



Analiza zużycia energii dla grzewczych systemów promieniujących

Edyta Dudkiewicz, Natalia Fidorów, Janusz Jeżowiecki
Politechnika Wroclawska

1. Wstęp

Znane są następujące systemy ogrzewania przez promieniowanie:

- płaszczyznowe (sufitowe, podłogowe, ścienne),
- za pomocą sufitowych taśm promieniujących (promienniki wodne),
- za pomocą gazowych promienników podczerwieni (ceramicznych i rurowych),
- za pomocą elektrycznych promienników podczerwieni.

Obiekty wielkokubaturowe charakteryzują się innymi niż budynki mieszkalne kryteriami i cechami instalacji grzewczych. Będą to kryteria:

- komfortu cieplnego ludzi,
- rozkładu temperatur w strefie przebywania ludzi,
- wymagań technologicznych,
- ekonomiczności,
- pewności działania instalacji,
- nowoczesności rozwiązań,
- możliwości montażowych.

Dodatkowo istotna jest pełniona funkcja obiektu i sposób jego użytkowania, które są inne dla hali produkcyjnej, magazynowej, sportowej, handlowej, wystawowej, hangaru, czy kościoła.

W wielu publikacjach poruszany jest problem wyboru właściwego systemu grzewczego [2, 15] i paliwa [16]. Niemniej jednak uważa się,

że system ogrzewania przez promieniowanie jest właściwym rozwiązaniem dla hal o dużej kubaturze.

W artykule została dokonana analiza systemów promieniujących stosowanych powszechnie w halach wielkokubaturowych z użyciem promienników wodnych i ceramicznych gazowych. Przedstawiono specyfikę tych systemów, dokonano doboru urządzeń i porównano dla nich zapotrzebowanie na energię cieplną. W tym celu zaproponowano własną postać wzoru na zapotrzebowanie na gaz dla systemów grzewczych z promiennikami. Wykazano braki w metodologii obliczania zapotrzebowania na energię cieplną i potrzebę przeprowadzenia w tym kierunku badań. Wskazano system najbardziej energooszczędny.

2. Systemy promieniujące w halach wielkokubaturowych

2.1. Sufitowe promienniki wodne

Wśród systemów promieniujących specyficzną cechą wyróżniają się sufitowe promienniki – jest nią możliwość ich wykorzystania zarówno do ogrzewania, jak i chłodzenia pomieszczeń o różnym przeznaczeniu i kubaturze [1, 21, 25, 27]. Wykonywane są w postaci pojedynczych płyt grzejnych, łączonych w zespoły (ciągi lub sekcje), stosownie do potrzeb lub wymiarów ogrzewanego pomieszczenia. Systemy ogrzewania i chłodzenia z promiennikami wodnymi są bardziej komfortowe i energooszczędne od konwekcyjnych systemów powietrznych. Często są łączone z systemami klimatyzacji. W publikacjach [7, 9, 11, 21] opisano komfort termiczny i oszczędność energii przy zastosowaniu promienników wodnych. Natomiast w [25] podano zasady projektowania chłodzących promienników wodnych, mające na celu ograniczenie kondensacji na nich wody. Ponadto, także w [25], wskazano na inne publikacje dotyczące promienników wodnych oraz oszczędności energii i automatycznego sterowania systemami z promiennikami wodnymi.

Promienniki wodne mogą być wykorzystywane do ogrzewania całości hal o dużej kubaturze lub określonych ich stref. W [3] podano zasady obliczania temperatury promieniowania w pomieszczeniu ogrzewanym promiennikami i na stanowisku pracy dogrzewanym promiennikiem wodnym. W zależności od wymiarów, sposobu montażu (wysokości i kąta nachylenia do posadzki) oraz temperatury czynnika zasilającego (mocy cieplnej) są pod promiennikiem wytwarzane różne warunki

termiczne. Na wywoływany w ten sposób przez promiennik efekt cieplny, kształtujący komfort cieplny człowieka, wpływają również sposób i dynamika regulacji mocy cieplnej lub chłodniczej pojedynczego promiennika lub zespołu promienników. W [4] przedstawiono wyniki badań dynamiki systemu ogrzewania za pomocą promiennika wodnego zlokalizowanego w hali przemysłowej, w celu określenia możliwości algorytmów i nastaw układu jego automatycznej regulacji.

