

Nowy, rozszerzony model wymiany ciepła w grzejnikach i ocena skutków stosowania normy EN 442-2 do badań grzejników konwekcyjnych

A new extended heat transfer model in radiators and an assessment of the implications of the application of EN 442-2 to the testing of a radiators

MIECZYŚLAW DZIERZGOWSKI

DOI 10.36119/15.2024.12.5

Przeprowadzone analizy i pomiary laboratoryjne różnych typów grzejników w szerokim zakresie zmian temperatury i strumienia masy wody pozwoliły na określenie ograniczeń i ocenę obecnego modelu wymiany ciepła w grzejnikach, zgodnego z normą EN 442 [1,2]. Niedokładność wyznaczenia mocy cieplnej grzejnika, według zależności podanych w normie EN 442, w przypadku niewielkiego strumienia masy wody może osiągnąć nawet 22,3%. Przedstawiono również nowy, rozszerzony model wymiany ciepła między grzejnikiem i pomieszczeniem ogrzewanym, który z wysoką dokładnością odwzorowuje procesy wymiany ciepła w szerokim zakresie zmian parametrów eksploatacyjnych ogrzewania. W całym zakresie badań maksymalna rozbieżność wyników pomiarów i symulacji nie przekroczyła 2.5%. Osiągnięta wysoka zgodność wyników obliczeń symulacyjnych z wynikami pomiarów przy różnym typie grzejników: grzejników (z ogniwi żeliwnych, stalowych płytowych, konwektorów) w szerokim zakresie zmian strumienia masy wody i temperatury zasilania wskazuje, że „Nowy zweryfikowany rozszerzony model wymiany ciepła w grzejnikach” (NEHTMiR_{md}) może być wykorzystywany w projektowaniu oraz w obliczeniach symulacyjnych instalacji ogrzewania w celu przekształcenia ich w niskotemperaturowe, energooszczędne systemy. Model ma również zastosowanie do określania rzeczywistej efektywności temperaturowej grzejnika. Ponadto, może stanowić podstawę do koniecznej modyfikacji norm europejskich dotyczących testowania grzejników.

Słowa kluczowe: model wymiany ciepła w grzejnikach, efektywność grzejników, zmiany przepływu i temperatury zasilania

Laboratory measurements and analyses conducted in a wide range of changes of water temperature and mass flow rate for different types of radiators allowed to provide limitations and assessment of the current radiators heat transfer model according to EN 442. The inaccuracy to determinate radiator heat output, according to EN 442, in case of low water mass flow rates may achieve up to 22,3%. A revised new extended heat transfer model for radiators (NEHTMiR), which with very high accuracy describes the heat transfer processes in a wide range of changes in operating parameters (in all range max inaccuracies below 2.5%) is also presented. Achievement of the high compatibility of the results of the simulation calculations with the measurement results for different types of radiators: iron elements radiators, plate radiators, convectors in a very wide range of changes in the water mass flow rates and supply temperature indicates that a “New Verified Extended Heat Transfer Model in Radiators” can also be used in designing and simulating calculations of the central heating installations, for the rational conversion of existing installations into low temperature energy efficient systems, as well as to directly determine the actual temperature efficiency. This model may provide the basis for a necessary modification of European Standards for radiator testing.

Keywords: radiator heat transfer model, radiator efficiency, mass flow rate and temperature supply changes

Opis aktualnego stanu normalizacji i badań

Sposób, procedurę oraz metodykę badań grzejników określono ściśle w normie EN 442-2:2014 [2]. Producenci są zobowiązani do podania wartości katalogowej nominalnej mocy cieplnej uzyskanej w wyniku badań zgodnych z jej wymaganiami. Norma EN 442 obowiązuje w Unii Europejskiej oraz m.in. Norwegii, Szwajcarii i Turcji. Badania grzejników mogą być

prowadzone tylko w akredytowanych laboratoriach badawczych. Norma EN 442 obowiązuje już od 25 lat i w tym czasie nie uległa zasadniczej zmianie. Metodyka badawcza ogranicza się tylko do ściśle określonych nominalnych referencyjnych warunków laboratoryjnych, które należy dotrzymać z dużą wymaganą dokładnością.

Obecna procedura badań grzejników w skrócie przedstawia się następująco:

- Przy ustalonej temperaturze zasilania, np. $t_z=70^{\circ}\text{C}$ kształtuje się taki strumień

masy wody, aby uzyskać założoną temperaturę wody powrotnej, np. $t_p=50^{\circ}\text{C}$.

