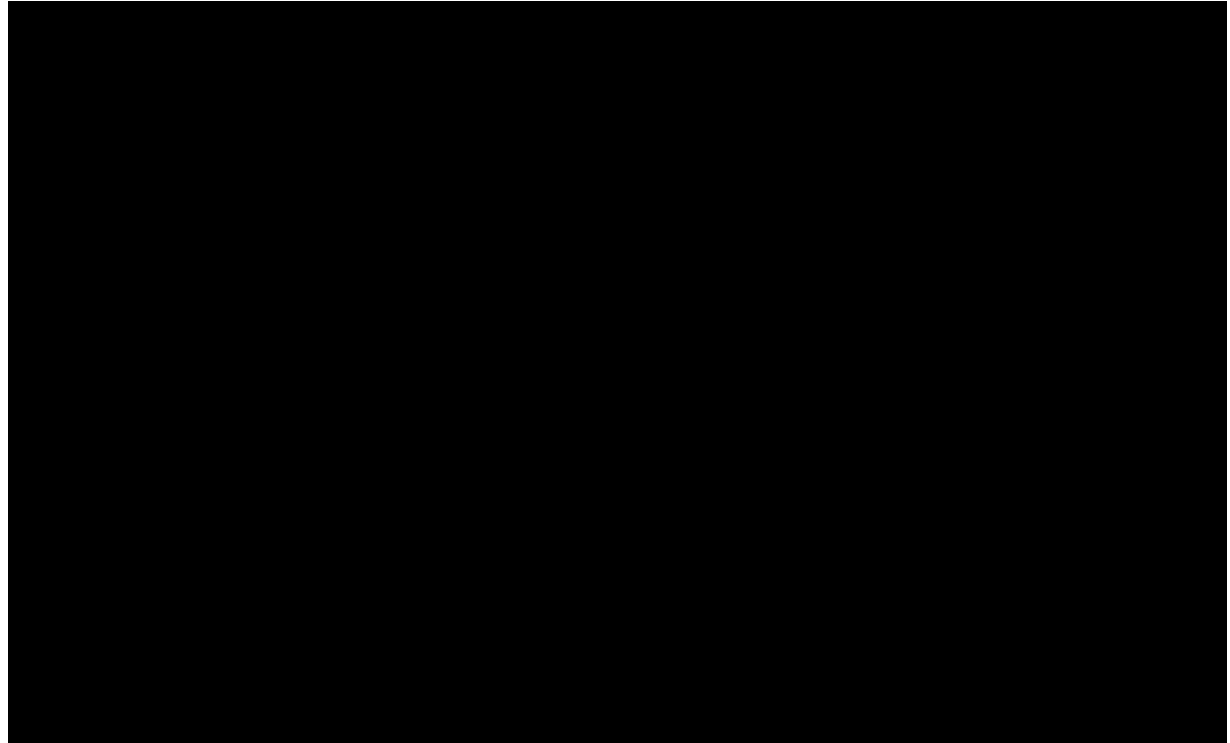
5. Metody ograniczania zużycia ciepła na potrzeby instalacji wentylacyjnej

