

Vyacheslav PISAREV  
Rafał STRUG  
Politechnika Rzeszowska

## **PROJEKTOWANIE SYSTEMU BELEK CHŁODZĄCYCH PASYWNYCH METODĄ OBLICZENIOWĄ NA PRZYKŁADZIE OPROGRAMOWANIA TEKNOSIM FIRMY LINDAB CLIMATE**

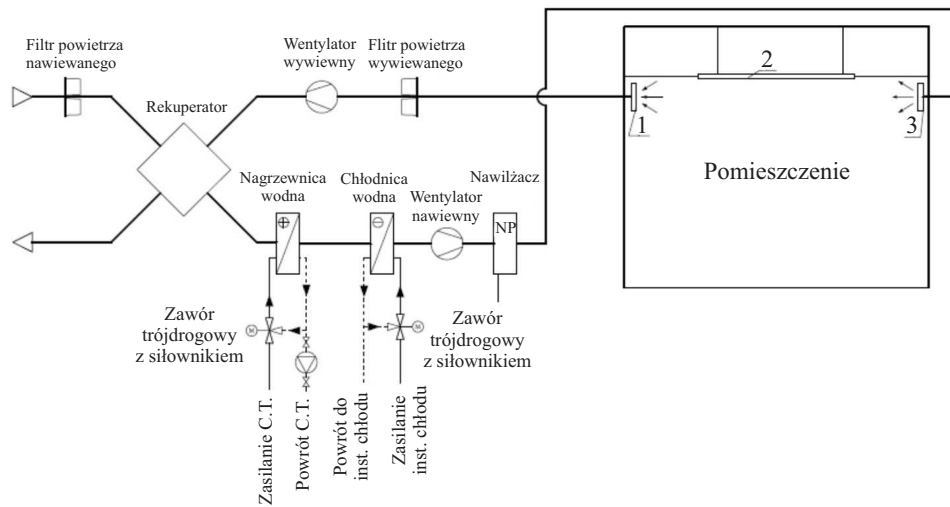
W artykule porównano dwie metody wykorzystywane przy doborze belek chłodzących do pomieszczeń sal konferencyjnych. Pierwszą jest metoda obliczeniowa doboru belek chłodzących współpracujących z systemem klimatyzacji centralnej odpowiedzialnej za usunięcie zysków wilgoci w pomieszczeniach. W drugiej metodzie posłużono się oprogramowaniem wspomagającym obliczenie zysków ciepła oraz dobór odpowiedniego modułu chłodzącego dla pomieszczeń.

### **1. Wprowadzenie**

System belek chłodzących jest używany głównie w systemach wentylacji do chłodzenia lub ogrzewania powietrza, gdy jest taka potrzeba. Są one odpowiednie wszędzie tam, gdzie wymagana jest dobra jakość warunków środowiskowych i sterowanie dla indywidualnych pomieszczeń. Do obiektów, w których belki mają najczęstsze zastosowanie, należą: biura, hotele, przestrzenie handlowe oraz szpitale. W niniejszym opracowaniu zajęto się belkami chłodzącymi pasywnymi ochładzającymi powietrze w pomieszczeniu.

Belki chłodzące są urządzeniami współpracującymi z systemem klimatyzacji centralnej, powodującymi ochłodzenie powietrza w pomieszczeniu. Belka chłodząca 2 (rys. 1.) uzupełnia pracę instalacji wentylacji lub klimatyzacji. Takie połączenie jest bardzo efektywne, gdyż strop chłodzący składający się z szeregu belek 2 (rys. 1.) odbiera zyski ciepła jawnego, a system klimatyzacji reguluje warunki wilgotnościowe oraz zapewnia wymaganą czystość powietrza. Uzdatnione powietrze nawiewane do pomieszczenia wcześniej zostaje ochłodzone i osuszone w chłodnicy centrali klimatyzacyjnej. Osuszenie powietrza pierwotnego pozwala w pewnym zakresie na odbieranie zysków wilgoci pojawiających się podczas użytkowania pomieszczenia przez przebywające w nim osoby. Różnica temperatur powietrza w pomieszczeniu i belki powoduje mieszanie się po-

wietrza. Temperatura czynnika chłodniczego w belce jest wyższa niż temperatura punktu rosy powietrza w pomieszczeniu, co pozwala zapobiec kondensacji na wymienniku ciepła belki.