- Podczas badania średnia temperatura chłodzonych ścian jest regulowana tak, aby utrzymać stałą wzorcową temperaturę powietrza wewnątrz komory w przedziale $20,0^{\circ}\text{C}\pm 0,1\text{ K}$. Warunki te utrzymywane są przez czas trwania badania.
- Warunki stanu ustalonego stwierdza się, gdy odchylenia standardowe

wszystkich odczytów, zarejestrowane przez ostatnie co najmniej 30 minut, są mniejsze niż: $\pm 0,05$ K (temperatury wody i powietrza), oraz $\pm 0,5\%$ (strumienia masy wody).

Do tej pory nie zwrócono wystarczającej uwagi na obecne znaczne obniżenie dopuszczalnych wartości współczynnika przenikania ciepła przegród zewnętrznych i znaczące obniżenie obliczeniowego zapotrzebowania na moc cieplną pomieszczeń. Istotnemu obniżeniu uległa też nominalna projektowa temperatura wody zasilającej instalację ogrzewania. Od nowoczesnych instalacji wymaga się wysokiej efektywności energetycznej, prowadzącej do ograniczenia jej zużycia i do redukcji emisji zanieczyszczeń do środowiska.

Problem małej użyteczności i wiarygodności badań grzejników prowadzonych według wymagań obecnie obowiązującej normy EN 442 jest poruszany od wielu lat, co wskazuje na pilną potrzebę podjęcia prac nad nową standaryzacją: [7], [10], [11], [12].

Można by zapytać:

- Jaka jest użyteczność bardzo czasochłonnych badań jednego punktu nominalnej mocy cieplnej grzejnika w ściśle określonych warunkach?
- Czy średnia temperatura chłodzonych przegród komory pomiarowej musi być regulowana tak, aby utrzymać stałą, wzorcową temperaturę powietrza wewnątrz komory w przedziale $20,0^{\circ}\text{C} \pm 0,1$ K?
- Czy jest uzasadniona jedna zadana temperatura zasilania, np. $t_z = 70^{\circ}\text{C} \pm 0,05$ K?
- Czy jest uzasadnione badanie przy jednym strumieniu masy takim, aby uzyskać wymaganą temperaturę powrotu $t_p = 50^{\circ}\text{C} \pm 0,05$ K?
- Jak reagują grzejniki o znacznym stopniu ożebrowania (konwektory, grzejniki płytowe wielorzędowe) na istotną zmianę temperatury zasilania i strumienia masy wody?
- Czy można tolerować kilkunastoprocentowe czy kilkudziesięcioprocentowe rozbieżności modelu według normy EN 442 i pomiarów?
Wiadomo, że:
- Nominalna temperatura powietrza wewnętrznego może nie wystąpić przez kilka lat; jeżeli wystąpi to w czasie kilku dni, podczas gdy o rzeczywistej efektywności decydują warunki średnie w sezonie ogrzewczym.
- Nawet gdyby wszystkie instalacje centralnego ogrzewania były zaprojektowane na parametry $t_z/t_p = 70/50^{\circ}\text{C}$ oraz gdyby wystąpiły wa-

runki obliczeniowe, to i tak z uwagi na straty ciepła przewodów rozprowadzających, wszystkie grzejniki będą pracowały przy INNEJ niższej temperaturze zasilania (powszechnie w budynkach wysokich ocieplonych z przewymiarowanymi przewodami stalowymi prowadzonymi po wierzchu ścian, z przewymiarowanymi grzejnikami, zawyżonej temperaturze zasilania i wynikających z tego małymi strumieniami masy wody – różnica temperatury pomiędzy źródłem ciepła a najdalszymi grzejnikami sięga kilkunastu stopni).

- Instalacje zasilane pompami ciepła mają niską temperaturę zasilania, $45\text{--}50^{\circ}\text{C}$, co wykracza poza zakres badań normy EN 442.
- Można z blisko 100% pewnością przyjąć, że utrzymywana w czasie badań wzorcowa temperatura powietrza wewnątrz komory ($20,0^{\circ}\text{C} \pm 0,1$ K) praktycznie nie wystąpi w ogrzewanych budynkach z powodu preferencji mieszkańców oraz zysków ciepła zewnętrznych i wewnętrznych itp.
- W łazienkach obliczeniowa temperatura powietrza wynosi $t_i = +24^{\circ}\text{C}$, a grzejników w takich warunkach się nie bada.

Nie można efektywnie ograniczyć zużycia ciepła na cele ogrzewania, jeżeli nie są dostępne prawidłowe i wiarygodne dane dotyczące rzeczywistej eksploatacyjnej charakterystyki cieplnej grzejników.

Konieczność zmian obecnej normy EN 442-2 podnoszona była w 2021 roku w publikacji [7], gdzie na podstawie badań i analiz przeprowadzonych w szerokim zakresie zmian przepływu (od 20% do 350% wartości nominalnej) oraz temperatury wody zasilającej (od 45°C do 90°C) stwierdzono występowanie niedopuszczalnych rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów oraz obliczeń wykonanych na podstawie podanego i obowiązującego według normy EN 442-2 modelu wymiany ciepła, zwłaszcza w grzejnikach kon-

wekcyjnych i ożebrowanym o znacznym stopniu rozwinięcia powierzchni.