Promienniki wodne zawieszają się zazwyczaj na wysokości od 5 do 7 m nad posadzką i stosuje czynnik grzewczy ze standardową temperaturą roboczą wody lub o niskich parametrach, który może pochodzić z takich źródeł jak pompy ciepła czy kotły kondensacyjne. Praktykowane jest również rozwiązanie z czynnikiem wysokotemperaturowym (do 140°C) i wówczas promienniki mogą być montowane na wysokości do 30 m [1, 29]. Z technologicznego punktu widzenia nie ma ograniczeń w górnej granicy wysokości montażu taśm promieniujących. Wysoko zawieszony promiennik wpłynie będzie na zwiększone straty ciepła i związane z tym straty finansowe. Producenci taśm promieniujących podają współczynniki korekcyjne mocy cieplnej promiennika w zależności od wysokości zawieszenia. Ograniczenia w zakresie minimalnej wysokości montażu promiennika określone są w funkcji wartości średniej temperatury wody instalacji i powietrza wewnętrznego [1, 26, 29]. Zgodnie z wytycznymi producentów płyty promieniujące w halach rozmieszcza się równolegle do dłuższych przegród, a odległość między osiami paneli wylicza się z szerokości hali uwzględniając zalecenie o jednakowej odległości między osiami ich ciągów. Odległość między promiennikami nie powinna być większa niż wysokość zawieszenia. Należy również pamiętać, że w obszarach zwiększonego zapotrzebowania na ciepło, np. przy ścianach zewnętrznych, należy wybrać panele o większej szerokości, aby skompensowały straty ciepła przez „zimne” powierzchnie. Gdy straty ciepła przez krótsze ściany zewnętrzne i narożniki są znaczące, wskazane jest zamontowanie dodatkowych paneli wzdłuż krótszych ścian. Zapewniony w nich musi być także minimalny przepływ czynnika grzewczego w celu wywołania turbulentnego przepływu wody w rurach, gdyż jego nieosiągnięcie znacznie zmniejsza moc cieplną promiennika.

Dobór promiennika wodnego polega na przyjęciu odpowiedniego typu urządzenia w zależności od wysokości zawieszenia, obliczeniu jego długości i rozstawu. Następnie oblicza się przepływ wody przez panel

i przez węzownicę (w celu ewentualnego skorygowania wydajności instalacji) oraz spadek ciśnienia wody w instalacji i wydłużenie termiczne [19, 29].

Temperatura powierzchni promienników wodnych jest niska i właściwe rozmieszczenie urządzeń w hali, według wytycznych producenta [26, 29], pozwala na uzyskanie równomiernego rozkładu temperatury promieniowania w strefie przebywania ludzi w celu zapewnienia im komfortu cieplnego. Zamontowanie promienników wodnych na odpowiedniej wysokości nad strefą przebywania ludzi, nie może powodować przekroczenia dopuszczalnej intensywności promieniowania. W przypadku promienników wodnych intensywność promieniowania będzie regulowana temperaturą wody zasilającej promiennik.

2.2. Ceramiczne promienniki gazowe

W promiennikach ceramicznych (jasnych) emitowane jest głównie podczerwone promieniowanie ciepłe, którego źródłem są płytki ceramiczne o wysokiej temperaturze – na ich powierzchni spala się mieszanina gazu i powietrza. O efektywności promiennika decyduje sprawność radiacyjna, na którą wpływają kształt, wielkość i materiał reflektora odbijającego promieniowanie, zależne od producenta urządzenia. Publikacje [20, 24] poruszają temat energooszczędności systemu z promiennikami w porównaniu do tradycyjnego konwekcyjnego systemu grzewczego oraz podają zasady montażu promienników gwarantujące ich bezpieczne użytkowanie [15]. Wskazówki te są również podawane przez większość producentów w kartach katalogowych. Podczas projektowania systemu z promiennikami należy zwrócić uwagę na wiele aspektów, a jednym z ważniejszych jest intensywność promieniowania na wysokości głowy człowieka. Temperatura odczuwalna, a co za tym idzie temperatura promieniowania są wskaźnikami komfortu cieplnego człowieka. W [5] podano zasady rozmieszczenia gazowych ceramicznych promienników podczerwieni, wpływające na równomierny rozkład promieniowania ciepłego i żadaną temperaturę odczuwalną w strefie przebywania ludzi, zapewniając im komfort cieplny. W [6] przeanalizowano zależność temperatury promieniowania od kąta zawieszenia promiennika i jego mocy oraz od wymiarów płyty promieniującej. W [6] podano także wzory umożliwiające obliczanie temperatury promieniowania oraz wskaźniki do ich poprawnego stosowania. W [28] przedstawiono z kolei me-

todoologię obliczania komfortu cieplnego w pomieszczeniach z promiennikami wysokiej intensywności, z wykorzystaniem programu Building Comfort Analysis Program (BCAP) opracowanego przez ASHRAE.