5.1. Regulacja wilgotności poprzez zmienny udział powietrza zewnętrznego i recyrkulacyjnego

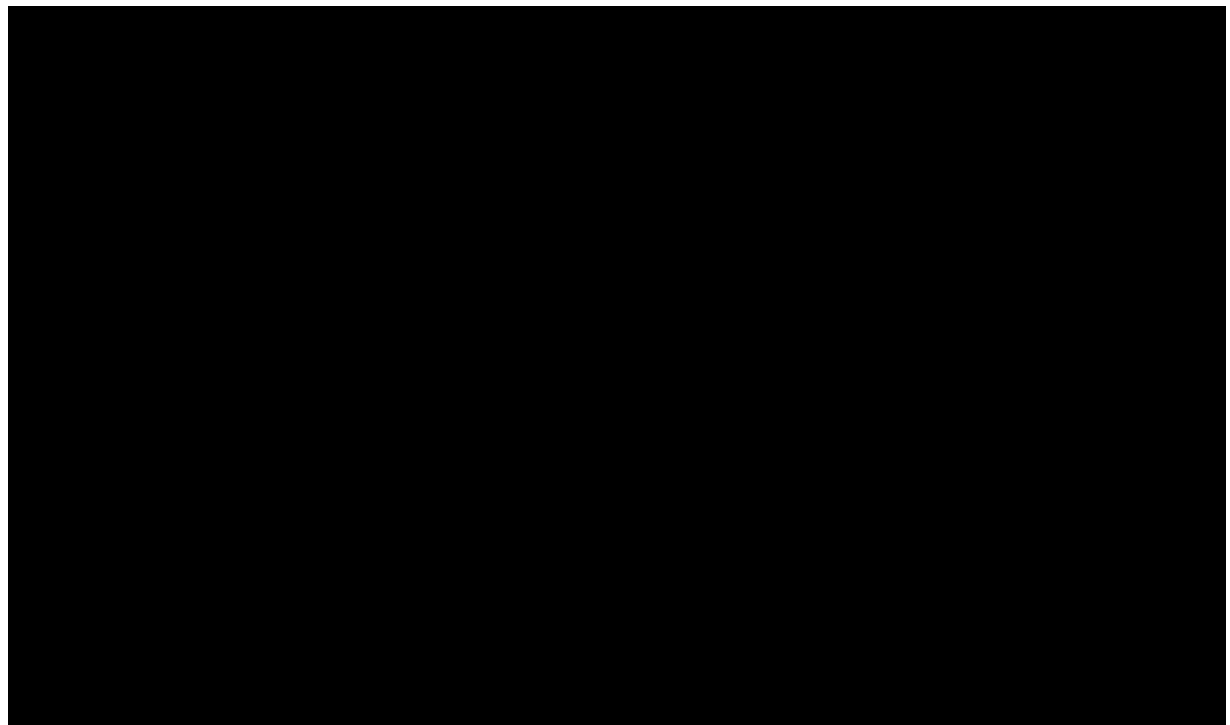
Strumień zewnętrznego powietrza wentylacyjnego powinien gwarantować skuteczne usuwanie zanieczyszczeń oraz nadmiaru wilgoci z powietrza w hali basenowej. Jednak zdolność powietrza zewnętrznego do asymilacji wilgoci zależy od pory roku i większa jest zimą, niż latem. Różna jest także emisja wilgoci i zanieczyszczeń chemicznych z basenu, zależnie od stopnia jego wykorzystania (kilkakrotnie większa podczas kąpieli w stosunku do okresu poza kąpielą). W celu utrzymania odpowiedniej (nie za wysokiej ale i nie za niskiej) wilgotności powietrza w hali basenowej konieczne jest więc ograniczanie strumienia powietrza wentylacyjnego, zależnie od pory roku i stopnia wykorzystania pływalni, np. poprzez zastosowanie częściowej recyrkulacji. Udział powietrza zewnętrznego i recyrkulacyjnego powinien być automatycznie dostosowywany do bieżących potrzeb. Możliwa jest regulacja ciągła lub według algorytmu PWM. Zastosowanie recyrkulacji nie tylko umożliwia utrzymanie odpowiedniej wilgotności powietrza, ale również znacząco ogranicza zużycie energii, potrzebnej do podniesienia temperatury nawiewanego powietrza od temperatury zewnętrznej do temperatury panującej w pomieszczeniu.

Prostym sposobem na dalsze ograniczenie zużycia energii może być ograniczenie parowania wody z niecki basenowej w porze nocnej poprzez podniesienie parametrów powietrza. Takie działanie spowoduje wprawdzie przekroczenie warunków komfortu, ale gdy nie ma w ośrodku klientów, nie ma to żadnego znaczenia. Ograniczeniem tej metody jest ryzyko zawilgocenia budynku. Zależy ono jednak nie tylko od temperatury punktu rosy, ale również od temperatury na zewnątrz budynku i jest tym mniejsze, im wyższa jest ta temperatura. Przy odpowiednio wysokich temperaturach na zewnątrz budynku można więc bezpiecznie podnosić parametry powietrza (temperaturę lub wilgotność) w hali basenowej. W praktyce w okresie poza kąpielą stosuje się automatyczne podnoszenie nastawy wilgotności powietrza do wartości zależnej od temperatury zewnętrznej. Nie stosuje się podwyższania temperatury powietrza, gdyż powodowałoby to zwiększenie strat przenikania ciepła.