Nowy rozszerzony model wymiany ciepła w grzejnikach konwekcyjnych

Badania i analizy wykazały, że najlepszy wcześniejszy model opisu procesu wymiany ciepła w grzejnikach zaproponowany przez W. Wasilewskiego [3], [4] i R. Rabjasa [5] jest poprawny w przypadku strumienia masy wody płynącej przez grzejniki nie mniejszego niż 40% wartości nominalnej. Poniżej tej wartości przepływu wody różnice między rzeczywistą a obliczoną mocą cieplną grzejnika są nie do zaakceptowania. Rozbieżności są większe w przypadku grzejników ożebrowanych (z większą wartością ilorazu powierzchni zewnętrznej przekazującej ciepło do powietrza w pomieszczeniu do powierzchni stykającej się z wodą).

Głównym założeniem „Nowego zeryfikowanego, rozszerzonego modelu wymiany ciepła w grzejnikach” (NEHTMiR_{md}) [7] jest zmienność współczynnika przenikania ciepła grzejnika U_{rx} [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$] w zależności od strumienia masy nośnika ciepła i różnicy temperatury opisana równaniem:

$$U_{rx} = K_{M1} \cdot \Delta t_x^m \cdot q_m^{dm} \quad (1)$$

gdzie:

$K_{M1} \cdot m$ – stała grzejnika

q_m – strumień masy wody [kg/s]

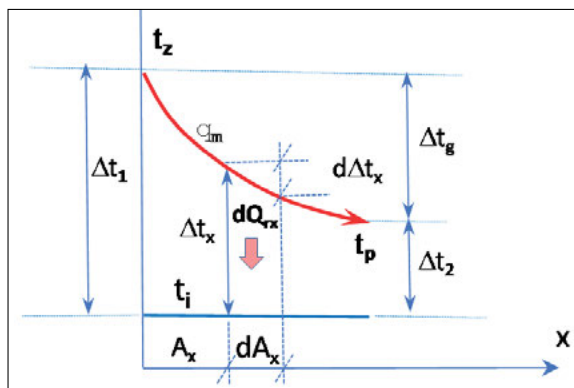
d_m – wykładnik zmienny, zależny od strumienia masy wody płynącej przez grzejnik

Strumień ciepła przekazywany przez grzejnik do powietrza w pomieszczeniu przez elementarną powierzchnię dA_x opisuje równanie (oznaczenia symboli na rysunku):

$$dQ_{rx} = U_{rx} \cdot \Delta t_x \cdot dA_x$$

Podstawiając z równania (1) wyrażenie na współczynnik przenikania ciepła, otrzymamy:

Rys.1.
Nowy model wymiany ciepła grzejnikach, NEHTMiR_{md}
Fig.1. New heat transfer model in radiators, NEHTMiR_{md}



$$dQ_{rx} = K_{M1} \cdot U_{rx} \cdot \Delta t_x^{m+1} \cdot q_m^{dm} \cdot dA_x$$

Elementarną zmianę różnicy temperatury między wodą a powietrzem wzdłuż elementu dA_x opisuje równanie:

$$d(\Delta t_x) = \frac{-dQ_{rx}}{q_m \cdot c_p}$$

Stąd otrzymamy:

$$d(\Delta t_x) = \frac{-K_{M1} \cdot \Delta t_x^{m+1} \cdot q_m^{dm} \cdot dA_x}{q_m \cdot c_p}$$

Po przekształceniu:

$$\frac{d(\Delta t_x)}{\Delta t_x^{m+1}} = \frac{-K_{M1} \cdot dA_x}{q_m^{1-dm} \cdot c_p}$$

Całkując w granicach $A_x = 0$ $Dt_x = Dt_1$ i dla $A_x = Ar$ $Dt_x = Dt_2$

$$\int_{\Delta t_1}^{\Delta t_2} \frac{d(\Delta t_x)}{\Delta t_x^{m+1}} d(\Delta t_x) = \int_0^{A_g} \frac{K_{M1} \cdot dA_x}{q_m^{1-dm} \cdot c_p} dA_x$$

otrzymamy równanie opisujące efektywność energetyczną grzejnika, iloraz mocy cieplnej przekazanej przez grzejnik w rzeczywistości do mocy cieplnej, którą przekazałby w tych warunkach **grzejnik IDE-ALNY** schładzając wodę do temperatury powietrza w pomieszczeniu

$$\frac{q_m \cdot c_p \cdot (t_z - t_p)}{q_m \cdot c_p \cdot (t_z - t_i)} = \frac{t_z - t_p}{t_z - t_i}$$

$$EF_{gdm} = \frac{t_z - t_p}{t_z - t_i} \quad (2)$$

(oznaczenia jak na rys. 1.)

w postaci:

$$EF_{gdm} = \left[1 - \left(1 + \Delta t_1^m \cdot \frac{1}{q_m^{1-dm} \cdot c_p} \cdot m \cdot K_{M1} \cdot A_g \right)^{-1} \right] \quad (3)$$

A_g – powierzchnia grzejnika, [m²]
 K_{M1} – stała grzejnika odniesiona do 1m² powierzchni wymiany ciepła (pozostałe oznaczenia na rys. 1.)