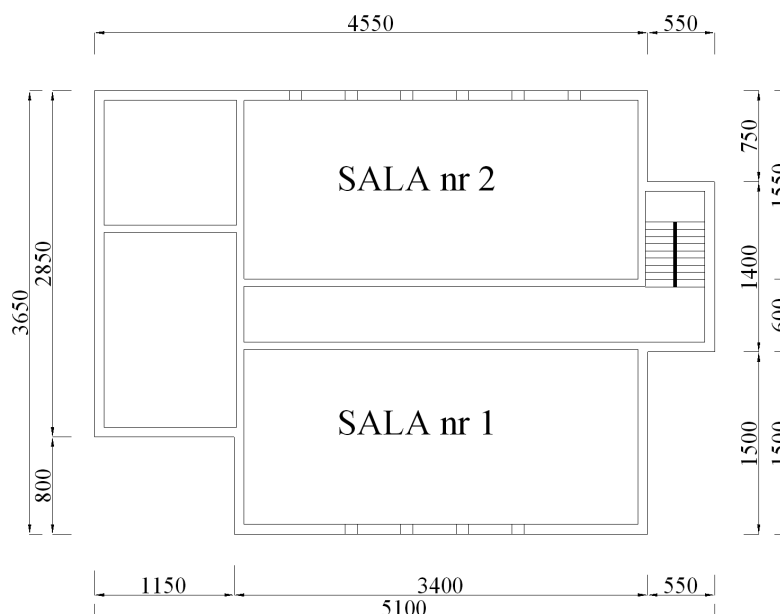
Rys. 1. Schemat instalacji klimatyzacyjnej z belką chłodzącą: 1 – powietrze usuwane z pomieszczenia, 2 – belka chłodząca, 3 – powietrze (osuszone) nawiewane do pomieszczenia, NP – nawilżacz parowy

Działanie belki chłodzącej pasywnej polega na oziębianiu ciepłego powietrza w pomieszczeniu, które styka się z jej zimnymi powierzchniami, a także na częściowym absorbowaniu ciepła z pomieszczenia poprzez promieniowanie niskotemperaturowe. W rezultacie pomieszczenie ulega oziębieniu zarówno w wyniku promieniowania (ok. 50%), jak i konwekcji (też ok. 50%) [1].

Pasywne belki chłodzące nie są połączone do systemu wentylacyjnego. Mogą być instalowane jako całkowicie widoczne, wbudowane w sufit podwieszony lub ponad sufitem perforowanym.

## 2. Przykładowe rozwiązanie systemu klimatyzacji z belkami chłodzącymi za pomocą metody obliczeniowej (dla dwóch sal konferencyjnych)

W niniejszym opracowaniu posłużono się metodą doboru stropów chłodzących i przykładem obliczeniowym z wykorzystaniem wykresu  $i-x$  powietrza wilgotnego, opracowanym przez V. Pisareva i S. Kozubal [2], w celu porównania go z metodą doboru stropów chłodzących za pomocą oprogramowania TeknoSim [3]. Dla obu metod przyjęto taką samą charakterystykę pomieszczeń (rys. 2., tab. 1.).



Rys. 2. Rzut pomieszczeń sal konferencyjnych [2]

Tabela 1. Charakterystyka pomieszczeń sal konferencyjnych

Charakterystyka pomieszczeń	Sala konferencyjna nr 1	Sala konferencyjna nr 2
Liczba osób $n$	120	100
Powierzchnia sali $F_1$ [m <sup>2</sup> ]	500	350
Wysokość [m]	4,5	4,5
Liczba okien (drewniane, podwójnie przeszklone, gr. szkła 3 mm, łączna pow. 4 m <sup>2</sup> , przesłonięte żaluzjami) [szt.]	6	4
Oświetlenie – lampy fluorescencyjne w oprawach niewentylowanych	-	-

### Dane wyjściowe [2]

Określenie parametrów powietrza zewnętrznego PN-76/B-03420 [3]: strefa klimatyczna II, miasto Łódź, lato, miesiąc lipiec, godz. 15<sup>00</sup>, temperatura powietrza zewnętrznego  $T_z = 30^\circ\text{C}$ , wilgotność względna powietrza  $\phi_z = 45$ , zawartość wilgoci powietrza  $x_{z1} = 11,5$  g/kg, entalpia właściwa powietrza  $i_{z1} = 60$  kJ/kg.

