

Wpływ niskiej temperatury nośnika ciepła na modelową i rzeczywistą moc cieplną stalowego płytowego grzejnika centralnego ogrzewania

The influence of low temperature of the heat carrier on the modeled and actual thermal power of a steel plate central heating radiator

MARCIN MŁODAWSKI, MARLENA MAŁEK, KACPER KŁASEK

DOI 10.36119/15.2024.12.4

Artykuł jest odniesieniem do europejskiej normy EN 442:2014, która jest stosowana m.in. do oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych wyrobów budowlanych w postaci urządzeń do ogrzewania pomieszczeń. Przedstawiono wyniki badań popularnego i szeroko stosowanego stalowego płytowego grzejnika typu C22, zasilanego wodą o temperaturze $75^{\circ}\text{C} \pm 35^{\circ}\text{C}$.

W artykule wykazano rozbieżność między wartościami mocy uzyskanej wg EN 442, a mocy wyznaczonej w warunkach rzeczywistych przy uwzględnieniu średniej logarytmicznej różnicy temperatury, szerokiego przedziału strumienia masy wody oraz niskiej temperatury nośnika ciepła. Charakterystyka cieplna wykonana według cytowanej normy daje w pewnych przypadkach zaniżone wartości mocy w odniesieniu do realnych warunków, w których grzejnik był badany. W wyniku badań eksperymentalnych, przeprowadzonych w akredytowanym laboratorium AB143, stwierdzono konieczność zwiększenia mocy cieplnej o ok. 20% w warunkach rzeczywistej eksploatacji urządzenia w odniesieniu do charakterystyki modelowej. Zaproponowano konieczność stosowania nowych metod obliczeniowych, odpowiednich do niskiej temperatury nośnika ciepła, zgodnych ze współczesnym stanem wiedzy. Nie wymieniono nazwy producenta grzejnika, skupiając się na rozpatrywanym zagadnieniu. Praca adresowana jest do szerokiego grona odbiorców, tj. użytkowników, instalatorów, projektantów i producentów tego typu urządzeń. Słowa kluczowe: grzejnik, zasilanie niskotemperaturowe, moc cieplna, EN 442, centralne ogrzewanie.

The article is a reference to the European standard EN 442:2014, which is used, among others, to assess and verify the constancy of performance of a construction product in the form of a room heating device. It presents the results of tests of a popular and widely used steel plate radiator type C22, supplied with water at a temperature of $75^{\circ}\text{C} \pm 35^{\circ}\text{C}$. The article presents the differences between the power values obtained according to EN 442, and determined in real conditions – taking into account the logarithmic mean temperature difference, a wide range of water mass flow and low temperature of the heat carrier. The thermal characteristics performed according to the relevant standard present underestimated power values in relation to the real conditions in which the radiator was tested. As a result of experimental tests, obtained in the accredited AB143 laboratory, an increase in thermal power of approx. 20% was found in the conditions of actual use of the device, in relation to the model characteristics. The article suggested the need to use new calculation methods for low temperature of the heat carrier conditions, consistent with the temporary state of art. The name of the radiator manufacturer is not mentioned, focusing on the issue under consideration. The work is addressed to a wide range of recipients, i.e. users, installers, designers and manufacturers of such devices.

Keywords: radiator, low-temperature power supply, thermal power, EN 442, central heating.

Wstęp

Grzejniki centralnego ogrzewania to urządzenia przekazujące ciepło z instalacji ogrzewania do pomieszczeń ogrzewanych. Metodologię badań grzejników określa norma EN 442-2:2014 [1]. Producenci zobowiązani są do podania wartości katalogowej mocy cieplnej uzyskanej w wyniku badań zgodnych z procedurą poda-

ną w normie. Jest istotne, aby rzeczywista moc grzejnika, w warunkach różnej temperatury wody zasilającej, odpowiadała wartościom podanym w dokumentach doboru. Doboru wielkości grzejnika dokonuje projektant instalacji ogrzewania, czasem konsultując typ grzejnika z potencjalnym inwestorem (względy estetyczne).