Wykładnik d_m jest zmienny, jego wartość zależy od wielkości strumienia masy wody przepływającej przez grzejnik oraz od typu grzejnika. W przypadku grzejników stalowych, płytowych, wielorzędowych ze wskaźnikiem ożebrowania do $\phi=8.0$ dobre wyniki można osiągnąć, stosując wzór (4):

$$dm = D_1 \cdot \ln(q_m) + D_2 \quad (4)$$

gdzie: D_1, D_2 stałe dla grzejnika określone na podstawie badań.

W przypadku grzejników o wyższym stopniu ożebrowania (konwektorów), zwłaszcza gdy stosowany jest wymuszony przepływ powietrza, lepszy wynik można uzyskać opisując wykładnik d_m jako funkcję potęgową w postaci wzoru (5):

$$dm = D_1 \cdot q_m^{D_2} \quad (5)$$

Zależność pozwalająca bezpośrednio określić rzeczywistą moc cieplną grzejnika w dowolnych warunkach eksploatacyjnych według Nowego zweryfikowanego, rozszerzonego modelu wymiany ciepła w grzejnikach" (NEHTMiR_{md}) ma postać:

$$Q_g = EF_{gdm} \cdot q_m \cdot c_p \cdot (t_z - t_i) \text{ [W]} \quad (6)$$

Podczas eksploatacji jest ważna rzeczywista charakterystyka cieplna zastosowanego grzejnika, opisująca, jak zmienia się moc cieplna grzejnika przy zmianie temperatury zasilania t_z , zmianie temperatury powietrza w pomieszczeniach t_i oraz przy zmianie wielkości strumienia masy wody przepływającej przez grzejnik q_m . Jest istotne, aby moc cieplna grzejnika odpowiadała rzeczywistym potrzebom cieplnym pomieszczenia. Przyjęcie grzejnika o zbyt dużej powierzchni wymiany ciepła prowadzi do znacznego obniżenia temperatury wody powrotnej i do zmiany profilu temperatury na powierzchni grzejnika. Także obecność zewnętrznych i wewnętrznych zysków ciepła powoduje zbliżenie temperatury wody powrotnej do temperatury powietrza w pomieszczeniu.

Podczas badań charakterystyki cieplnej rzeczywista efektywność energetycz-

na i moc cieplna grzejnika powinna być określana w szerokim zakresie zmian parametrów operacyjnych instalacji ogrzewania poprzez pomiar dwóch standardowych parametrów odpowiedzi grzejnika: mocy cieplnej Q_g i temperatury wody powrotnej t_p przy określonym strumieniu masy wody q_m oraz temperaturze zasilania t_z i temperaturze powietrza w pomieszczeniu t_i .

Zastosowanie nowego rozszerzonego modelu wymiany ciepła NEHTMiR_{md}

Przeprowadzone badania przedstawione w artykule [6] wykonano w szerokim zakresie zmiany parametrów: temperatura zasilania była ustalana o wartościach: 75°C, 65°C, 55°C, 35°C, a strumień masy wody przepływającej przez grzejnik zmieniał się od 0.004 kg/s (15.1 kg/h) do 0.054 kg/s (188.6 kg/h), 12.5-krotnie. Na podstawie przeprowadzonych zgodnie z obecną normą EN 442-2 badań i analiz stwierdzono występowanie zbyt dużych rozbieżności oraz konieczność zwiększenia mocy cieplnej o ok. 20% w warunkach rzeczywistej eksploatacji grzejnika w odniesieniu do charakterystyki modelowej. W artykule [6] zasugerowano konieczność stosowania nowych metod obliczeniowych, odpowiednich do niskiej temperatury nośnika ciepła, zgodnych ze współczesnym stanem wiedzy.