Określenie parametrów powietrza wewnętrznego PN-78/B-03421 [5]: temperatura w pomieszczeniu  $T_p = 24^\circ\text{C}$ , wilgotność względna  $\phi_{p1} = 55\%$ , zawartość wilgoci powietrza  $x_{p1} = 10,2$  g/kg, maksymalna prędkość powietrza  $V = 0,3$  m/s.

Pomieszczenia sal konferencyjnych (sale nr 1 i 2) znajdują się na parterze budynku biurowego (rys. 2.). Na zyski ciepła składają się czynniki wyszczególnione w tab. 1.

Zestawienie obliczeń bilansu cieplnego (zysków ciepła i wilgoci) przedstawiono w tab. 2. i 3. na podstawie pracy [2]. Dane zawarte w tabelach pozwoliły autorom na sporządzenie kompletnych obliczeń sprawdzających zasadność stosowania belek chłodzących w pomieszczeniach sal konferencyjnych – musi dojść do asymilacji zysków wilgoci przez powietrze nawiewane do pomieszczeń. Obliczono ilość powietrza wentylacyjnego nawiewanego ( $20 \text{ m}^3/\text{h}$  na osobę, co daje dla sali konferencyjnej nr 1  $V_1 = 2400 \text{ m}^3/\text{h} = 0,667 \text{ m}^3/\text{s}$ , dla sali konferencyjnej nr 2  $V_2 = 2000 \text{ m}^3/\text{h} = 0,555 \text{ m}^3/\text{s}$ ), zawartość wilgoci w powietrzu wywiewanym ( $10,6 \text{ g/kg}$  dla obu sal), następnie sprawdzono warunek wystąpienia asymilacji zysków wilgoci znajdujących się w pomieszczeniu przez powietrze doprowadzane układem nawiewnym powietrza świeżego. W celu zobrazowania metody i określenia niezbędnych danych dla projektowanego systemu klimatyzacji opracowano zmiany stanu powietrza nawiewanego na wykresach  $i-x$  [2].

Tabela 2. Bilans cieplny w sali konferencyjnej nr 1 [2]

Zyski ciepła jawnego				Ciepło utajone $U$ [W]	Zyski wilgoci $W$ [g/h]	$\Sigma$ zysków ciepła jawnego $\Sigma Q_j$ [W]	Ciepło całkowite $Q_c$ [W]
[W]	$Q_o$ [W]	$Q_{ok}$ [W]	[W]				
3648	2700	857	329	3340	4848	7534	10874

Tabela 3. Bilans cieplny w sali konferencyjnej nr 2 [2]

Zyski ciepła jawnego				Ciepło utajone $U$ [W]	Zyski wilgoci $W$ [g/h]	$\Sigma$ zysków ciepła jawnego $\Sigma Q_j$ [W]	Ciepło całkowite $Q_c$ [W]
$Q_L$ [W]	$Q_o$ [W]	$Q_{ok}$ [W]	[W]				
3040	1890	703	294	2832	4040	5927	8759

W tabeli 4. przedstawiono wyniki obliczeń [2] ilości ciepła przejmowanego przez powietrze nawiewane i przez belki chłodzące.

Tabela 4. Obliczenie ilości ciepła przejmowanego przez powietrze nawiewane i pozostałego do ochłodzenia przez belki chłodzące [1]

Ilość ciepła	Sala konferencyjna nr 1	Sala konferencyjna nr 2
Przyjmowanego przez powietrze nawiewane [kW]	9,400	7,900
Pozostałego do przyjęcia przez stropy chłodzące [kW]	<b>1,474</b>	<b>0,859</b>

Z katalogu firmy Lindab Climate [1] dobrano płyty chłodzące Tectum, które stanowią elementy stropów chłodzących. Dobór przeprowadzono na podstawie różnicy temperatur powietrza w pomieszczeniu i średniej temperatury wody chłodzącej ( $\Delta T = 7^{\circ}\text{C}$ ) oraz ilości ciepła do przejścia przez płyty chłodzące [2].