Projekt systemu ogrzewania z promiennikami ceramicznymi obejmuje obliczenia zapotrzebowania na ciepło hali, mocy cieplnej do ogrzewania – stanowi ona podstawę do ustalenia rodzaju i wielkości promienników (wydajności cieplnej), ich wysokości zamontowania, zasięgu promieni cieplnych oraz odległości między nimi. Dokumentacja techniczna obejmuje ponadto dane dotyczące sposobu montowania promienników, układy odprowadzania spalin, schematy elektryczne połączenia promienników z panelem sterującym, sposób doprowadzenia instalacji gazowej, plan rozmieszczenia promienników i prowadzenia instalacji gazowej. Aby więc uniknąć błędów, inwestorzy często korzystają z usług producentów promienników, którzy za pomocą programów komputerowych przygotowują taką dokumentację techniczną.

System ogrzewania z promiennikami gazowymi charakteryzuje się tym, że pozwala wytworzyć ciepło dokładnie w miejscu, gdzie jest wymagane jego dostarczenie. W takim przypadku nie ponosi się kosztów związanych z przesyłem energii oraz kolejnych przemian mediów powodujących straty ciepła i powolną reakcję systemu grzewczego. Ogrzewanie obiektów promiennikami jasnymi wymaga spełnienia specyficznych wymagań związanych z wentylacją pomieszczenia, gdyż spaliny dostają się bezpośrednio do ogrzewanego pomieszczenia [15].

3. Przykład dobru systemów grzewczych

Dla przykładu przyjęto halę o wymiarach 46x20x6,5 m, co daje powierzchnię jej posadzki $A = 920 \text{ m}^2$. Zapotrzebowanie na ciepło, obliczone zgodnie z PN-EN 12831 [18], wynosi 150 kW. Z kolei wymagana temperatura odczuwalna w hali wynosi 18°C.

3.1. System z promiennikami ceramicznymi

Z analizy w [5] wynika, że kąt zawieszenia promienników i ich liczba wpływają na wymaganą intensywność promieniowania. Przy założeniu utrzymania temperatury odczuwalnej $t_o = 18^\circ\text{C}$ i temperatury powietrza $t_p = 14^\circ\text{C}$ oraz dla układu zamontowania promienników w sposób zapewniający opromieniowanie obszaru przebywania ludzi przez cztery promienniki (np. punkt A – rys. 1), zawieszono równolegle do posadzki,

wymagana intensywność promieniowania wynosi $I_s = 121 \text{ W/m}^2$, zaś przy montażu promienników pod kątem wynosi ona $I_s = 89 \text{ W/m}^2$. Literatura [14] podaje, że obliczone na podstawie normy [18] zapotrzebowanie na ciepło, należy obniżyć o około 20–30% przy zastosowaniu ogrzewania z użyciem promienników gazowych podczerwieni, co daje zapotrzebowanie na ciepło 120 kW. Ze względu na możliwość niskiej wysokości montażu przyjęto promienniki SupraSchwank 15 [10], o mocy cieplnej 11,5kW i współczynniku sprawności radiacyjnej 77,1%. Dobór promienników w zależności od sposobu montażu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Analiza doboru promienników gazowych

Table 1. Gas-heaters selection analysis

Typ promiennika	SupraSchwank15	SupraSchwank 15
Sposób mocowania	Pod kątem	Równoległe do posadzki
Wymagana intensywność promieniowania I_s [W/m^2]	89	121
Radiacyjne zapotrzebowanie na ciepło $Q_{rz} = A \cdot I_s / (\eta_R \cdot \eta_c)$ [kW]	112	152
Liczba promienników [sztuk]	10	14
Zainstalowana moc cieplna promienników [kW]	115	161
Zużycie gazu GZ50 [m^3/h]	1,15	1,15

3.2. System z promiennikami wodnymi

Wybrano system Sunstrip firmy PTH Foko [8]. Wysokość instalacji pozwala na wybór promienników typu SZ 39 o wydajności 745W/m. Przyjęto 5 rzędów promienników o długości 42 m, co daje wydajność systemu 156,45 kW. Przepływ wody przez panel wynosi 2691 l/h.

3.3. Zestawienie systemów

Do dalszej analizy wzięto także pod uwagę system konwekcyjny (bez doboru urządzeń), w celu porównania wyników obliczeń zapotrzebowania na gaz dla systemów promieniujących i konwekcyjnego.