Norma EN 442 jest dokumentem zharmonizowanym, obowiązującym w Unii Eu-

ropejskiej oraz m.in. Norwegii, Szwajcarii i Turcji, dotyczącym urządzeń klasyfikowanych jako wyrób budowlany. W związku z tym podlega ROZPORZĄDZENIU PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) NR 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiającym zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylającym dyrektywę Rady 89/106/EWG [10], obligując

mgr inż. Marcin Młodawski <https://orcid.org/0000-0002-9333-8814>, mgr inż. Marlena Małek <https://orcid.org/0000-0002-5406-6000>, inż. Kacper Klasek <https://orcid.org/0000-0002-6159-0062> – Instytut Energetyki – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa. Adres do korespondencji/ Corresponding author: marcin.mlodawski@ien.com.pl, marlena.malek@ien.com.pl, kacper.klasek@ien.com.pl

producentów, importerów i dystrybutorów do przedstawienia Deklaracji Właściwości Użytkowych wyrobu, w której podawane są parametry techniczne, w tym moc oraz charakterystyka cieplna [2]. Wspomniane parametry wyznaczane są w akredytowanych laboratoriach badawczych. Należy wspomnieć, że tylko badanie w Jednostce Notyfikowanej (na podstawie akredytacji PCA) upoważnia producenta, dystrybutora lub importera do sprzedaży grzejnika na terenie Unii Europejskiej. Brak stosownej Deklaracji Właściwości Użytkowych lub jej treść bez podania mocy i charakterystyki cieplnej, lub też podanie jej zaniżonej wartości, naraża producentów, dystrybutorów lub importerów na konsekwencje egzekwowane przez organa kontrolne. Są nimi Wojewódzkie Inspektoraty Nadzoru Budowlanego. Norma EN 442 od ok 25 lat nie uległa zasadniczej zmianie: metodyka badawcza odnosi się do modelowych, referencyjnych warunków laboratoryjnych i nie uwzględnia np. elementów zakłócających wymianę ciepła, takich jak półki, parapety lub zasłony. Ponadto instalacje ogrzewania przed 25 laty charakteryzowały się wyższą niż obecnie temperaturą wody zasilającej, stąd nieprzystawalność normy do współczesnych realiów.

Opracowania literaturowe [3] od dawna wskazują, aby przy wyznaczaniu mocy cieplnej elementów grzejnych uwzględniać średnią logarytmiczną różnicę temperatury, lepiej odwzorowując profil temperatury w wymienniku ciepła, którym jest grzejnik. Konsekwencją przyjęcia średniej arytmetycznej różnicy temperatury nośnika ciepła i powietrza w pomieszczeniu jest błędne obliczenie mocy w warunkach odbiegających od modelowych, np.: przy dużej różnicy temperatury wody zasilającej i powrotnej, znacznie większym lub mniejszym niż w badaniu laboratoryjnym, strumieniu masy wody, mniejszej niż 30 K różnicy temperatury pomiędzy powierzchnią grzejnika a otaczającym powietrzem. Warto wspomnieć, że norma EN 442 odnosi się do systemów grzewczych tzw. trzeciej generacji 3G (woda o temperaturze poniżej 100°C), które stopniowo są zastępowane przez generację 4G (woda o temperaturze poniżej 70°C). Pierwsze sieci ciepłownicze na świecie to były sieci pary wodnej o temperaturze ok. 180°C (Paryż) [4],[5]. Zmiana temperatury wynika z zachodzącej transformacji energetycznej, która w ostatnich latach nabiera tempa i skłania do rozwiązań proekologicznych: zastosowania odnawialnych źródeł ciepła i energii, wykorzystania ciepła odpadowego, a także do termomodernizacji obiektów, instalacji

ogrzewczych i do zmniejszenia strat ciepła [5],[6],[7] przy przesyle nośnika ciepła.

Obecnie w Polsce jest 225 sieci z temperaturą zasilania w przedziale 71°C÷99°C i 8 sieci z temperaturą zasilania w przedziale 55°C÷70°C. Stanowią one ok. 29% wodnych sieci ciepłowniczych [8].

Celem pracy jest określenie różnicy mocy cieplnej grzejnika w warunkach modelowych, wynikających z przytoczonej normy i mocy wyznaczonej w warunkach rzeczywistych – z uwzględnieniem logarytmicznej różnicy temperatury (pomiędzy nośnikiem ciepła a otaczającym powietrzem), niskiej temperatury nośnika ciepła, dużej różnicy temperatury zasilania i powrotu oraz dużej rozbieżności strumienia masy wody.

Badaniom cieplnym poddano stalowy płytowy grzejnik typ C22 600x1400 mm – dwupłytkowy z podwójnym ożebrowaniem – z bocznymi przyłączami: wody (dopływającej u góry, wypływającej u dołu). Masa grzejnika: 40,8 kg, pojemność wodna: 9,24 dm³, powierzchnia (rzut powierzchni czołowej) 0,84 m²

Metodyka badawcza

Moc cieplna grzejników stosowanych w instalacjach ogrzewania jest określana na podstawie zharmonizowanej normy EN 442-2:2014.