Poniżej przedstawiono procentowy udział powietrza zewnętrznego, niezbędnego do asymilacji zysków wilgoci, w funkcji temperatury zewnętrznej. Uwzględniono okres podczas kąpieli i okres poza kąpielą. Podczas kąpieli przyjęto stałą wilgotność powietrza w hali, wynoszącą 55% i temperaturę 30°C. W okresie poza kąpielą przyjęto wariant ze stałą wilgotnością, wynoszącą 55% i wariant z wilgotnością zmienianą w funkcji temperatury zewnętrznej od 55% (dla $t_z = -20^\circ\text{C}$) do 70% (dla $t_z = +30^\circ\text{C}$). W obu wariantach przyjęto stałą temperaturę 30°C, taką jak podczas kąpieli.

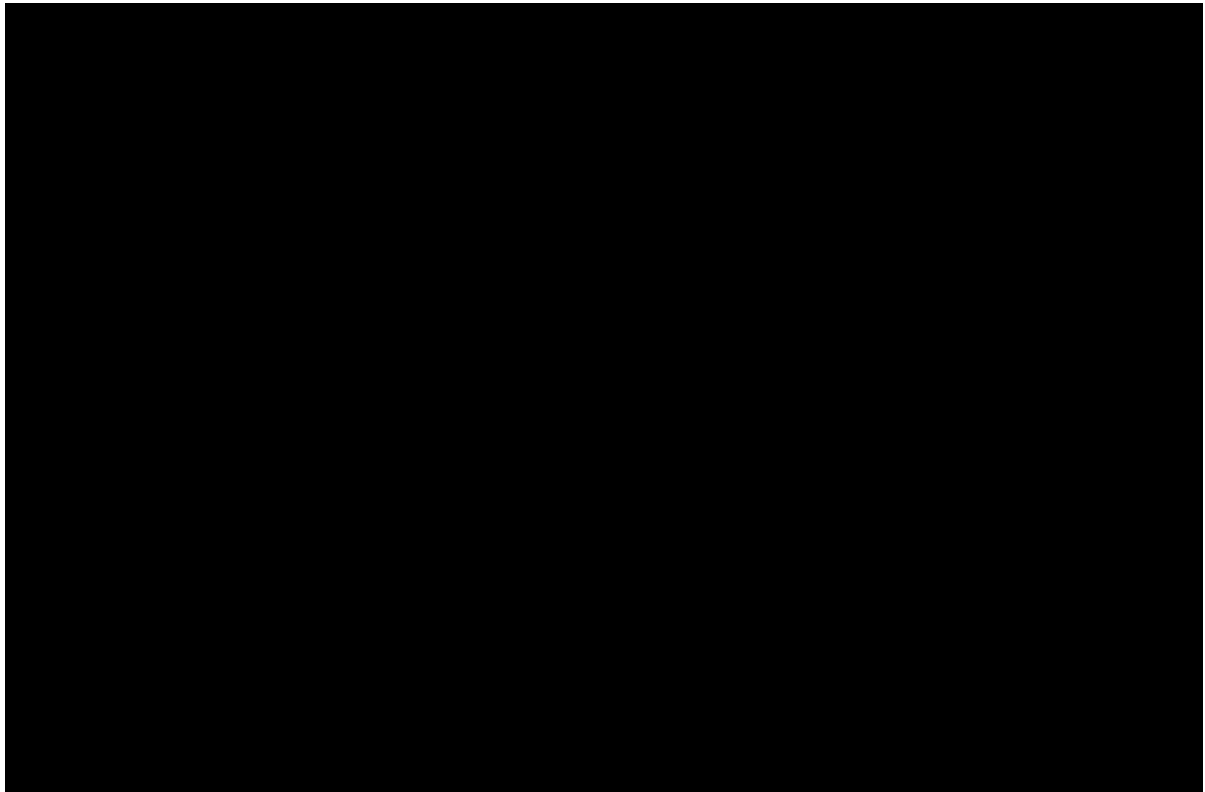


Dla podanych wyżej strumieni powietrza zewnętrznego wyznaczono relatywne straty ciepła na wentylację w odniesieniu do strat ciepła w centrali wentylacyjnej bez recyrkulacji przy temperaturze zewnętrznej -20°C . Analiza dotyczy central o jednakowym współczynniku odzysku ciepła z usuwanego powietrza. Wyniki zestawiono na wykresie.