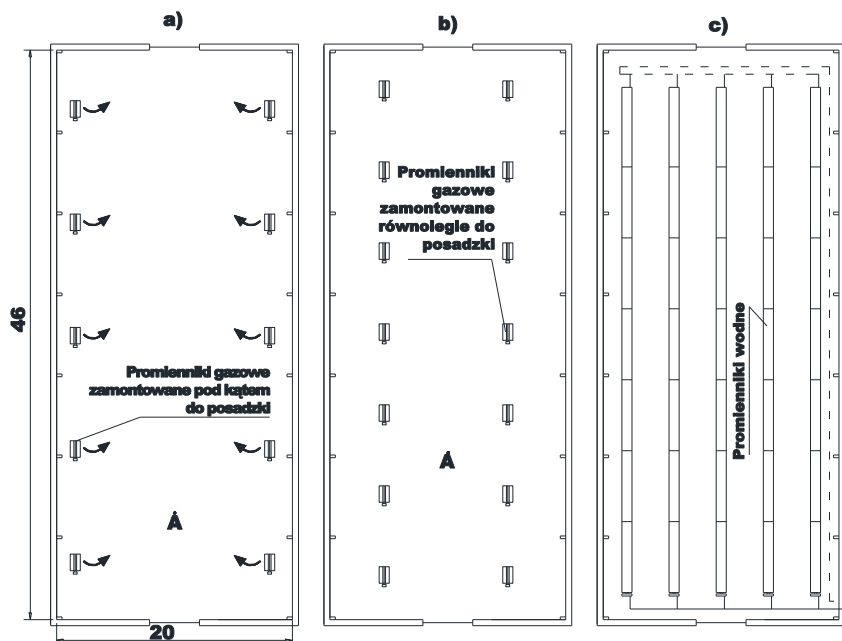
W tabeli 2 zestawiono charakterystyki 4 systemów dobranych przy założeniu utrzymania jednakowych parametrów cieplnych w tej

samej hali przemysłowej. Sposób zamontowania urządzeń w hali pokazano na rys. 1.

Tabela 2. Opis systemów grzewczych

Table 2. Heating systems description

System 1	10 sztuk gazowych ceramicznych promienników zamontowanych pod kątem do posadzki
System 2	14 sztuk gazowych ceramicznych promienników zamontowanych równoległe do posadzki
System 3	5 rzędów promienników wodnych zamontowanych równoległe do posadzki o długości 42 m, zasilanych czynnikiem z kotła gazowego
System 4	System konwekcyjny, w którym powietrze w hali jest ogrzewane do temperatury 18°C



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia promienników w hali produkcyjnej:

a) system 1, b) system 2, c) system 3

Fig. 1. Scheme of heaters distribution in the production hall:

a) system 1, b) system 2, c) system 3

4. Sezonowe zapotrzebowanie na gaz i energię ciepłą dla systemów promieniujących

W literaturze brak jest wytycznych do określenia zapotrzebowania na paliwo do ogrzewania promiennikami gazowymi i wodnymi. Ze względu na specyfikę działania systemów promieniujących, skorzystanie bezpośrednio ze wzorów, które można znaleźć w literaturze – jak, np. wzór Hottingera [12], czy wzory wykorzystujące sezonowe zapotrzebowanie na ciepło, bazujące na rozporządzeniach dotyczących certyfikacji [23], bądź audytów energetycznych [22], jest praktycznie niemożliwe. Do obliczenia zapotrzebowania na energię ciepłą konieczne jest więc opracowanie wzoru uwzględniającego specyfikę systemu oddającego ciepło w większym stopniu przez promieniowanie.

Moc ciepła zainstalowanych w hali promienników uwzględnia niektóre ze sprawności systemów z ceramicznymi gazowymi promiennikami podczerwieni lub z promiennikami wodnymi, a także inne uwarunkowania. Moc ciepła zainstalowanych ceramicznych promienników gazowych uwzględnia sprawności wytworzenia, przesyłania i wykorzystania ciepła, a także sposób montażu promienników równoległe do posadzki bądź do niej pod kątem. Bowiem zamontowanie promienników pod kątem i skierowanie ich do środka hali, powoduje wzrost intensywności promieniowania i temperatury promieniowania w środkowej części hali. W przykładzie (tabela 1) widać tę różnicę, albowiem przy montażu promienników pod kątem, kiedy pola ich działania się nakładają, wymagana zainstalowana moc ciepła urządzeń jest mniejsza. W przypadku promienników wodnych, poprzez analogię do innych ogrzewań wodnych, należy uwzględnić sprawność wytworzenia i przesłania ciepła [23], np. z kotła gazowego do promienników wodnych. W obu rozwiązaniach warto jest uwzględnić sprawność regulacji [23] – choć brak w literaturze jej wartości dla promienników gazowych czy wodnych, to można przez analogię skorzystać z wartości przypisanych promiennikom elektrycznym oraz ogrzewaniu wodnemu z regulacją centralną i miejscową. Brak powyższych wartości dla systemów promiennikowych stanowi jednak dodatkową trudność w obliczeniu zapotrzebowania na paliwo.