Badania przeprowadzono w Laboratorium Badawczym Grzejników i Armatury Instytutu Energetyki – Państwowego Instytutu Badawczego. Laboratorium posiada niezbędną infrastrukturę i akredytację AB 143 do badań mocy cieplnej grzejników, zgodnie z w/w normą oraz Notyfikację Komisji Europejskiej NB 1452.

Badany grzejnik (rys. 1.) jest umieszczony wewnątrz zamkniętej metalowej



Rys. 1.
Stalowy płytowy grzejnik typu C22
Fig. 1. Steel plate radiator type C22

(izolowanej termicznie) komory badawczej (rys. 2.) o wymiarach 4x4x3 m (pow. 16 m² i kubatura 48 m³), równoległe do tylnej ściany i symetrycznie do jej linii środkowej. Odległość pomiędzy tylną ścianą komory a tyłem grzejnika wynosi 0,050 ± 0,002 m, odległość między podłogą a dołem grzejnika wynosi 0,110 ± 0,005 m.



Rys. 2.
Komora badawcza typu zamkniętego
Fig. 2. Closed type test chamber

Dopływ wody jest podłączony w górnej części grzejnika (prawym górnym rogu), a odpływ w dolnej części (prawym dolnym rogu). Ściany komory badawczej są chłodzone wodą (systemem chłodzenia umieszczonym wewnątrz ścian) w celu utrzymania stabilnych warunków termicznych wewnątrz komory, niezależnie od zewnętrznego otoczenia.

Podczas badania średnia temperatura chłodzonych ścian jest regulowana tak, aby utrzymać stałą wzorcową temperaturę powietrza wewnątrz komory, w przedziale 20,0°C±0,1 K. Warunki te utrzymywane są przez czas trwania badania. Warunki stanu ustalonego zachodzą wtedy, gdy odchylenia standardowe wszystkich odczytów, zarejestrowane przez ostatnie co najmniej 30 minut, są mniejsze niż: ±0,05 K (temperatury wody i powietrza), oraz ±0,5% (strumienia masy wody).

Temperatura wody jest mierzona bezpośrednio w punktach podłączenia instalacji hydraulicznej do badanego grzejnika.

Moc cieplna grzejnika \dot{Q}_{me} jest wyznaczana metodą wagową, przez pomiar masy wody (nośnika ciepła) bezpośrednio wpływającego do naczynia umieszczonego na wadze (rys. 3.) w określonym przedziale czasu oraz pomiar temperatury t_1 i t_2 , przy której jest wyznaczana entalpia



Rys. 3.
Stanowisko pomiaru strumienia masy wody
Fig. 3. Water mass flow measurement station

właściwa wody h_1 i h_2 . Moc cieplną grzejnika opisuje wzór (1):

$$\dot{Q}_{me} = q_m(h_1 - h_2), [W] \quad (1)$$

gdzie:

q_m – strumień masy wody (symbolika zgodna z normą), [kg/s],

h_1 – entalpia właściwa wody dopływającej do grzejnika, [J/kg],

h_2 – entalpia właściwa wody wypływającej z grzejnika, [J/kg].

W celu uwzględnienia wpływu ciśnienia powietrza (różniącego się od $p_o = 101,3$ kPa) moc cieplna Φ_{me} jest korygowana zgodnie z wzorem (2).

$$\Phi = \dot{Q}_{me} [S_k + (1 - S_k) \cdot f_p], [W] \quad (2)$$

gdzie:

S_k – współczynnik wypromieniowanej mocy cieplnej – przyjęty stosunek części mocy cieplnej wypromieniowanej do całkowitej mocy grzejnika – (z tablicy 4. według EN 442),

f_p – współczynnik korygujący.

Współczynnik korygujący f_p jest obliczany z wzoru (3):

$$f_p = \left[\frac{p_o}{p} \right]^{n_p} \quad (3)$$

gdzie:

p_o – ciśnienie powietrza 101,3 [kPa],

p – ciśnienie powietrza w czasie badania, [kPa],

n_p – wykładnik potęgi (z tablicy 4. wg EN 442).

Równanie końcowe przyjmuje postać (4):

$$\Phi = q_m \cdot (h_1 - h_2) \cdot \left[S_k + (1 - S_k) \cdot \left[\frac{p_o}{p} \right]^{n_p} \right], [W] \quad (4)$$

oznaczenia jak w poprzednich wzorach.