Roczne zużycie ciepła na wentylację hali basenowej przy zastosowaniu centrali klimatyzacyjnej ze zmienną recyrkulacją, sterowaną zależnie od potrzeb związanych z utrzymaniem stałej wilgotności powietrza, wyniesie zaledwie około **11%** w stosunku do ciepła zużytego przez centralę wentylacyjną bez recyrkulacji. Zastosowanie centrali klimatyzacyjnej, automatycznie podnoszącej wilgotność powietrza w porze nocnej, dodatkowo ogranicza straty ciepła na wentylację o około 13% w stosunku do strat w centralach nie realizujących tej funkcji (do kalkulacji przyjęto użytkowanie basenu przez 15 godzin w ciągu doby).

Zwiększanie nastawy wilgotności powietrza w okresie poza kąpielą ogranicza również zużycie ciepła do podgrzewu wody basenowej. Przedstawiono to na poniższym wykresie.



Przy zastosowaniu tej metody uzyskujemy do 25% oszczędności ciepła zużywanego do podgrzewu wody w basenie.

5.2. Odzysk ciepła z usuwanego zużytego powietrza

Duża zawartość wilgoci w powietrzu w hali basenowej dodatkowo uzasadnia stosowanie wysokosprawnego bloku odzysku ciepła z usuwanego zużytego powietrza, umożliwiającego odzysk zarówno ciepła jawnego jak i ogromnej ilości ciepła utajonego w wyniku zachodzącej w wymienniku kondensacji. Odzysk ciepła utajonego zapobiega głębokiemu schłodzeniu

usuwanego powietrza, dzięki czemu znacznie obniża się temperatura ryzyka szronienia, pozwalając na stosowanie wysokosprawnych wymienników nawet przy bardzo niskich temperaturach powietrza zewnętrznego. Dzięki kondensacji wilgoci w wymienniku utrzymuje się większa, niż w przypadku wentylacji pomieszczeń suchych, różnica temperatur pomiędzy powietrzem usuwanym i zewnętrznym, co dodatkowo zwiększa efektywność odzysku ciepła. Warto zwrócić uwagę, że w systemie o sprawności temperaturowej 80% straty ciepła są 2,5 krotnie mniejsze w stosunku do systemu o sprawności 50%.

Najczęściej stosowane urządzenia do odzysku ciepła:

- wymienniki krzyżowe
- wymienniki glikolowe
- urki ciepła
- systemy chłodzenia mechanicznego

Ze względu na dużą zawartość wilgoci w usuwanym powietrzu nie zaleca się w instalacjach basenowych stosowania wymienników regeneracyjnych, gdyż występuje w nich poważne ryzyko oblodzenia.

W centralach wyposażonych w systemy chłodzenia mechanicznego efektywność energetyczną należy rozpatrywać biorąc pod uwagę zarówno oszczędności ciepła jak i zużycie energii elektrycznej, oraz ich relacje cenowe.

Należy podkreślić, że katalogowe parametry centrali, w tym również sprawność wymienników ciepła, uzyskiwane są tylko przy dokładnie wyregulowanych nominalnych przepływach powietrza. Niewłaściwe proporcje strumieni powietrza zewnętrznego i usuwanego w bloku odzysku ciepła mogą być spowodowane np.:

- złym wyregulowaniem instalacji
- zabrudzeniem jednego z filtrów powietrza

płynną zmianą udziału powietrza zewnętrznego i recyrkulacyjnego w centrali, w której nie zastosowano pomiaru i automatycznej regulacji wydajności powietrza nawiewanego i wywiewanego.

Niewłaściwe proporcje strumieni powietrza w bloku odzysku ciepła obniżają skuteczność wymiany ciepła, zmniejszając tym samym efektywność cieplną instalacji wentylacyjnej.