Do obliczania zapotrzebowania na paliwo, często używa się tzw. stopniodni sezonu grzewczego, które uwzględniają zmianę temperatury zewnętrznej w trakcie sezonu. Przy obliczaniu ilości paliwa dla ogrzewa-

nia promiennikami, postanowiono ustalić liczbę stopniodni na podstawie temperatur średnich miesięcznych dla Wrocławia [17], dla rzeczywistej temperatury w hali, chociaż w [13] można znaleźć obliczenia oparte na współczynnikach zmniejszających i przyjmowaniu liczby stopniodni, jak dla temperatury wewnętrznej na poziomie 20°C. W obliczeniach służących sporządzeniu audytu energetycznego [22] uwzględnia się współczynniki zmniejszające ze względu na przerwy w ogrzewaniu. Jeden z tych współczynników dotyczy długości przerwy w trakcie jednej doby, a drugi – liczby dni ogrzewania w tygodniu. W [12] współczynniki te są opisane tak, jakby w trakcie przerw wcale nie ogrzewano hali, co praktycznie nie jest możliwe przy ogrzewaniach wodnych, które ze względu na możliwość zamarznięcia wody w instalacji muszą utrzymywać temperaturę dyżurną. Z kolei wartości współczynników zmniejszających wskazują na to, że przerwa w ogrzewaniu oznacza właśnie ogrzewanie do temperatury dyżurnej. Współczynniki te odnoszą się do ogrzewań wodnych i znów brak jest wytycznych dla promienników ceramicznych, przy zastosowaniu których, o ile technologia w hali tego nie wymaga, nie trzeba stosować ogrzewania dyżurnego. W przedstawionym w [14] przykładzie uwzględniono ten sam współczynnik, co dla ogrzewania wodnego. Zdaniem autorów wykorzystanie innych wartości współczynników zmniejszających dałoby bardziej miarodajne wyniki.

Uwzględniając opisaną powyżej specyfikę ogrzewania z promiennikami i bazując na wzorze Hottingera [12], zmodyfikowano i podano własną postać wzoru na sezonowe zapotrzebowanie na gaz dla systemów z promiennikami gazowymi bądź wodnymi, w postaci:

$$B = \frac{Q \cdot W_d \cdot W_t \cdot 86400 \cdot Std}{w_u \cdot \eta_r \cdot \eta_w \cdot \eta_p \cdot (t_i - t_e^{obl})} \quad (1)$$

w którym:

- B – sezonowe zapotrzebowanie na paliwo [m³/rok],
- Q – moc cieplna zainstalowanych promienników gazowych bądź wodnych [kW],
- W_d – współczynnik uwzględniający przerwy w ogrzewaniu w okresie doby,
- W_t – współczynnik uwzględniający przerwy w ogrzewaniu w okresie tygodnia,
- 86400 – liczba sekund w ciągu doby [s/doba],

Std – liczba stopniodni okresu ogrzewania dla temperatury powietrza w hali [$^{\circ}\text{C}\cdot\text{doba}$],

W_u – wartość opałowa zastosowanego gazu [kJ/m^3]

η_r – sprawność regulacji systemu,

η_w – sprawność wytworzenia ciepła,

η_p – sprawność przesyłu ciepła,

t_i – temperatura powietrza w pomieszczeniu [$^{\circ}\text{C}$],

t_e^{obl} – obliczeniowa temperatura zewnętrzna [$^{\circ}\text{C}$].

5. Obliczenie zapotrzebowania na gaz i energię cieplną

W tabeli 3 zestawiono założenia przyjęte dla poszczególnych systemów grzewczych oraz podano obliczone zapotrzebowanie na gaz dla czterech systemów, których sposób doboru omówiono w punkcie 3. Wszystkie systemy wykorzystują gaz ziemny wysokometanowy.