W niniejszym artykule wykonano obliczenia symulacyjne i na podstawie „Nowego Rozszerzonego Modelu Wymiany

Tablica 1, Porównanie wyników pomiarów i obliczeń symulacyjnych grzejnika C-22 wg modelu „NEHTMiR_{md}”

Lp.	t_z	t_p	t_i	q_m	Q_{rz}	Q_{md}	dQ_{md}	$EF_{r,md}$	$EF_{r,oc}$	dEF_r
-	°C	°C	°C	kg/s	W	W	%	-	-	%
1	34.9	25.9	20.0	0.0082	310	304	-1.9%	0.594	0.605	1.9%
2	35.0	27.41	20.0	0.0107	341	336	-1.4%	0.500	0.507	1.4%
3	35.0	24.96	20.0	0.0069	291	285	-2.2%	0.656	0.670	2.1%
4	44.9	24.82	20.0	0.0052	437	431	-1.5%	0.794	0.806	1.5%
5	44.9	29.91	20.0	0.0095	597	587	-1.7%	0.592	0.602	1.7%
6	45.0	35.02	20.0	0.0171	715	704	-1.6%	0.393	0.399	1.6%
7	55.0	44.91	20.0	0.0278	1171	1161	-0.8%	0.285	0.288	0.8%
8	55.1	35.06	20.0	0.0115	962	942	-2.1%	0.558	0.570	2.1%
9	55.1	30.03	20.0	0.0077	807	791	-2.1%	0.700	0.714	2.0%
10	55.1	25.04	20.0	0.0047	591	585	-1.1%	0.847	0.856	1.1%
11	65.0	24.95	20.0	0.0044	738	729	-1.3%	0.879	0.890	1.3%
12	65.0	55.09	20.0	0.0401	1670	1668	-0.1%	0.221	0.221	0.1%
13	65.0	35.06	20.0	0.0093	1167	1155	-1.1%	0.659	0.666	1.1%
14	65.1	45.04	20.0	0.0177	1486	1456	-2.1%	0.436	0.445	2.0%
15	74.9	44.93	20.0	0.0139	1746	1715	-1.8%	0.537	0.546	1.8%
16	75.0	54.97	20.0	0.0241	2016	1988	-1.4%	0.359	0.364	1.4%
17	75.1	25.05	20.0	0.0042	879	870	-1.0%	0.899	0.908	1.0%
18	75.1	65.04	20.0	0.0524	2198	2205	0.3%	0.183	0.182	-0.3%
19	75.1	35.05	20.0	0.0083	1390	1371	-1.4%	0.717	0.727	1.4%

Ciepła w Grzejnikach Konwekcyjnych „NEHTMiR_{md}” opracowano rzeczywistą charakterystykę eksploatacyjną grzejnika C-22, zbadanego w Laboratorium Badawczym Grzejników i Armatury Instytutu Energetyki – Państwowego Instytutu Badawczego.

Stałe dla grzejnika C-22 według modelu „NEHTMiR_{md}” przyjęto następująco: $(K_{M1} \cdot A_r) = 13,2$, $m = 0.314$, $D_1 = 0.020$, $D_2 = -0.072$

W tabelicy 1 przedstawiono porównanie wyników obliczeń symulacyjnych wg nowego modelu „NEHTMiR_{md}” z wynikami badań przeprowadzonych w Laboratorium Badawczym Grzejników i Armatury Instytutu Energetyki – Państwowego Instytutu Badawczego, które posiada akredytację AB 143 do badań mocy cieplnej grzejników, zgodnie z normą EN 442-2:2014 oraz Notyfikację Komisji Europejskiej NB 1452 [6].

Poniżej przedstawiono szczegółowe obliczenia przeprowadzone według nowego modelu „NEHTMiR_{md}” dla wybranych reprezentatywnych punktów pomiarowych.

Przykłady obliczeniowe

W trzech przykładach zilustrowano metodykę obliczeń według „NEHTMiR_{md}”, łatwych przy użyciu arkusza kalkulacyjnego.

Stałe przyjęto jak w p. 3.

$$(A_r \cdot K_M) = 13.2, m = 0.314, A_1 = 0.020, A_2 = -0.072$$

Przykład 1, pkt pomiaru 17 (duży spadek temperatury, mały strumień masy)

$$q_{mx} = 0.0042 \text{ kg/s}, t_z = 75.1^\circ\text{C}, t_i = 20.0^\circ\text{C}, D_t = 75.1 - 20.0 = 55.1 \text{ K} \\ (Q_{rz} = 879 \text{ W}, t_p = 25.1^\circ\text{C})$$

rzeczywista sprawność temperaturowa grzejnika:

$$EF_{grz} = \frac{75.1 - 25.1}{75.1 - 20.0} = 0.908$$

Obliczenie sprawności temperaturowej grzejnika:

$$dm = 0.02 \cdot \ln(1000 \cdot 0.004) - 0.072 \\ dm = -0.0435$$

$$EF_{gmd} =$$

$$= \left(1 - \left(1 + 55.1^{0.314} \cdot \frac{1}{0.00422 \cdot 4186} \cdot 0.314 \cdot 0.0042^{-0.0435} \cdot 13.2 \right)^{-\frac{1}{0.314}} \right)$$

