

mgr inż. Leszek Hawro\*  
mgr inż. Cezary Wieczorek\*  
mgr inż. Piotr Woronowicz\*\*

# Metodyka oceny sprawności chłodni wentylatorowej

*Assessment methodology of the cooling efficiency of cooling tower*

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano metodykę oceny sprawności chłodni wentylatorowej oraz analizę techniczno-ekonomiczną modernizacji chłodni z określeniem stopy zwrotu nakładów poniesionych na modernizację. Przedstawiono także kryterium, na podstawie którego można podjąć decyzję o rozpoczęciu lub zaniechaniu modernizacji chłodni.

**Słowa kluczowe:** chłodnia wentylatorowa, modernizacja chłodni, efekt schładzania.

**Abstract.** The article will present the methodology for increase the efficiency of the cooling tower and technical and economic analysis of the modernization of the cooling tower with specification of the term and rate of return invested money for modernization. There will be presented standard that could be used to decide: start or omission of modernization of the cooling tower.

**Keywords:** cooling tower, modernization of the cooling tower, cooling effect.

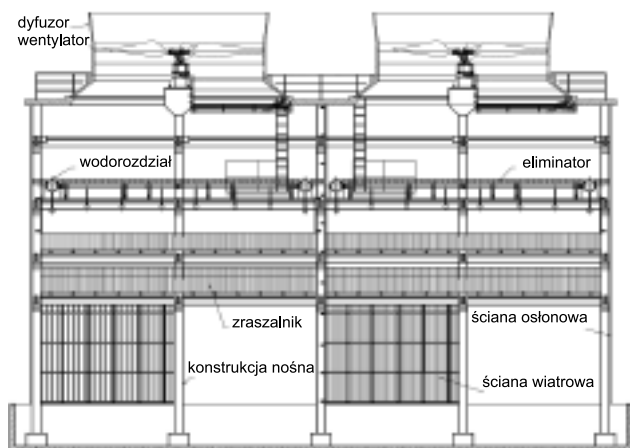
Przez dekady chłodnie wentylatorowe były powszechnie uważane za drugorzędne urządzenie do chłodzenia wody przemysłowej. Brak stałej kontroli oraz niefrasobliwość obsługi sprawiały często, że obiekty te remontowano dopiero wtedy, gdy zły stan techniczny zagrażał ich bezpiecznej eksploatacji lub gdy parametry techniczne drastycznie odbiegały od wymagań użytkownika. W dobie poszukiwania energooszczędnych rozwiązań oraz konieczności optymalizacji przychodów i kosztów, niektóre zakłady zaczęły zwracać uwagę na koszty eksploatacyjne i wydajność chłodni. Pojawiają się jednak trudności w określeniu miarodajnej oceny zasadności wykonania modernizacji budowli. Inwestorzy, przygotowując budżet na kolejny rok, często intuicyjnie określają zakres planowanych prac.

## Kryteria podejmowania decyzji o modernizacji chłodni

Brak systematycznej konserwacji i fachowej kontroli stanu technicznego jest najczęstszą przyczyną wadliwej pracy chłodni wentylatorowej (rysunek 1). Jej sprawność zależy m.in. od równomiernej pracy na całej powierzchni zraszania, czyli wymiany ciepła pomie-

dzy rozdeszczoną wodą a powietrzem przepływającym w przeciwnym kierunku. Wszelkie zakłócenia we wzajemnym oddziaływaniu tych dwóch mediów potrafią znacznie zmniejszyć wydajność chłodni, co niesie za sobą niebagatelne straty finansowe użytkownika.