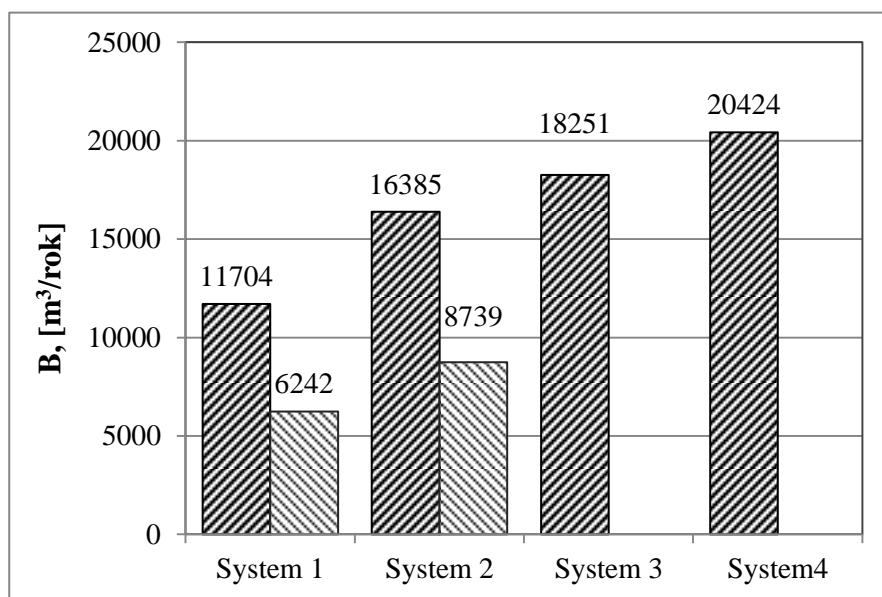
Zakładając odpowiednie sprawności i współczynniki posłużono się wartościami z rozporządzeń dotyczących certyfikacji energetycznej [23] oraz audytów energetycznych [22]. Obliczono również ilość energii zużywanej w trakcie sezonu grzewczego przez każdy z systemów.

Tabela 3. Obliczeniowe zapotrzebowanie na paliwo dla czterech systemów grzewczych

Table 3. Calculated seasonal fuel demand for four heating systems

	System 1	System 2	System 3	System4
Q	115,0 kW	161,0 kW	156,5 kW	150,0 kW
W_d	0,75	0,75	0,75	0,75
W_t	0,75	0,75	0,75	0,75
Std	2261 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{doba}$	2261 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{doba}$	2488 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{doba}$	3169 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{doba}$
W_u	34430 kJ/m^3	34430 kJ/m^3	34430 kJ/m^3	34430 kJ/m^3
η_r	0,98	0,98	0,98	0,98
η_w	-	-	0,96	0,96
η_p	-	-	0,97	0,97
t_i	14 $^{\circ}\text{C}$	14 $^{\circ}\text{C}$	15 $^{\circ}\text{C}$	18 $^{\circ}\text{C}$
t_e^{obl}	-18 $^{\circ}\text{C}$	-18 $^{\circ}\text{C}$	-18 $^{\circ}\text{C}$	-18 $^{\circ}\text{C}$
B	11 704 m^3/rok	16 385 m^3/rok	18 251 m^3/rok	20 424 m^3/rok
E	114,9 MWh/rok	160,9 MWh/rok	179,2 MWh/rok	200,6 MWh/rok

Na podstawie powyższej analizy można oszacować jakie oszczędności paliwa i energii można uzyskać przy zastosowaniu systemów promieniujących w porównaniu do systemów konwekcyjnych. Oszczędności wynoszą odpowiednio 43%, 20% i 11% dla systemów: z promiennikami gazowymi zamontowanymi pod kątem, z promiennikami zamontowanymi równoległe do podłogi oraz z promiennikami wodnymi. Warto uwagi są też różnice między poszczególnymi systemami z promiennikami. Zastosowanie promienników gazowych (system 2) zamiast wodnych daje około 10% oszczędności, natomiast ustawienie ich pod kątem do posadzki daje 36% oszczędności w zużyciu gazu w porównaniu z systemem 3. Należy także zwrócić uwagę, że zamontowanie promienników pod kątem daje nie tylko 29% oszczędności na paliwie w porównaniu do tych samych promienników gazowych zamontowanych równoległe do posadzki, ale także dodatkowe oszczędności na etapie inwestycji, wynikające z wymaganej niższej mocy zainstalowanej, a więc z mniejszej liczby urządzeń lub z mniejszej mocy urządzeń.



Rys. 2. Prognozy rocznego zużycia gazu dla 4 systemów ogrzewania hali
Fig. 2. Predictions of annual gas consumption for 4 hall's heating systems

W punkcie 4 wspomniano, że wartości współczynników zmniejszających ze względu na przerwy w ogrzewaniu, stosowane powszechnie dla ogrzewań wodnych, mogą być nieadekwatne dla promienników gazowych. Postanowiono przeanalizować efekty osiągnięte przez zastosowanie innej wartości współczynnika uwzględniającego przerwy w ogrzewaniu w okresie doby. Na rysunku 2 pokazano prognozy zużycia gazu dla założeń z tabeli 3. Dodatkowo pokazano prognozę dla systemów 1 i 2 przy zmniejszeniu współczynnika W_d z 0,75 do 0,40, przyjmując działanie systemu około 8 godzin na dobę z uwzględnieniem pewnej nadwyżki do ogrzania mocno wyziebionej hali.