Dobrano następujące płyty chłodzące [2]:

- dla sali konferencyjnej nr 1: 4 płyty o długości  $L = 6$  m, szerokości  $B = 0,87$  m, grubości  $0,06$  m oraz mocy chłodniczej  $377$  W,
- dla sali konferencyjnej nr 2: 4 płyty o długości  $L = 5,4$  m, szerokości  $B = 0,6$  m, grubości  $0,06$  m oraz mocy chłodniczej  $237$  W.

### 3. Przykładowe rozwiązanie systemu klimatyzacji ze stropami chłodzącymi za pomocą oprogramowania wspomagającego dobór TeknoSim (dla 2 sal konferencyjnych)

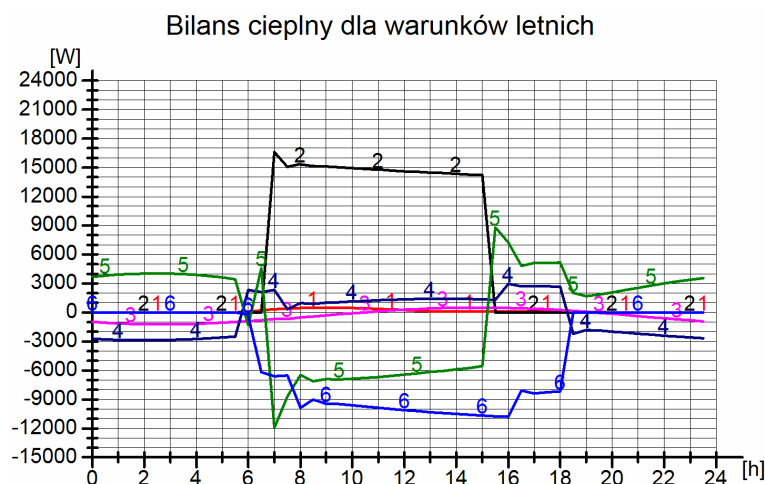
Korzystając z danych wyjściowych z publikacji [2], obliczono jednostkowy efekt chłodzenia stropu, posługując się oprogramowaniem symulacji warunków klimatycznych TeknoSim firmy Lindab Climate [3]. Wyniki symulacji dla sali konferencyjnej nr 1 przedstawiono w tab. 5. i 6. oraz na rys. 3. i 4.

Tabela 5. Wyniki symulacji przeprowadzone oprogramowaniem TeknoSim [3], przedstawiające temperatury pomieszczenia oraz belki i wydajności chłodnicze

Warunki letnie		
opis	wartość	godzina
Maksymalna temperatura powietrza w pomieszczeniu [ $^{\circ}\text{C}$ ]	24,0	15:30
Maksymalna temperatura efektywna [ $^{\circ}\text{C}$ ]	23,8	15:30
Maksymalna wydajność produktu chłodzącego [W]	10 802	16:00
Maksymalna wydajność wentylacji/infiltracji [W]	2 852	02:00
Maksymalna jednoczesna wydajność chłodząca wentylacji i produktu chłodzącego [W]	9 416	15:30

Podczas symulacji warunków klimatycznych w pomieszczeniu oprogramowanie [3] wygenerowało wykres przedstawiający bilans cieplny dla lata z udziałem poszczególnych zysków ciepła w określonej porze dnia (rys. 3.). Na wykresie pokazano również ilość chłodu dostarczanego do pomieszczenia za pomocą belki chłodzącej, co obrazuje krzywa nr 6 (rys. 3.). Aby w pomieszczeniu została utrzymana założona temperatura (dla danych wyjściowych wprowadzonych do oprogramowania [3]), belka Tectum [3] powinna zacząć chłodzić dwie godziny przed rozpoczęciem pracy w **sali konferencyjnej nr 1**, czyli o godz. 6:00. Pozwoli to na skompensowanie zysków ciepła od oświetlenia elektrycznego, sprzętu biurowego i innych źródeł. Ponieważ pomieszczenie jest użytkowane do godz. 18:00, dalsze chłodzenie go przez belki nie jest wymaga-

ne. W końcowej fazie dnia zostaje więc zaprzestane przekazywanie jej chłodu, co można zaobserwować na krzywej nr 6 (rys. 3.).



