

Wpływ powłoki lakierniczej, jako zabezpieczenia antykorozyjnego wewnątrz wymiennika ciepła, na jego moc cieplną (na przykładzie aluminiowego grzejnika c.o.)

The influence of paint coating as anti-corrosion protection inside the heat exchanger on the thermal power (example of an aluminum central heating radiator)

MARCIN MŁODAWSKI

DOI 10.36119/15.2024.10.3

Celem badań było określenie zmian mocy cieplnych wymiennika ciepła, na przykładzie 10-członowego aluminiowego grzejnika c.o., ze względu na zastosowanie powłoki lakierniczej, jako zabezpieczenia antykorozyjnego, wewnątrz urządzenia grzewczego. Badania prowadzono w akredytowanym laboratorium AB143 na podstawie normy zharmonizowanej EN 442-2:2014. W publikacji, w skrócie, scharakteryzowano medium robocze, jakim jest woda i jej właściwości korozyjne oraz metodę badawczą. Ograniczono do minimum zagadnienia matematyczne, aby tekst był łatwo przyswajalny dla szerokiego grona osób: instalatorów, użytkowników urządzeń centralnego ogrzewania oraz producentów grzejników (wymyenników ciepła).

W publikacji nie wymieniono konkretnego modelu grzejnika c.o., ani jego producenta, jak również informacji o farbie proszkowej, skupiając się na rozpatrywanym zagadnieniu.

Słowa kluczowe: grzejnik c.o., wymiennik ciepła, lakiery proszkowe, ochrona przed korozją, moc cieplna.

The aim of the research was to determine changes in the thermal power of the heat exchanger, based on the example of a 10-section aluminum central heating radiator, due to the use of paint coating as anti-corrosion protection inside the heating device. The tests were conducted in an accredited laboratory AB143 based on the harmonized standard EN 442-2:2014. The publication briefly characterizes the working medium, which is water, its corrosive properties, and the research method. Mathematical issues were reduced to a minimum so that the text was easily digestible for a wide range of people: installers, users of central heating devices, and manufacturers of radiators (heat exchangers). The publication does not mention a specific model of a central heating radiator or its manufacturer, as well as information about powder paint, focusing on the issue under consideration.

Keywords: central heating radiator, heat exchanger, powder coatings, corrosion protection, thermal power.

Wstęp

Wymiana ciepła to ogólne pojęcie określające transport ciepła przez przewodzenie, konwekcję oraz promieniowanie i występuje w urządzeniach zwanych wymiennikami ciepła. Są to między innymi: chłodnice, nagrzewnice powietrza, aparaty przeciwprądowe typu woda/woda, w których między strumieniami masy (płynów) – oddzielonych ścianką – zachodzi wymiana ciepła [1].

Jako nagrzewnice powietrza należy traktować grzejniki c.o., które są urządzeniami grzewczymi wytwarzanymi z różnych materiałów (np. stali, aluminium, że-

liwa) o różnej konstrukcji (np. płytowe, członowe, rurowe, żebrowane) oddające ciepło na zasadzie swobodnej konwekcji i promieniowania. Są przeznaczone do przekazywania ciepła w celu zapewnienia określonych warunków temperaturowych w budynkach [2].

Urządzenia tego typu zasilane są wodą, krążącą w obiegu zamkniętym [3]. Najczęściej stosowana temperatura wody zasilającej jest mniejsza niż 100°C, a ze względu na występujące w transporcie wody straty ciepła coraz częściej mówi się o konieczności wdrażania systemów niskotemperaturowych sieci ogrzewczych. Woda, jako medium robocze, posiada

szereg właściwości i zalet, którą charakteryzują m.in.: duże rozpowszechnienie w przyrodzie, ogólna dostępność, brak palności, wysokie ciepło właściwe, niska lepkość. Niestety woda posiada również wady i należy ją traktować jako rozcieńczony roztwór różnych substancji naturalnie w niej występujących. Są to m.in.: jony chlorkowe, siarczanowe, azotanowe, wodorowęglanowe, magnezu, wapnia oraz rozpuszczone gazy: azot, tlen i dwutlenek węgla pochodzące z powietrza. Sprawia to, że woda posiada pewne właściwości powodujące korozję materiału, z którego wytworzony jest wymiennik ciepła – w tym przypadku grzejnik c.o.