Przyjęcie innej wartości współczynnika uwzględniającego przerwy w ogrzewaniu daje prognozy niższe o około 47% dla obu systemów z gazowymi promiennikami podczerwieni. Przyjęcie właściwych założeń w trakcie analizy zużycia gazu ma więc duży wpływ na jego wyniki. Na tym przykładzie widać również, że dane literaturowe należałoby uzupełnić o wartości sprawności systemów promieniujących oraz o współczynniki wpływające na prognozę zużycia paliwa odpowiednie dla tych systemów, na przykład poparte badaniami lub pomiarami wykonanymi na rzeczywistych obiektach.

6. Wnioski

Gazowe i wodne systemy promiennikowe są dość popularnym rozwiązaniem ogrzewania hal wielkokubaturowych. Do zalet promienników wodnych należą: możliwość ich wykorzystania również do ochładzania, niska temperatura powierzchni grzewczej, możliwość montażu poza obszarami roboczymi na posadzce w hali, brak produktów spalania w pomieszczeniu, czy energooszczędność w porównaniu do ogrzewania konwekcyjnego. Wadą promienników wodnych jest utrzymanie ciągłości pracy instalacji grzewczej w sezonie, nawet gdy hala nie jest eksploatowana. Promienniki gazowe są bardziej energooszczędne niż promienniki wodne, zwłaszcza przy montażu urządzeń pod kątem do posadzki. W trakcie przerw w eksploatacji hali nie ma potrzeby utrzymywania temperatury dyżurnej, a co za tym idzie ciągłości pracy instalacji grzewczej. Ich montaż nie powoduje ograniczeń wykorzystania przestrzeni w hali i daje większe możliwości aranżacji systemu w halach z suwnicami czy innymi elementami montowanymi na znacznej wysokości. Przy

zastosowaniu promienników gazowych należy pamiętać o usuwaniu produktów spalania z pomieszczenia.

Producenci urządzeń podają wystarczającą ilość informacji, na podstawie których można prawidłowo zaprojektować system ogrzewania promiennikowego. Zasady projektowania systemów można znaleźć również w literaturze przedmiotu. Nie ma jednak jednoznacznych wytycznych dotyczących obliczania zapotrzebowania na energię, czy na paliwo dla systemów ogrzewania promiennikowego. Brakuje zarówno metodologii, jaki i bazy współczynników sprawności, czy innych współczynników mających wpływ na prognozę. W artykule dokonano próby oszacowania rocznego zużycia gazu dla różnych systemów ogrzewania z urządzeniami promieniującymi. Pokazano również jak zmiana założeń wpływa na prognozę zużycia gazu. Dane literaturowe powinny zostać rozszerzone o przypadek ogrzewania promiennikami.

Z analizy wynika, że systemy z promiennikami są dla hal przemysłowych wielkokubaturowych bardziej energooszczędne od systemów konwekcyjnych. Systemy promieniujące przynoszą jednak różne oszczędności w zależności od zastosowanych urządzeń i ich sposobu montażu. Najbardziej energooszczędnym, na podstawie przeprowadzonej analizy dla przykładowej hali, jest system z gazowymi ceramicznymi promiennikami podczerwieni o sprawności radiacyjnej 77%, zamontowanymi na ścianie pod kątem w kierunku posadzki.

Literatura

1. **Antoniewicz B., Koczyk H.:** *Nowoczesne promienniki taśmowe w ogrzewaniu pomieszczeń wielkokubaturowych*, Ogrzewnictwo Praktyczne nr 6. 12–13 (1999).
2. **Chmielowski A.:** *Czym ogrzewać?* Polski Instalator, 1/98.
3. **Dudkiewicz E., Englart S.:** *Temperatura promieniowania na stanowisku pracy ogrzewanym promiennikiem wodnym*. Współczesne metody i techniki w badaniach systemów inżynierskich / pod red. Sergeya Anisimova. Wrocław : Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa. Wydział Inżynierii Środowiska. Politechnika Wrocławska, 25–28 (2011).
4. **Dudkiewicz E., Jadwiszczak P., Jeżowiecki J.:** *Examination of operational dynamics of radiant ceiling panel*. Central European Journal of Engineering. vol. 1, nr 2, 159–167 (2011).