$$EF_{rmd} = 0.899, \text{ różnica } dEF_g = 1.0 \%$$

Obliczenie mocy cieplnej grzejnika według modelu:

$$Q_r = q_{mx} \cdot c_p \cdot (t_z - t_i) \cdot EF_{gmd}$$

$$Q_r = 0.00422 \cdot 4.186 \cdot (75.1 - 20.0) \cdot 0.899 = 870 \text{ W}$$

$$t_p = 75.1 - (75.1 - 20.0) \cdot 0.899 = 25.6^\circ\text{C}$$

$$t_p = 75.1 - \frac{870}{0.00422 \cdot 4186} = 25.6^\circ\text{C}$$

$$dt_p = \frac{25.6 - 25.1}{25.1} = 2.0\%$$

Przykład 2, pkt pomiaru 18 (mały spadek temperatury, duży strumień masy)

$$q_{mx} = 0.054 \text{ kg/s}, t_z = 75.1^\circ\text{C}, t_i = 20.0^\circ\text{C}, D_t = 75.1 - 20.0 = 55.1 \text{ K} \\ (Q_{rz} = 2198 \text{ W}, t_r = 65.0^\circ\text{C})$$

rzeczywista sprawność temperaturowa grzejnika:

$$EF_{grz} = \frac{75.1 - 65.0}{75.1 - 20.0} = 0.182$$

sprawność temperaturowa grzejnika według obliczeń

$$dm = 0.02 \cdot \ln(1000 \cdot 0.054) - 0.072$$

$$dm = 0.0067$$

$$EF_{gmd} =$$

$$= \left(1 - \left(1 + 55.1^{0.314} \cdot \frac{1}{0.054 \cdot 4186} \cdot 0.314 \cdot 0.054^{-0.0067} \cdot 13.2 \right)^{-\frac{1}{0.314}} \right)$$

$$EF_{rmd} = 0.183, \text{ różnica } dEF_g = -0.3 \%$$

Obliczona moc cieplna

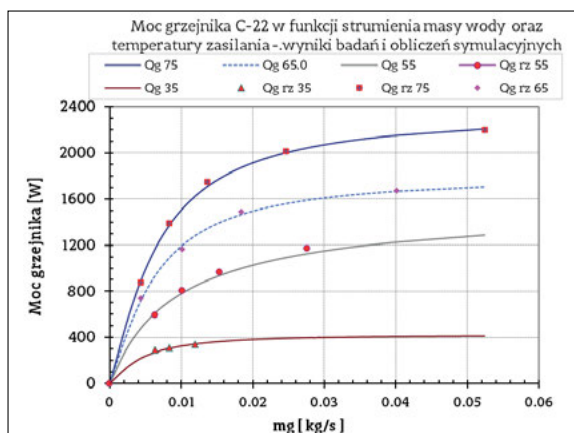
$$Q_r = q_{mx} \cdot c_p \cdot (t_z - t_i) \cdot EF_{gmd}$$

$$Q_r = 0.054 \cdot 4.186 \cdot (75.1 - 20.0) \cdot 0.183 = 2205 \text{ W c.b.d.o}$$

$$t_p = 75.1 - (75.1 - 20.0) \cdot 0.183 = 65.0^\circ\text{C}$$

Rys.2.

Zbiornicze porównanie wyników badań grzejnika C-22 i obliczeń symulacyjnych wg nowego modelu wymiany ciepła w grzejnikach „NEHTMiR_{md}”
Fig.2. Summary comparison of C-22 radiator test results and simulation calculations according to the new “NEHTMiR_{md}” radiator heat transfer model



$$t_p = 75.1 - \frac{2205}{0.054 \cdot 4186} =$$

$$= 65.0^\circ\text{C c.b.d.o}$$

$$dt_p = \frac{65.0 - 65.0}{65.0} = 0.0\%$$

Przykład 3, pkt pomiaru 2 (niska temperatura zasilania)

$$q_{mx} = 0.0107 \text{ kg/s}, t_z = 35.0^\circ\text{C}, t_i = 20.0^\circ\text{C}, D_t = 35.0 - 20.0 = 15.0 \text{ K} \\ (Q_{rz} = 341 \text{ W}, t_r = 27.4^\circ\text{C})$$

rzeczywista sprawność temperaturowa grzejnika:

$$EF_{grz} = \frac{35.0 - 27.40}{35.0 - 20.0} = 0.507$$

sprawność temperaturowa grzejnika wg obliczeń

$$dm = 0.02 \cdot \ln(1000 \cdot 0.0107) - 0.072$$

$$dm = -0.0249$$

$$EF_{gmd} =$$

$$= \left(1 - \left(1 + 15.0^{0.314} \cdot \frac{1}{0.0107 \cdot 4186} \cdot 0.314 \cdot 0.0107^{-0.0249} \cdot 13.2 \right)^{-\frac{1}{0.314}} \right)$$