Rys. 3. Wyniki symulacji przeprowadzone oprogramowaniem TeknoSim [3], przedstawiające bilans cieplny (zyski ciepła) dla warunków letnich w ciągu doby: 1 – udział promieniowania słonecznego, 2 – udział oświetlenia/osób/aparatów, 3 – przenikanie z okien i elementów budowlanych budynku, 4 – wentylacja/infiltracja, 5 – akumulacja w elementach budynku, 6 – wydajność chłodząca wybranego urządzenia

Tabela 6. Wyniki symulacji przeprowadzone oprogramowaniem TeknoSim [3], przedstawiające wymiarowanie płyty chłodzącej Tectum [1]

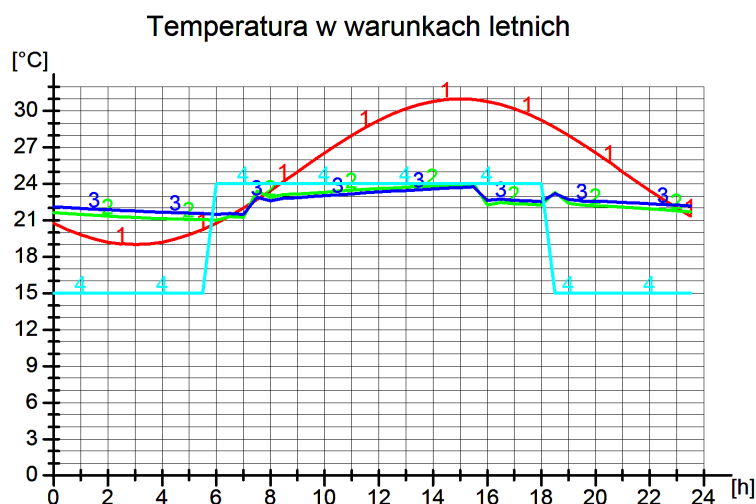
Wymiarowanie produktu chłodzącego	
Tectum	obliczona długość [m]
2 rury/33 cm	457,8
4 rury/60 cm	247,8
6 rur/87 cm	173,4

Dane zawarte w tab. 6. pozwalają na dobór belek chłodzących, których wymiary najbardziej odpowiadają specyfice i wymiarom pomieszczenia oraz pozwalają określić liczbę belek potrzebną, aby zaspokoić zapotrzebowanie na chłód. Doboru belek dokonuje się, dzieląc całkowitą długość rur (kolumna 2., tab. 6.) przez liczbę rzędów (kolumna 1., tab. 6.) znajdujących się w belce. Otrzymana wartość to całkowita długość wszystkich belek, które zapewnią chłód w pomieszczeniu. Następnie należy przyjąć (ze względów konstrukcyj-

nych pomieszczenia) długość modułu tak, aby był krótszy niż szerokość pomieszczenia. Belki występują w modułach o długości 1,8÷6,0 m, z przyrostem co 0,6 m. W niniejszym pomieszczeniu przyjęto długość modułów 6 m.

Po wprowadzeniu danych wyjściowych do oprogramowania [3] dobrano 4 belki o szerokości 87 cm, długości 6 m i grubości 60 mm. Jednostkowy efekt chłodzenia wynosi 377 W, a całkowite pokrycie zapotrzebowania na chłód to 10,8 kW. Wyniki symulacji za pomocą oprogramowania TeknoSim [3] pozwoliły na dobór tego samego typu belek i tej samej ich liczby, jak podczas doboru metodą obliczeniową w publikacji [2].

Rysunek 4. obrazuje, w jaki sposób zmienia się temperatura w pomieszczeniu sali konferencyjnej nr 1 w ciągu doby. Wzrost temperatury zewnętrznej (1) w miarę upływu dnia i zbliżania się do godzin popołudniowych, czyli największych zysków ciepła, powoduje konieczność ochłodzenia pomieszczenia. Dzieje się tak za pomocą powietrza nawiewanego z systemu wentylacji (4) do pomieszczenia. Pozwala to na utrzymanie stałej bądź nieznacznie wahającej się temperatury w pomieszczeniu (2).