Moc cieplna grzejnika jest wyznaczana w 3 punktach pomiarowych, w warunkach stanu ustalonego, przy kolejnych wartościach średniej różnicy temperatury, $\Delta T = 50 \pm 2,5$ K, $60 \pm 2,5$ K i $30 \pm 2,5$ K z wzoru (5):

$$\Delta T = \frac{t_z + t_p}{2} - t_r, [K] \quad (5)$$

gdzie:

ΔT – różnica pomiędzy średnią temperaturą nośnika ciepła w grzejniku a temperaturą powietrza wewnątrz komory, [K],

t_z – temperatura wody zasilającej grzejnik, [°C],

t_p – temperatura wody wypływającej z grzejnika, [°C],

t_r – temperatura powietrza w komorze badawczej, [°C].

Na podstawie zmierzonej mocy cieplnej przy danej wartości ΔT jest formułowane równanie charakterystyki cieplnej, określone wzorem (6):

$$\Phi = K_m \cdot \Delta T^n, [W] \quad (6)$$

gdzie:

Φ – moc cieplna grzejnika w funkcji ΔT ,

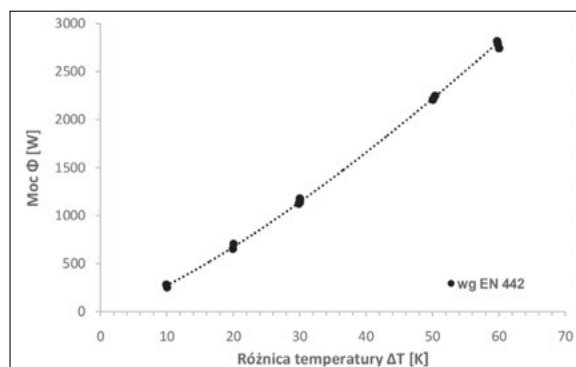
K_m – stała dla danego modelu grzejnika (uzyskana z badań cieplnych),

n – wykładnik potęgowy równania charakterystyki cieplnej (aproksymowany z badań cieplnych),

ΔT – różnica między średnią temperaturą wody w grzejniku i temperaturą powietrza wewnątrz komory badawczej [K].

Wyżej opisana metodyka to standardowa procedura, zgodna z normą EN 442 [1]. Badanie jest prowadzone z wykorzystaniem oprogramowania sterującego i nadzorowane przez operatora (rys. 4.). Jak wspomniano, metodyka nie uwzględnia małej wartości ΔT – poniżej 30K. Na potrzeby niniejszej pracy badawczej metodyka została rozszerzona przez uwzględnienie małych wartości średniej różnicy temperatury ΔT .

Rys. 5.
Charakterystyka mocy cieplnej wg EN 442
Fig. 5. Thermal power characteristics according to EN 442



Tab. 1. Wyniki pomiaru mocy cieplnej grzejnika w komorze badawczej zgodnie z EN 442 (według malejącej ΔT)

Table 1. Results of measuring the thermal power of the radiator in the test chamber according to EN 442 (according to decreasing ΔT)

| t_z [°C] | t_p [°C] | dT [K] | ΔT [K] | q_m [kg/s] | Φ [W] | |
|------------|------------|--------|----------------|--------------|------------|---------|
| 85,02 | 74,99 | 10,03 | 60,02 | 0,0646 | 2744 | ± 57,1* |
| 86,08 | 73,52 | 12,56 | 59,80 | 0,0524 | 2793 | ± 58,0* |
| 85,65 | 73,87 | 11,78 | 59,72 | 0,0563 | 2818 | ± 62,7* |
| 75,09 | 65,64 | 9,45 | 50,39 | 0,0562 | 2251 | ± 42,3* |
| 75,09 | 65,09 | 10,00 | 50,07 | 0,0524 | 2215 | ± 39,7* |
| 75,01 | 65,05 | 9,96 | 50,04 | 0,0524 | 2208 | ± 39,6* |
| 55,08 | 45,01 | 10,07 | 30,03 | 0,0277 | 1178 | ± 12,0* |
| 52,44 | 47,65 | 4,79 | 30,02 | 0,0564 | 1141 | ± 25,7* |
| 52,41 | 47,33 | 5,07 | 29,88 | 0,0525 | 1125 | ± 23,6* |
| 45,03 | 35,01 | 10,02 | 20,02 | 0,0167 | 706,0 | ± 4,63* |
| 41,37 | 38,41 | 2,96 | 19,92 | 0,0524 | 654,9 | ± 14,1* |
| 30,54 | 29,39 | 1,15 | 10,01 | 0,0525 | 254,4 | ± 6,49* |
| 34,92 | 25,00 | 9,92 | 9,94 | 0,0068 | 284,3 | ± 1,52* |

* Podane wartości niepewności stanowią niepewności rozszerzone przy prawdopodobieństwie rozszerzenia ok. 95% i współczynniku rozszerzenia $k=2$. Niepewności oceniono metodą pochodnych cząstkowych.