$$EF_{rmd} = 0.500, \text{ różnica } dEF_g = 1.4 \%$$

Obliczona moc cieplna

$$Q_r = q_{mx} \cdot c_p \cdot (t_z - t_i) \cdot EF_{gmd}$$

$$Q_r = 0.0107 \cdot 4.186 \cdot (35.0 - 20.0) \cdot 0.500 = 336 \text{ W c.b.d.o}$$

$$t_p = 35.0 - (35.0 - 20.0) \cdot 0.500 = 27.5^\circ\text{C}$$

$$t_p = 35.0 - \frac{336}{0.0107 \cdot 4186} =$$

$$= 27.4^\circ\text{C c.b.d.o}$$

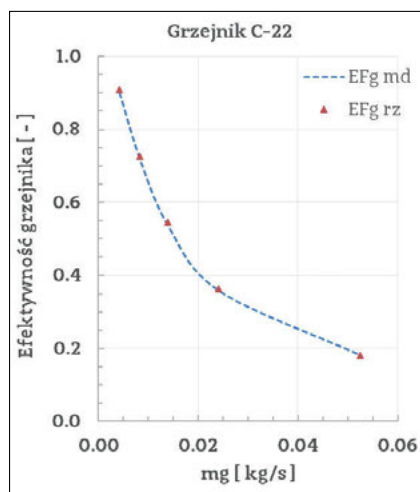
$$dt_p = \frac{27.46 - 27.5}{27.41} = 0.0\%$$

Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń i analiz, w całym zakresie zmian

temperatury zasilania od 35°C do 75°C oraz zmian strumienia masy wody przepływającej przez grzejnik od 0.004 kg/s do 0.054 kg/s rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów i obliczeń symulacyjnych wg nowego modelu wymiany ciepła w grzejnikach konwekcyjnych „NEHTMiR_{md}” nie przekraczają 2.5%.

Zbiorcze porównanie wyników badań grzejnika C-22 oraz obliczeń symulacyjnych według nowego modelu wymiany ciepła w grzejnikach „NEHTMiR_{md}” przedstawiono na rys. 2.

Przykładowy przebieg zmian zmierzonej, rzeczywistej efektywności energetycznej grzejnika C-22 oraz określonej na podstawie obliczeń symulacyjnych wg nowego modelu wymiany ciepła w grzejnikach konwekcyjnych „NEHTMiR_{md}” z cyklu pomiarowego z temperaturą zasilania t_z=75°C przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Grzejnik C-22 porównanie rzeczywistej efektywności według testów i obliczeń symulacyjnych wg „NEHTMiR_{md}” – zakres zmian przepływu od 30% do 300% mgo
Fig.3. Radiator C-22 comparison of actual efficiency according to tests and simulation calculations according to “NEHTMiR_{md}” – range of flow changes from 30% to 300% mgo

Podsumowanie i wnioski

Przedstawiony „Nowy rozszerzony zweryfikowany model wymiany ciepła w grzejnikach konwekcyjnych „NEHT-

MiR_{md}”, uwzględniający zmienność współczynnika przenikania ciepła grzejnika w zależności od wielkości strumienia masy wody przepływającej przez grzejnik i różnicy temperatury, opisuje proces wymiany ciepła w grzejnikach konwekcyjnych z bardzo dobrą dokładnością w szerokim zakresie zmian parametrów eksploatacyjnych.

W przypadku grzejników z elementów żeliwnych (bez ożebrowania) w szerokim zakresie przeprowadzonych badań i pomiarów: temperatura zasilania zmieniła się od t_z = 37,7°C do t_z = 89,8°C i strumień masy wody od 24% do 356% wartości nominalnej, maksymalna rozbieżność między zmierzoną mocą cieplną grzejnika a uzyskaną z obliczeń symulacyjnych nie przekroczyła 2,5%.

W przypadku grzejnika płytowego dwurzędowego C-22, jak wynika z przeprowadzonych obliczeń, w całym zakresie zmian temperatury zasilania od 35°C do 75°C oraz zmian strumienia masy wody przepływającej przez grzejnik od 0.004 kg/s do 0.054 kg/s rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów i obliczeń symulacyjnych wg nowego modelu wymiany ciepła w grzejnikach konwekcyjnych „NEHTMiR_{md}” także nie przekroczyły 2.5%.

Opracowany „Nowy rozszerzony zweryfikowany model wymiany ciepła w grzejnikach konwekcyjnych „NEHTMiR_{md}” ma zasadniczą wartość dla:

- oceny rzeczywistej efektywności systemu grzewczego w sezonie grzewczym,
- ustalenia odpowiednich warunków regulacji eksploatacyjnej w instalacjach centralnego ogrzewania (zwłaszcza w istniejących budynkach po ich termomodernizacji ze znacznie przewymiarowanymi grzejnikami) oraz w systemach ciepłowniczych i przewymiarowanymi wymiennikami ciepła w węzłach ciepłowniczych.