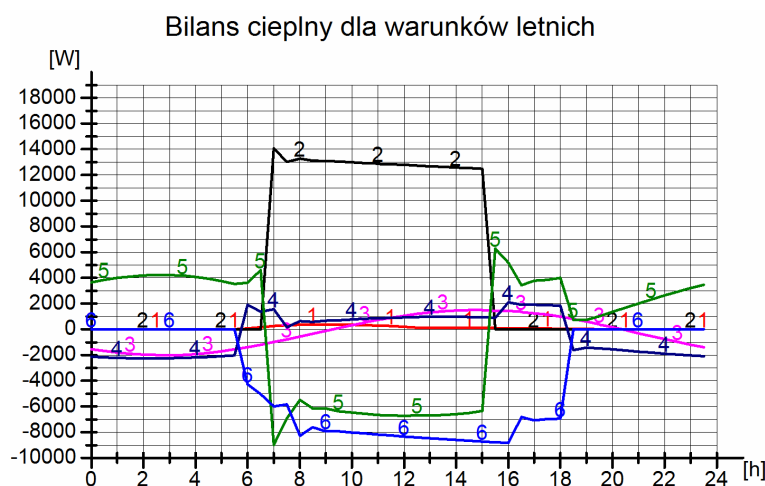


Rys. 4. Wyniki symulacji przeprowadzone oprogramowaniem TeknoSim [3], przedstawiające zmienność temperatur dla warunków letnich w ciągu doby: 1 – temperatura zewnętrzna, 2 – temperatura powietrza w pomieszczeniu, 3 – temperatura efektywna, 4 – temperatura powietrza doprowadzonego z systemu wentylacyjnego

Wyniki symulacji dla **sali konferencyjnej nr 2** zamieszczono w tab. 7. i 8. oraz na rys. 5. i 6. Po wprowadzeniu danych wyjściowych do oprogramowania [3] dobrano 4 belki o szerokości  $B = 60$  cm, długości  $L = 5,4$  m i grubości  $d = 60$  mm. Jednostkowy efekt chłodzenia jest równy 237 W.

Tabela 7. Wyniki symulacji przeprowadzone oprogramowaniem TeknoSim [3], przedstawiające temperatury pomieszczenia oraz belki i wydajności chłodnicze

Warunki letnie		
opis	wartość	godzina
Maksymalna temperatura powietrza w pomieszczeniu [°C]	24,0	15:30
Maksymalna temperatura efektywna [°C]	23,8	15:30
Maksymalna wydajność produktu chłodzącego [W]	8 821	16:00
Maksymalna wydajność wentylacji/infiltracji [W]	2 243	02:00
Maksymalna jednoczesna wydajność chłodząca wentylacji i produktu chłodzącego [W]	7 851	15:30

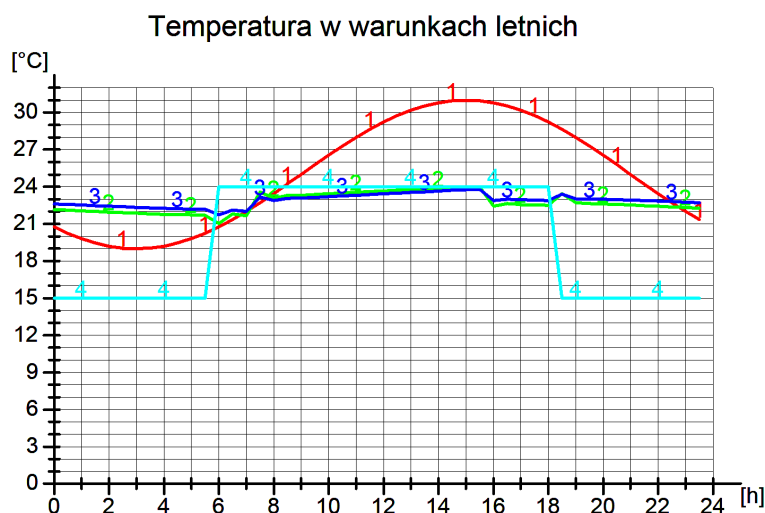


Rys. 5. Wyniki symulacji przeprowadzone oprogramowaniem TeknoSim [3], przedstawiające bilans cieplny (zyski ciepła) dla warunków letnich w ciągu doby: 1 – udział promieniowania słonecznego, 2 – udział oświetlenia/osób/aparatów, 3 – przenikanie z okien i elementów budowlanych budynku, 4 – wentylacja/infiltracja, 5 – akumulacja w elementach budynku, 6 – wydajność chłodząca wybranego urządzenia