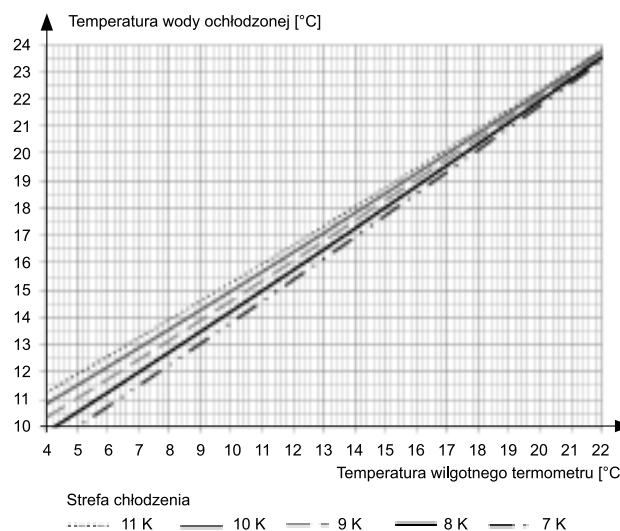
Oddziaływanie na chłodnię wielu niekorzystnych czynników, np. korozji, erozji, wytrącania się kamienia osadowego, wibracji, zmiennych warunków atmosferycznych itp., wpływa na szybsze starzenie się elementów urządzeń wewnętrznych i konstrukcji chłodni. W przypadku chłodni wentylatorowej podstawowym parametrem technicznym jest uzyskiwana temperatura wody ochłodzonej przy określonej temperaturze wilgotnego termometru. Zależność tę określa tzw. krzywa chłodzenia (rysunek 2). Stosując regulację obrotów wentylatora, możliwe jest utrzymanie stałej zadanej temperatury wody ochłodzonej w okresie całego roku. Chłodzenie wody uzyskuje się przez pracę wentylatora o określonej mocy. Uzyskiwana temperatura wody ochłodzonej zależy od kilku czynników, m.in.: powierzchni i parametrów zraszalnika; mocy i sprawności wentylatora oraz rozwiązań technicznych chłodni; ukształtowania napływu powietrza; rozwiązań układu rozprawa- dzającego wodę; konstrukcji nośnej; eliminatora itp.



Rys. 1. Przekrój przez typową chłodnię wentylatorową

\* SAVEX S.A.

\*\* BPKE „ERPRO” Sp. z o.o.

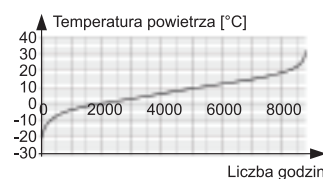


Rys. 2. Krzywa chłodzenia chłodni wentylatorowej przy stałej wydajności wentylatora

W praktyce projektowej obliczenia ciepło-przepływowo pozwalają na dokładne zaprojektowanie chłodni w celu osiągnięcia wymaganych parametrów chłodzenia. Sprawdzane jest to przez inwestora podczas gwarancyjnych pomiarów odbiorowych chłodni. Ze względu na pracę chłodni najistotniejszym parametrem jest **temperatura wilgotnego termometru, zależna od temperatury i wilgotności powietrza.**

### Analizy szczegółowe wybranej konstrukcji

Na potrzeby analizy przyjęto model typowej chłodni dwucelkowej o wymiarach osiowych 10,08 x 15,12 m celki i następujące parametry pracy chłodni: temperatura wody ochłodzonej  $t_{w,2} < 24\text{ }^\circ\text{C}$  (w okresie całego roku); obciążenie hydrauliczne  $m_w = 1500\text{ m}^3/\text{h}$ ; strefa schłodzenia  $\Delta T = 10\text{K}$ ; liczba godzin pracy w roku 8760 h, koszt energii elektrycznej 0,53 zł/kWh; lokalizacja – okolice Wrocławia (wykres uporządkowany temperatury przedstawia rysunek 3). Wariantowo przyjęto różne typy zraszalników i sprawności statyczne wentylatorów oraz wentylatory z regulacją i bez regulacji obrotów. W tabeli 1 przedstawiono rozpatrywane warianty wraz z porównaniem zużycia energii elektrycznej przez wentylator w ciągu roku w przypadku różnych rozwiązań technicznych chłodni, a w tabeli 2 za-



Rys. 3. Wykres uporządkowany temperatury powietrza dla Wrocławia

padku różnych rozwiązań technicznych chłodni, a w tabeli 2 za-

Tabela 1. Analizowane warianty rozwiązań chłodni

Nr wariantu	Typ zraszalnika	Wysokość zraszalnika [m]	Moc silnika wentylatora	Sprawność wentylatora [%]	Regulacja obrotów	Zużycie energii [kWh/r.]
Wariant 1	PP/PVC	1,5	75	56	tak	190 000
Wariant 2	PP/PVC	1,5	100	38	tak	280 000
Wariant 3	PP/PVC	0,9	140	56	tak	335 000
Wariant 4	A-C	2,0	250	38	tak	785 000
Wariant 5	PP/PVC	1,5	75	56	nie	845 000
Wariant 6	PP/PVC	1,5	100	38	nie	1 230 000
Wariant 7	PP/PVC	0,9	140	56	nie	1 730 000
Wariant 8	A-C	2,0	250	38	nie	3 090 000