5. **Dudkiewicz E., Jeżowiecki J.:** *Temperatura odczuwalna w obiektach ogrzewanych promiennikami ceramicznymi.* Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja. R. 39, nr 5, 12–16 (2008).
6. **Dudkiewicz E., Jeżowiecki J.:** *The influence of orientation of a gas-fired direct radiant heater on radiant temperature distribution at a work station.* Energy and Buildings. vol. 43, nr 6, 1222–1230 (2011).
7. **Fanger P.O., Bahhidi L., Olesen B.L., Langkilde G.:** Comfort limits for heated ceilings, ASHRAE Transaction 86, Part 2, 141–156 (1980).
8. **Frico:** *Zalety systemu Sunstrip*, PTH FOKO, Warszawa.
9. **Glück B.:** Bewertungsmaßstab zur optimalen Anordnung von Heiz- und Kühlflächen im Raum, Gesundheits-Ingenieur 2, 65–71 (1991).
10. <http://www.schwank.pl/pl/home.html>
11. **Imanari T., Omori T., Bogaki K.:** Thermal comfort and energy consumption of radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system, Energy and Buildings 30, 167–175 (1999).
12. **Koczyk H.:** *Ogrzewnictwo praktyczne: projektowanie, montaż, eksploatacja.* Systherm Serwis. Poznań 2005.
13. **Kowalczyk M.:** *Promienniki podczerwieni: ogrzewanie XXI wieku. „Solaren-Bis”.* Gdańsk 2000.
14. **Kowalczyk M.:** *Temperatura na żądanie*, Magazyn Instalatora, nr 1 (77), 2005.
15. **Lis B.:** *Ogrzewania hal przemysłowych*, Polski Instalator, 11-12/98.
16. **Molenda J.:** *Proekologiczne rozwiązania w urządzeniach spalających gaz ziemny.* Gaz Woda i Technika Sanitarna, 3/2002.
17. *PN-B-02025:2001 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego.* 2001.
18. *PN-EN 12831 Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.*
19. *PN-EN 14037-3:2006 Sufitowe taśmy promieniujące zasilane wodą o temperaturze poniżej 120 stopni C – Część 3: Metody wzorcowania i oceny mocy cieplnej oddawanej przez promieniowanie.*
20. **Roth K., Roth K., Dieckmann J., Brodrick J.:** *Infrared Radiant Heaters.* Ashrae Journal, June 2007.
21. **Roulet C.A., Rossy J.P., Roulet Y.:** *Using large radiant panels for indoor climate conditioning*, Energy and Buildings 30, 121–126 (1999).
22. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego.* 2009.Dz.U.2009.43.346.

23. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.* 2008.Dz.U.2008.201.1240.
24. **Schultz C.C.:** *Infrared vs. Gas-fired heat? Examine space to make the right choice.* Plant Engineering, 4, 2006.
25. **Simmonds P., Chambers I., Mehlomakulu B., Simmonds C.:** *Applied performance of radiant ceiling panels for cooling,* ASHRAE Transactions: Symposia, 368–376 (2006).
26. „*Stropowe promienniki płytowe PLAN*”, Kampmann Bydgoszcz 07.2004.
27. **Tian Z., Love J. A.:** *Energy performance optimization of radiant slab cooling using building simulation and field measurements,* Energy and Buildings 41, 320–330 (2009).
28. **Wang W., Chapman K.S., Keshavarz A.:** *Incorporate Radiant Heaters over 300°F into Thermal Comfort Calculations Using BCAP.* Ashrae Transaction: Research, 2005.
29. *Zehnder ZBN. Sufitowe promienniki ciepła zasilane wodą,* Zehnder Polska, 09.2003.

Energy Consumption Analysis for Radiant Heating Systems

Abstract

Infrared radiators are more and more commonly applied economical heating system that is recommended for the warehouses production or sport halls and other buildings that have large cubature. Among the radiant systems, gas-fired ceramic and water radiators are most often used. In the article the most important features, advantages, disadvantages and main rules for design of infrared radiator used in the halls of large cubature have been described. In order to perform energetic analysis four conception heating systems have been designed for the production hall, assuming the same thermal conditions inside. Tree radiant systems, one with water radiators and two with gas-fired radiators – installed parallel and at angle to the floor; have been compared among each other and with fourth convective system. It has been designated that in literature there is no guidance for calculation of the fuel demand for radiant systems, as well as lack of data concerning the efficiency of systems and other coefficients influencing the calculation of projected fuel consumption. The new formula for seasonal fuel demand, taking into account the character of radiant heating, have

been given. Seasonal heat and fuel demand have been calculated for three radiant systems. The outcomes have been compared with calculation made for convection system. Energy demand analysis showed that implementing various radiant heating systems gives from 11% to 43% of savings in comparison to convection system. Moreover it turned out that application of the gas-fired radiators gives about 10% of savings in comparison to the water radiant system and installing radiators at angle to the floor gives further savings in comparison to other solutions.