Rys. 4.
Stanowisko nadzoru procesu badań
Fig. 4. Station for supervising the research process

Badania przeprowadzono w następujących warunkach:

– stały strumień masy (q_m) i zmienna różnica temperatury nośnika ciepła, zasilania i powrotu (dT),

– stałe dT i zmienne q_m .

Dodatkowo badano grzejnik zasilany wodą o niskiej temperaturze, poniżej 35°C, aby ocenić wpływ niewielkiej różnicy temperatury nośnika ciepła na moc cieplną grzejnika.

Wyniki badań

ETAP 1.

Wyznaczono charakterystykę cieplną według EN 442 (rys. 5.) – zależność mocy cieplnej od zmiennej ΔT – na podstawie wyników pomiaru mocy cieplnej grzejnika,

w 3 punktach pomiarowych różnicy ΔT , w komorze badawczej (tab. 1.), określoną równaniem potęgowym:

$$\Phi = 13,6327\Delta T^{1,3016} \quad (7)$$

ETAP 2.

W tym etapie badań zweryfikowano eksperymentalnie charakterystykę grzejnika opracowaną według EN442. Dane przedstawiono w tabeli 2. Przyjęto temperaturę nośnika ciepła także ok.

wyznaczonej według normy (kołowe punkty na wykresie koloru czarnego). Wyznaczono linię trendu (kwadratowe punkty na wykresie koloru szarego) mocy rzeczywistej w celu przedstawienia błędu charakterystyki modelowej (rys. 6.), określoną równaniem potęgowym:

$$\Phi = 20,69\Delta T^{1,211} \quad (9)$$

Przedział błędów przy funkcji (9) to – 7,27%÷-6,52%, a więc, z punktu widzenia

inżynierskiego, dopuszczalny. Błąd ujemny oznacza, że wyznaczona moc rzeczywista jest większa niż określona na podstawie charakterystyki – jest to błąd „bezpieczny”. Przyjęcie charakterystyki według EN 442 ze średnią logarytmiczną (funkcja 8) ustawia wyniki charakterystyki „po bezpiecznej stronie” – błąd jest w każdym przypadku ujemny. Przyjęcie średniej arytmetycznej prowadzi przy dużej różnicy temperatury nośnika ciepła do błędów ok. +29%, zatem zbyt dużego niedomiaru mocy cieplnej.

Poniżej przedstawiono charakterystykę przy średniej logarytmicznej różnicy temperatury poniżej 21 K.

Gdyby odrzucić punkt „niepasujący” do charakterystyki, zgodnie z zasadą odrzucenia wartości skrajnych, otrzymalibyśmy charakterystykę pokazaną na rys. 8, ze współczynnikiem korelacji 1. Tę charakterystykę można uznać za wzorcową przy średniej logarytmicznej różnicy temperatury poniżej 21 K i badanym typie i wielkości grzejnika. Ponadto, wartość wykładnika potęgi jest zbliżona do wartości 1.3, co odpowiada w teorii grzejnikom konwekcyjnym. Funkcja ma postać:

$$\Phi = 16,41\Delta T_{\log}^{1,299} \quad (10)$$

Wnioski

Niska temperatura i duża różnica temperatury nośnika ciepła (wody) wpływa na obniżenie mocy cieplnej grzejnika w odniesieniu do warunków określonych

Tab. 2. Weryfikacja eksperymentalna charakterystyki grzejnika opracowanej zgodnie z EN442 (według malejącej ΔT)