A-C – zraszalnik z płyt azbestowo-cementowych; PP/PVC – zraszalnik z wyprasek z tworzywa sztucznego (polipropylen/polichlorek winylu)

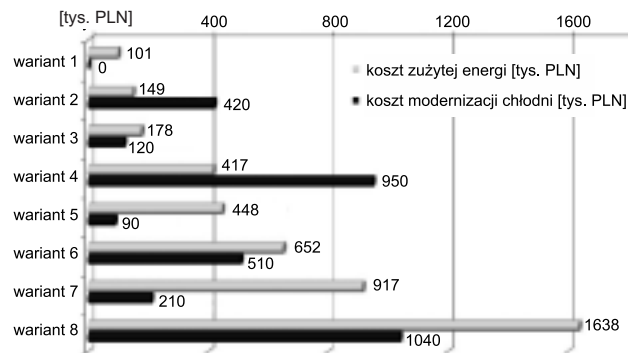
Tabela 2. Zakres modernizacji chłodni w celu uzyskania wyposażenia wg wariantu 1

Nr wariantu	Likwidacja A-C	Zraszalnik	Zespół wentylatora	Regulator obrotów
Wariant 1	-	-	-	-
Wariant 2	-	-	+	-
Wariant 3	-	+	-	-
Wariant 4	+	+	+	-
Wariant 5	-	-	-	+
Wariant 6	-	-	+	+
Wariant 7	-	+	-	+
Wariant 8	+	+	+	+

kres modernizacji w celu doprowadzenia chłodni do wyposażenia technicznego określonego w wariantcie 1. Na rysunku 4 zestawiono roczny koszt zużycia energii elektrycznej z kosztem modernizacji wg wariantów z tabeli 2. W modelowej kalkulacji celowo pominięto koszty budowlano-remontowe, zakładając, że stan techniczny wariantów jest podobny.

### Wnioski

W zależności od parametrów chłodni otrzymujemy różne okresy zwrotu kosztów modernizacji chłodni wentylatorowej (rysunek 5). W niektórych przypadkach okres zwrotu okazuje się bardzo krótki. W przypadku rozpatrywanego modelu chłodni dopro-



Rys. 4. Porównanie rocznego kosztu energii elektrycznej i nakładów na modernizację chłodni



Rys. 5. Okres zwrotu inwestycji w latach

wadzenie wariantów 5, 6, 7 i 8 (rysunek 4) do stanu wg wariantu 1 jest wysoko opłacalne, ponieważ okres zwrotu kosztów modernizacji następuje już po kilku miesiącach eksploatacji w porze letniej, natomiast przeprowadzenie modernizacji wg wariantu 2 jest niecelowe.

Zaproponowana metodyka oceny jakości chłodni wentylatorowej i analiza dotycząca obliczenia okresu zwrotu kosztów modernizacji chłodni, biorąc pod uwagę tylko zużycie energii elektrycznej, obejmuje m.in.:

- inwentaryzację stanu technicznego chłodni, określenie rzeczywistych krzywych chłodzenia chłodni na podstawie istniejących pomiarów ruchowych chłodni lub pomiarów indywidualnych;
- określenie mocy i zużycia energii elektrycznej wentylatora;
- uzgodnienie z użytkownikiem wymaganych docelowych parametrów pracy chłodni;
- przeprowadzenie wariantowej analizy modernizacji chłodni w celu zwiększenia efektywności chłodzenia i zmniejszenia zużycia energii elektrycznej wraz z określeniem kosztów modernizacji;
- porównanie kosztów modernizacji z kosztami energii elektrycznej wybranego wariantu modernizacji chłodni.
- określenie okresu zwrotu kosztów modernizacji chłodni.

Możliwe jest przeprowadzenie bardziej rozbudowanej analizy techniczno-ekonomicznej, z kilkoma wariantami modernizacji, z uwzględnieniem kosztu pieniądza itp. Kryterium, jakie powinno być przyjmowane do oceny zasadności modernizacji chłodni wentylatorowej, to **okres zwrotu nakładów z inwestycji.** W przypadku każdego układu chłodzenia konieczne jest przeprowadzenie indywidualnej analizy, zależnie od istniejących i wymaganych parametrów pracy chłodni. Wytyczne i założenia do analizy najlepiej pozyskać podczas pomiarów w ramach systematycznych przeglądów okresowych. Działania takie pozwalają na wypracowanie optymalnego planu modernizacyjno-remontowego opartego na maksymalizacji zysków z najmniejszym lub rozłożonym w czasie nakładem inwestycyjnym.