5.3. Osuszanie powietrza z zastosowaniem chłodzenia mechanicznego

Usuwanie zysków wilgoci z hali basenowej może być realizowane również poprzez zastosowanie chłodzenia mechanicznego. Metoda ta umożliwia prowadzenie procesu osuszania w recyrkulacji, bez udziału powietrza zewnętrznego. Polega na schłodzeniu powietrza, przepływającego przez parownik instalacji chłodniczej, do temperatury poniżej temperatury punktu rosy. Po wykropleniu wilgoci powietrze przepływa przez skraplacz, gdzie podgrzewane jest ciepłem pozyskanym w parowniku i kompresorze. Metoda ta ma swoje ograniczenia w okresie letnim, gdyż często powoduje przegrzewy powietrza w hali basenowej ze względu na pozyskiwane przez układ chłodniczy duże ilości ciepła, związanego z wykraplaniem wilgoci oraz z przetwarzaniem na ciepło zużytej w kompresorze energii elektrycznej. W obiektach publicznych metoda ta nie eliminuje konieczności wentylacji hali powietrzem zewnętrznym ze względów sanitarnych.

Bardziej rozbudowane centrale klimatyzacyjne wyposażone są w zarówno wymiennik rekuperacyjny jak i instalację chłodzenia mechanicznego. System ten umożliwia skuteczne prowadzenie procesu osuszania w recyrkulacji, bez udziału powietrza zewnętrznego, przy

stosunkowo niedużym zużyciu energii elektrycznej. Wysoką sprawność procesu osuszania, ponad dwukrotnie większą w stosunku do central bez wymienników rekuperacyjnych, uzyskuje się dzięki dwustopniowemu schładzaniu powietrza. Wstępne schłodzenie następuje w wymienniku do odzysku ciepła (np. w wymienniku krzyżowym), końcowe w parowniku instalacji chłodniczej. Tego typu rozwiązania generują mniejsze ilości ciepła, mają więc ograniczenia pracy w lecie w węższym zakresie temperatur zewnętrznych.

W celu umożliwienia pracy instalacji chłodniczych w pełnym zakresie temperatur zewnętrznych oraz w celu poprawy sprawności energetycznej stosuje się instalacje chłodnicze wyposażone w dodatkowe skraplacze chłodzone wodą basenową lub wodą świeżą, uzupełniającą ubytki w basenie. Uzyskuje się nawet 15% poprawę sprawności instalacji.

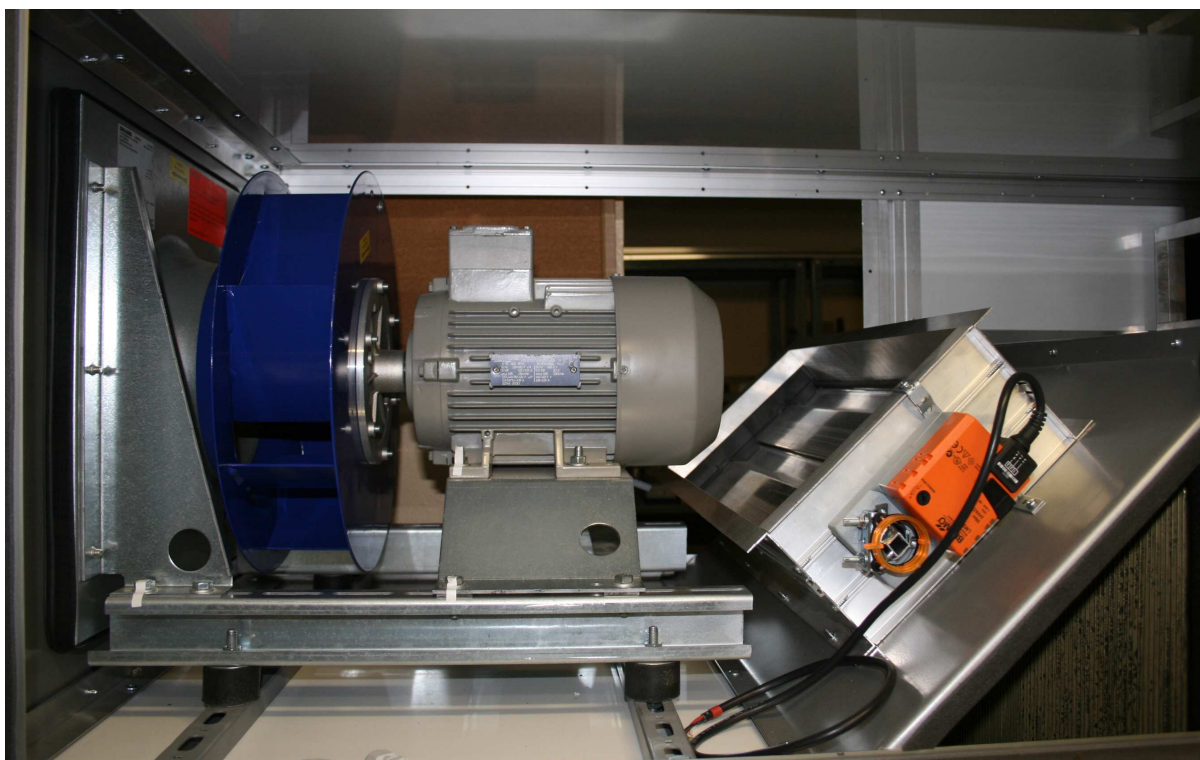
6. Sprawność elektryczna instalacji klimatyzacyjnej