Table 2. Experimental verification of the radiator characteristics developed according to EN442 (according to decreasing ΔT)

| t_c [°C] | t_n [°C] | q_m [kg/s] | dT [K] | Δt_{ar} [K] | Δt_{log} [K] | Φ badane [W] | Φ funkcja (7) [W] | błąd [%] | Φ funkcja (8) [W] | błąd [%] | Φ funkcja (9) [W] | błąd [%] |
|------------|------------|--------------|--------|---------------------|----------------------|-------------------|------------------------|----------|------------------------|----------|------------------------|----------|
| 75,06 | 65,04 | 0,0524 | 10,02 | 50,05 | 49,88 | 2219,00 | 2222,62 | 0,16 | 2212,94 | -0,27 | 2354,91 | 6,12 |
| 74,95 | 54,97 | 0,0241 | 19,98 | 44,96 | 44,21 | 2037,00 | 1933,00 | -5,11 | 1891,13 | -7,16 | 2034,64 | -0,12 |
| 65,04 | 55,09 | 0,0401 | 9,95 | 40,07 | 39,86 | 1689,00 | 1663,65 | -1,50 | 1652,48 | -2,16 | 1794,68 | 6,26 |
| 74,93 | 44,93 | 0,0139 | 30,00 | 39,93 | 37,98 | 1754,00 | 1656,35 | -5,57 | 1551,59 | -11,54 | 1692,53 | -3,50 |
| 65,10 | 45,04 | 0,0177 | 20,06 | 35,07 | 34,09 | 1497,00 | 1398,88 | -6,55 | 1348,31 | -9,93 | 1485,26 | -0,78 |
| 75,07 | 35,05 | 0,0083 | 40,02 | 35,06 | 30,85 | 1398,00 | 1398,36 | 0,03 | 1183,86 | -15,32 | 1316,00 | -5,87 |
| 54,97 | 44,91 | 0,0278 | 10,06 | 29,94 | 29,66 | 1182,00 | 1138,59 | -3,67 | 1124,56 | -4,86 | 1254,56 | 6,14 |
| 65,04 | 35,06 | 0,0093 | 29,98 | 30,05 | 27,37 | 1187,00 | 1144,04 | -3,62 | 1012,86 | -14,67 | 1138,23 | -4,11 |
| 55,05 | 35,06 | 0,0115 | 19,99 | 25,06 | 23,66 | 969,30 | 902,95 | -6,85 | 838,26 | -13,52 | 954,52 | -1,52 |
| 75,05 | 25,05 | 0,0042 | 50,00 | 30,05 | 20,93 | 887,20 | 1144,04 | 28,95 | 714,45 | -19,47 | 822,67 | -7,27 |
| 55,08 | 30,03 | 0,0077 | 25,05 | 22,56 | 20,01 | 809,50 | 787,47 | -2,72 | 673,70 | -16,78 | 778,93 | -3,78 |
| 45,01 | 35,02 | 0,0171 | 9,99 | 20,02 | 19,59 | 721,20 | 674,04 | -6,54 | 655,57 | -9,10 | 759,41 | 5,30 |
| 65,03 | 24,95 | 0,0044 | 40,08 | 24,99 | 18,15 | 737,90 | 899,90 | 21,95 | 593,57 | -19,56 | 692,37 | -6,17 |
| 44,91 | 29,91 | 0,0095 | 15,00 | 17,41 | 16,27 | 604,70 | 562,15 | -7,04 | 514,87 | -14,85 | 606,56 | 0,31 |
| 55,09 | 25,04 | 0,0047 | 30,05 | 20,07 | 15,49 | 594,40 | 676,23 | 13,77 | 482,65 | -18,80 | 571,17 | -3,91 |
| 44,90 | 24,82 | 0,0052 | 20,08 | 14,86 | 12,23 | 439,40 | 457,42 | 4,10 | 354,91 | -19,23 | 429,10 | -2,34 |
| 35,03 | 27,41 | 0,0107 | 7,62 | 11,22 | 10,77 | 345,60 | 317,29 | -8,19 | 301,00 | -12,91 | 368,13 | 6,52 |
| 34,94 | 25,90 | 0,0082 | 9,04 | 10,42 | 9,73 | 313,80 | 288,17 | -8,17 | 263,58 | -16,01 | 325,36 | 3,68 |
| 35,04 | 24,96 | 0,0069 | 10,08 | 10,00 | 9,09 | 293,60 | 273,14 | -6,97 | 241,12 | -17,87 | 299,50 | 2,01 |

35°C, różnicę temperatury – na zasilaniu i powrocie – dT do 50K. Charakterystykę odniesiono do średniej arytmetycznej (norma) i średniej logarytmicznej (warunki rzeczywiste) różnicy temperatury ΔT_{LOG} szerokiego zakresu strumienia masy wody q_m (minimum przyjęto ok. 8% maksymalnego przepływu).