Przedstawiony materiał może stanowić podstawę do zmiany obecnej normy EN 442-2 dotyczącej zakresu i warunków badań grzejników.

BIBLIOGRAFIA

- [1] EN 442-1:2014 – Grzejniki i konwektory. Część 1: Wymagania i warunki techniczne.
- [2] EN 442-2:2014 – Grzejniki i konwektory. Część 2: Moc cieplna i metody badań.
- [3] Wasilewski W.: Średnia różnica temperatur przy zmiennej wartości współczynnika przenikania ciepła, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 1/1969 68
- [4] Wasilewski W.: Grzejniki konwekcyjne w instalacjach centralnego ogrzewania, CZSBM, Warszawa 1970
- [5] Rabiasz, Robert, and Politechnika Warszawska. Wydawnictwa. *Statyczne i Dynamiczne Własności Ciepłe Grzejników Konwekcyjnych*. Warszawa: Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 1981. Print. Prace Naukowe – Politechnika Warszawska. Budownictwo z. 76.
- [6] Młodawski M., Małek M., Klasek K.: Wpływ niskiej temperatury nośnika ciepła na modelową i rzeczywistą moc cieplną stalowego płytowego grzejnika centralnego ogrzewania, INSTAL 12/2024; s.21 - 25; DOI 10.36119/15.2024.12.4
- [7] 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>
- [8] Cenian A., Dzierzgowski M. Pietrzykowski B., “On the road to low temperature district heating”, *Journal of Physics: Conference Series* 1398 (2019) 012002, IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1398/1/012002, str 1 do 6,
- [9] Dzierzgowski M., Rabiasz R. *Badania i Analiza Czynników Wpływających Na Efektywność Wykorzystania Ciepła Dostarczonego Przez Instalację Centralnego Ogrzewania w Budynkach Ocieplonych*. Warszawa: Oficyna Wydaw. Politechniki Warszawskiej, 1999. Print. Prace Naukowe. Politechnika Warszawska. Inżynieria Środowiska Nr 31, 1999
- [10] M. Dzierzgowski i inni.: „System i kryteria jakości rozliczania kosztów ogrzewania w warunkach krajowych określone metodą analizy wielowymiarowej”, *Projekt Badawczy Nr 7 T07 G005 15*, Komitet Badań Naukowych, kwiecień 2002 rok
- [11] Gritzki et al., Can we still trust in EN 442? New Operating Definitions for Radiators – Part 1: Model Based Analysis and Results, published in REHVA Journal, August 2021-0-1
- [12] Gritzki et al., Can we still trust in EN 442? New Operating Definitions for Radiators – Part 2: Model Based Analysis and Results, published in REHVA Journal, August 2021-01:
- [13] Marchesi, R., et al.: Experimental Analysis of Radiators’ Thermal output for heat accounting, *THERMAL SCIENCE*: 2019, Vol. 23, No. 2B, pp. 989-1002, <http://www-1doiserbia-1nb-1rs-1000098ni00bf.eczyt.bg.pw.edu.pl/img/doi/0354-9836/2019/0354-98361700168M.pdf>



Kwartalnik „Budownictwo i Prawo” ukazuje się piętnasty rok i ma już ustaloną grupę odbiorców wśród: firm budowlanych, wydziałów budownictwa urzędów miejskich i starostw, biur projektowych, firm kosztorysowych i innych. Obecnie nakład czasopisma wynosi ok. 2000 egz. (w zależności od uczestnictwa w targach lub sympozjach i konferencjach, podczas których prowadzone są akcje promocyjne).

Współpracujemy z z ministerstwami odpowiedzialnymi za zagadnienia: budownictwa, infrastruktury, ochrony środowiska, energetyki, Głównym Urzędem Nadzoru Budowlanego, Urzędem Zamówień Publicznych, Instytutem Techniki Budowlanej, uczelniami oraz licznymi stowarzyszeniami z sektora budownictwa.

Autorzy z tytułu publikacji w „Budownictwo i Prawo” otrzymują 20 pkt w klasyfikacji MNIŚzW. Czasopismo jest wydawane przez Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie” oraz Oficynę Wydawniczą POLCEN i rozpowszechniane na terenie całego kraju w prenumeracie oraz w sieci sprzedawcy ww. wydawców.

Zamówienia na prenumeratę w 2024 r. w wysokości 152 zł + 8% VAT zł przyjmuje:

Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”

02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14, tel./fax: 22/843-77-71

redakcja@informacjainstal.com.pl, wydawnictwo@informacjainstal.com.pl