Tabela 8. Wyniki symulacji przeprowadzone oprogramowaniem TeknoSim [3] przedstawiające wymiarowanie płyty chłodzącej Tectum

Wymiarowanie produktu chłodzącego	
Tectum	obliczona długość [m]
2 rury/33 cm	373,2
4 rury/60 cm	202,2
6 rur/87 cm	141,6





Rys. 6. Wyniki symulacji przeprowadzone oprogramowaniem TeknoSim [3], przedstawiające zmienność temperatur dla warunków letnich w ciągu doby: 1 – temperatura zewnętrzna, 2 – temperatura powietrza w pomieszczeniu, 3 – temperatura efektywna, 4 – temperatura powietrza doprowadzonego z systemu wentylacyjnego

Analiza rys. 5., przedstawiającego bilans cieplny dla warunków letnich oraz rys. 6., obrazującego zmienność temperatur dla warunków letnich w pomieszczeniu sali konferencyjnej nr 2 jest analogiczna jak w przypadku sali konferencyjnej nr 1 (rys. 4. i 5.).

Na podstawie tab. 8. dobiera się belki i oblicza ich liczbę analogicznie jak w przypadku tab. 6.

## 4. Podsumowanie

W opracowaniu porównano metodykę doboru stropów chłodzących w systemie klimatyzacji pomieszczeń metodą obliczeniową, przy maksymalnych obciążeniach cieplnych [2], z wykorzystaniem wykresów  $i-x$  powietrza wilgotnego i za pomocą oprogramowania TeknoSim [3]. W metodzie doboru belek Tectum oprogramowaniem TeknoSim omówiono zależności poszczególnych czynników wpływających na chłodzenie pomieszczeń i rozkład temperatury w ciągu dnia.

Obie metody prowadzą do właściwego, takiego samego doboru płyt chłodzących. Niewątpliwym atutem oprogramowania [3] jest prostota jego obsługi oraz możliwość wygenerowania na podstawie bilansu ciepła potrzebnej mocy chłodniczej do ochłodzenia pomieszczeń, tabeli wymiarowania belek oraz bilansu ciepła w formie graficznej. Atutem metody obliczeniowej z wykorzystaniem wykresów  $i-x$  powietrza wilgotnego [2] przy prowadzeniu obliczeń i doboru jest

możliwość dokładnej analizy procesów uzdatniania powietrza w centrali klimatyzacyjnej i doboru stropów chłodzących na podstawie katalogów firmy Lindab Climate.

### **Literatura**

1. Katalog płyt chłodzących Tectum firmy *Lindab Climate*.
2. Pisarev V., Kozubal S.: Klimatyzacja centralna ze stropami chłodzącymi, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, nr 241, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 43, Rzeszów 2007, s. 57-65.
3. Oprogramowanie TeknoSim firmy *Lindab Climate* wspomagające obliczanie zysków ciepła w pomieszczeniu i dobór produktu chłodzącego (forma elektroniczna).
4. PN-76/B-03420: Wentylacja i klimatyzacja, parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego.
5. PN-78/B-03421: Wentylacja i klimatyzacja, parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego.

### **ENGINEERING SYSTEMS PASSIVE PLATES COOLERS METHOD CALCULATED AND WITH THE HELP OF SOFTWARE TEKNOSIM COMPANY'S LINDAB CLIMATE**

#### **S u m m a r y**

In this publication comparison two methods serve to selection plates coolers for conference room. First method is calculating selected plates coolers, which cooperation with air-conditioning system liability for removal moisture gain out room. In second method handling software-assisted calculating heat gain and choice right plates coolers.

*Złożono w Oficynie Wydawniczej we wrześniu 2010 r.*