Funkcja (7) – według EN 442 z zastosowaniem średniej arytmetycznej,

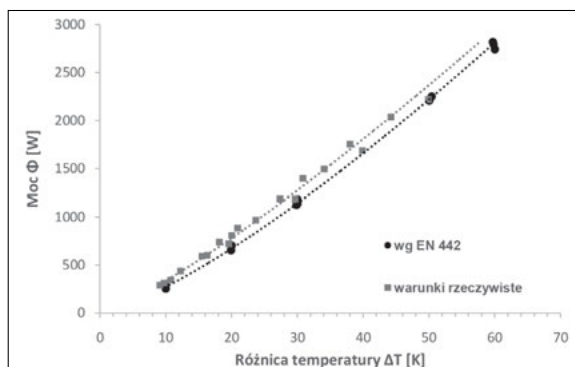
Funkcja (8) – według EN 442 z zastosowaniem średniej logarytmicznej,

$$\Phi = 13,6327\Delta T_{\log}^{1,3016} \quad (8)$$

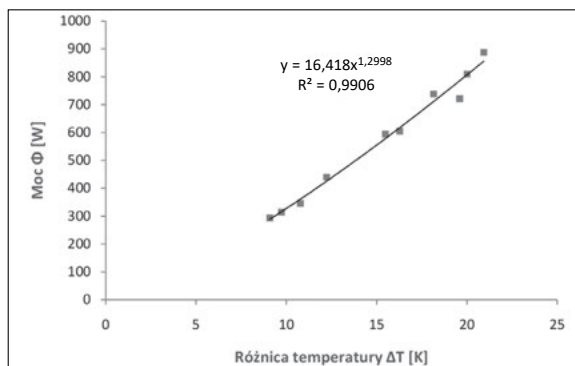
Funkcja (9) – aproksymacja wyników pomiaru z zastosowaniem średniej logarytmicznej.

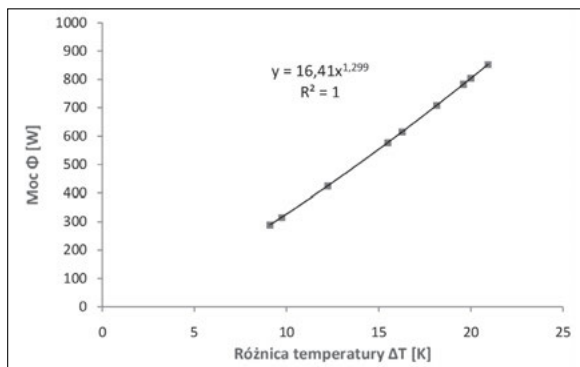
Moc cieplna zbadana w warunkach rzeczywistych w wielu punktach znacznie odbiega od wyznaczonej w warunkach modelowych, co przedstawiono w tabeli 2. Różnica (błąd) w zakresie $\Delta T_{LOG}=50-30K$ wzrasta od 0 do ok 15%, poniżej 30K sięga 20% na niekorzyść charakterystyki

Rys. 6. Błąd charakterystyki mocy cieplnej wg EN 442
Fig. 6. Error of thermal power characteristics according to EN 442



Rys. 7. Charakterystyka mocy cieplnej według badań przy $\Delta T < 21 K$
Fig. 7. Experimental thermal characteristics at $\Delta T < 21 K$





Rys. 8. Charakterystyka mocy cieplnej według badań przy $\Delta T < 21$ K po odrzuceniu punktu skrajnego

Fig. 8. Experimental thermal characteristics at $\Delta T < 21$ K after rejecting the extreme point

przez normę EN 442. Z kolei obniżenie temperatury wody zasilającej jest zabiegiem korzystnym, przyczyniającym się do zmniejszenia strat ciepła przy przesyłaniu nośnika ciepła. Ważną kwestią jest stosowanie odpowiedniej metodyki badawczej do wyznaczenia mocy cieplnej. Dane literaturowe oraz niniejszy artykuł wskazują na brak pewności w określeniu charakterystyki grzejnika przy zastosowaniu normy EN 442 – zwłaszcza przy niskiej temperaturze czynnika transportującego ciepło. Jak wykazano w artykule, wraz z obniżaniem średniej logarytmicznej różnicy temperatury pomiędzy wodą w grzejniku a otaczającym powietrzem (w przedziale od 50 do 10K), charakterystyka cieplna określona na podstawie normy zawyża wartość mocy grzejnika o ok. 29% w odniesieniu do mocy uzyskanej w warunkach rzeczywistych. Oznacza to doprowadzenie niewystarczającej mocy cieplnej do ogrzewanego pomieszczenia. Potrzebę wprowadzenia urealnionego sposobu obliczania mocy cieplnej w badaniach laboratoryjnych, z uwzględnieniem

szerokiego zakresu parametrów operacyjnych, omówiono również w pracy [9].