Instalacja klimatyzacyjna jest jednym z głównych odbiorów energii elektrycznej w ośrodku basenowym. Najwięcej energii zużywają sprężarki układów chłodniczych i wentylatory.

6.1. Sprawność zespołów wentylatorowych

Czynnikiem wpływającym na sprawność elektryczną centrali, jest sprawność wentylatorów, wynikająca z ich typu i konstrukcji, oraz obranego dla nich punktu pracy. Sprawność wentylatorów waha się od czterdziestu kilku do osiemdziesięciu kilku procent.

Elementami obniżającymi o kilka procent sprawność zespołów wentylatorowych są przekładnie pasowe. Zastosowanie wentylatorów bez przekładni pasowych (z wirnikiem wentylatora osadzonym na wale silnika) nie tylko podnosi ich sprawność ale ze względu na brak obciążeń poprzecznych dla łożysk wydłuża ich żywotność i zwiększa niezawodność.



6.2. Regulacja wydajności powietrza w systemie wentylacyjnym

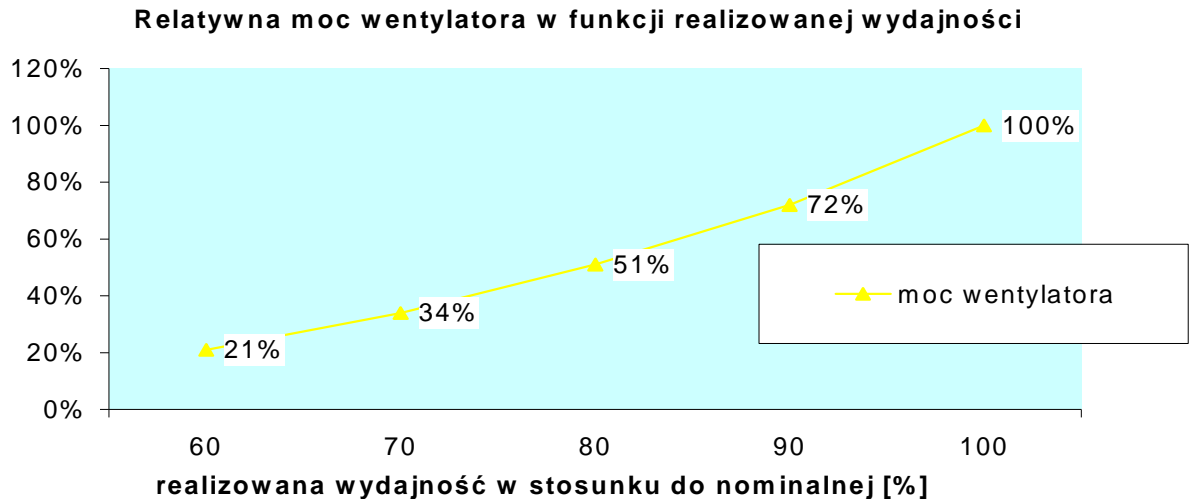
Metody regulacji wydajności instalacji wentylacyjnej:

- Regulacja ręczna wydajności powietrza za pomocą przepustnic regulacyjnych, dopasowujących opory przepływu powietrza przez instalację do sprężu dyspozycyjnego centrali, dobranej zwykle z odpowiednim zapasem. Wentylatory pobierają moc nominalną z sieci zasilającej a nadwyżka mocy wentylatorów związana z zapasem sprężu dyspozycyjnego centrali jest bezpowrotnie tracona.
- Regulacja ręczna wydajności powietrza za pomocą ręcznie ustawionych elektronicznych regulatorów prędkości obrotowej (regulatorów napięcia lub falowników) w sposób dopasowujący spręż dyspozycyjny centrali do faktycznych oporów przepływu powietrza przez instalację. Redukcja sprężu centrali wiąże się ze zmniejszeniem mocy pobieranej przez wentylatory, dopasowanej do faktycznych potrzeb instalacji. Redukcja sprężu o 100 Pa powoduje przeciętnie obniżenie mocy wentylatorów o ponad 11%.
- Regulacja automatyczna wydajności powietrza za pomocą elektronicznie sterowanych regulatorów prędkości obrotowej (regulatorów napięcia lub falowników), dopasowujących spręż dyspozycyjny centrali do faktycznych, chwilowych oporów przepływu powietrza przez instalację. Pomiar wydajności odbywa się zwykle poprzez pomiar spadku ciśnienia na elemencie spiętrzającym (najczęściej na dyszy ssawnej wentylatora).

Pomiar i płynna, automatyczna regulacja wydajności powietrza nawiewanego i wywiewanego gwarantują wysoką sprawność bloku odzysku ciepła poprzez zachowanie odpowiednich proporcji pomiędzy strumieniem powietrza zewnętrznego i usuwanego przy różnym udziale powietrza wentylacyjnego i recyrkulacyjnego i różnym stopniu zabrudzenia się filtrów powietrza.

6.3. Funkcja pracy dyżurnej

Najbardziej skutecznym sposobem na ograniczenie zużycia energii elektrycznej jest wprowadzenie funkcji pracy dyżurnej. Poniżej przedstawiono relatywną moc pobieraną przez wentylator w funkcji wydajności powietrza (przy założeniu niezmiennych konfiguracji elementów, przez które przetłaczane jest powietrze).



Zależnie od typu centrali klimatyzacyjnej funkcja pracy dyżurnej jest aktywowana za pomocą zegara (w okresie nocnym i po osiągnięciu zadanych parametrów powietrza), bądź zawsze, po osiągnięciu zadanych parametrów powietrza.

Przeprowadzono analizę dla ośrodka basenowego, użytkowanego przez 15 godzin w ciągu doby. Wynika z niej, że stosowanie funkcji pracy dyżurnej powoduje oszczędności energii elektrycznej nawet o 70%, dla centrali automatycznie dostosowującej swoją wydajność do faktycznych potrzeb, lub o blisko 30%, dla centrali, w której funkcja pracy dyżurnej załączana jest zegarem wyłącznie w ciągu nocy.

7. Podsumowanie

Powyższe zależności wskazują na konieczność stosowania. Rachunek ekonomiczny kosztów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji potwierdza zasadność stosowania precyzyjnych systemów regulacji wilgotności i temperatury powietrza w hali basenowej z wykorzystaniem algorytmu PID. Zastosowanie płynnej regulacji wydajności oraz wysokosprawnych wentylatorów czy układów sprężarkowych ograniczy do minimum zużycie energii elektrycznej. Wykorzystanie systemów mikroprocesorowych do optymalizacji parametrów pracy centrali w zależności od aktualnych potrzeb może w znacznym stopniu podnieść efektywność energetyczną, gwarantując jednocześnie odpowiednie warunki komfortu dla klientów oraz bezpieczeństwo struktury budowlanej obiektu basenowego.