Norma EN 442 stosowana jest m.in. do oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych, tj. np. braku zmian w konstrukcji oraz mocy cieplnej grzejnika w warunkach modelowych. Do czasu wprowadzenia zmiany metodyki określania mocy – charakterystyki cieplnej – zwłaszcza przy uwzględnieniu niskiej temperatury medium grzewczego – jest dokumentem funkcjonującym na terenie Unii Europejskiej oraz m.in. Norwegii, Szwajcarii i Turcji oraz bezwarunkowo obowiązującym: producentów, importerów i dystrybutorów grzejników. Z „niedoskonałości” normy wynika ryzyko rozbieżności mocy rzeczywistej i „katalogowej” dobranego grzejnika. Wskazane byłoby dostosowanie normy do obecnych warunków ogrzewania niskotemperaturowego, a tymczasem stosowane jest przyjęcie przez projektantów instalacji „bezpiecznego” nadmiaru powierzchni ogrzewalnej w ogrzewaniu o temperaturze nośnika ciepła poniżej 50°C i w nietypowych stanach ogrzewania, np. przy dużej różni-

cy temperatury lub małej wartości strumienia masy nośnika ciepła. W badaniach w zakresie średniej logarytmicznej różnicy temperatury poniżej 21 K uzyskano bardzo dobrą korelację charakterystyki z wartościami mocy rzeczywistej (badanej).

BIBLIOGRAFIA

- [1] EN 442-2:2014 – Grzejniki i konwektory. Część 2: Moc cieplna i metody badań.
- [2] EN 442-1:2014 – Grzejniki i konwektory. Część 1: Wymagania i warunki techniczne.
- [3] Kwiatkowski J., Cholewa L. Centralne ogrzewanie, pomoce projektanta. Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 1980, ISBN 83-213-2996-9
- [4] <https://www.lowtemp.eu/wp-content/uploads/2022/03/Intro-Energy-Supply-Systems-and-LTDH-WPROWADZENIE-md-1.pdf>
- [5] Cenian A., Żurek T., Dzierzgowski M., Pietrzykowski B. Niskotemperaturowe Sieci Ciepłownicze 4 Generacji (SC 4G) – mapa drogowa; Nowa Energia nr 4(80)/2021; s. 30-37
- [6] Bartnicki G., Klimczak M. Koncepcja stopniowego wprowadzania założeń ciepłownictwa IV generacji do miejskich systemów ciepłowniczych; INSTAL 6/2018; s. 9-13
- [7] Sekret R. Problematyka obniżania temperatury nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej; INSTAL 2/2021; s. 13-17; DOI 10.36119/15.2021.2.2
- [8] Amrozy M., Świątecki M. Czy potrzebne są prawne środki zachęty do obniżania temperatury w sieciach ciepłowniczych; INSTAL 9/2024; s. 12-13
- [9] Dzierzgowski M. Verification and Improving the Heat Transfer Model in Radiators in the Wide Change Operating Parameters; Energies 2021, 14(20), 6543; <https://doi.org/10.3390/en14206543>
- [10] ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) NR 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylającym dyrektywę Rady 89/106/EWG

ELEKTRYCZNE AKUMULACYJNE OGRZEWANIE POMIESZCZEŃ

KRZYSZTOF T. JANUSZKIEWICZ

Przedstawione opracowanie jest pierwszym w polskim piśmiennictwie studium poświęconym temu tematowi i ma na celu wypełnienie istniejącej luki oraz właściwe przedstawienie zagadnień związanych z budową, charakterystycznymi właściwościami urządzeń, jak również projektowaniem elektrycznego ogrzewania akumulacyjnego.

Książka przeznaczona jest dla inżynierów i techników zajmujących się zagadnieniami ogrzewania oraz dla inwestorów i projektantów ogrzewania w budownictwie mieszkaniowym jedno- i wielorodzinnym, a także w pomieszczeniach przemysłowych, zabytkowych itp. Może być również wykorzystywana przez studentów wyższych szkół technicznych wydziałów elektrycznych, budownictwa i architektury.

Format B5, str. 224 Cena 20 zł (Vat 0%)



Sprzedaż prowadzi:

Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”
02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14, tel./fax (22) 843 77 71
wydawnictwo@informacjainstal.com.pl