Korozja to wzajemne fizykochemiczne oddziaływanie między metalem i jego otoczeniem, które doprowadza do zmian właściwości metalu i w znacznym stopniu może prowadzić do obniżenia jego funkcjonalności [1],[3].

W urządzeniach wykonanych z: – stali zwykłych (niskowęglowych) obecność tlenu rozpuszczonego w wodzie jest niezbędnym warunkiem korozji żelaza [1], [4]; – stali wysokogatunkowych (nierdzewnych) zasilanych wodą zawierającą jony chlorkowe, żelaza czy miedzi, może powodować korozję wżerową, szczelinową lub międzykryształiczną [4], [5]; – aluminium, w kontakcie z wodą zawierającą jony chlorkowe, miedzi czy żelaza inicjowana jest korozja wżerowa [4].

Innym przykładem mogą być kotły elektrodowe w systemach grzewczych, w których jako medium robocze również wykorzystywana jest woda, z tą różnicą, że dodawana jest do niej odpowiednia ilość soli w celu poprawy przewodności. W tym przypadku świadomie wytwarzane jest środowisko korozyjne [12]. Taki czynnik krążący w układzie, pomiędzy kotłem tego rodzaju, a grzejnikiem, sprawia ogromne zagrożenie występowania korozji.

To tylko nieliczne przykłady materiałów konstrukcyjnych, w których elementy wymienników ciepła są obciążone ryzykiem korozji, a przez to obniżeniem funkcji użytkowych [5], [6], [7], [8]. Aby temu zapobiec stosowane są m.in. powłoki nieorganiczne i organiczne [4]. Grzejniki stalowe, standardowo, nie posiadają takiego zabezpieczenia i w praktyce niejednokrotnie stwierdzana jest w nich obecność rdzawego osadu w wodzie z charakterystycznym zapachem „żelaza”, oraz pozostałości po procesie zgrzewania lub spawania elementów składowych grzejnika. Brak takiej ochrony, od wewnętrznej strony, spowodowany jest tym, że konstrukcja grzejników stalowych uniemożliwia przeprowadzenie takiego procesu bez zwiększenia czasochłonności i kosztów produkcji. Dodatkowo producenci deklarują stosunkowo niskie ciśnienia pracy (MOP: 6 – 10 barów, odporność na działanie ciśnienia, wg. PN-EN 442-1:2015-02, p. 5.6 wynosi odpowiednio: 10,2 – 16,9 barów) wody zasilającej, co w połączeniu z dużą wytrzymałością mechaniczną stali, powoduje trwałość takiego wyrobu.

W przypadku aluminiowych członowych grzejników c.o., ich konstrukcja wewnętrzna jest stosunkowo prosta, to głównie pionowy kanał wodny z bocznymi podpięciami i zabezpieczenie powierzchni od środka jest stosunkowo nieskomplikowane. Takie zabezpieczenie wymagane jest

m.in.: w przypadku podłączeń grzejnika do starych instalacji ogrzewczych mogących stwarzać środowisko niekorzystne dla aluminium pod względem korozji, obniżając wytrzymałość mechaniczną aluminium (dużo niższą od stali). Producenci tego rodzaju grzejników deklarują stosunkowo wysokie ciśnienia pracy (MOP: 16 – 20 barów, odporność na działanie ciśnienia, wg. PN-EN 442-1:2015-02, p. 5.6 wynosi odpowiednio: 27 – 33,8 barów). Należy zaznaczyć, że wg. PN-EN 442-1:2015-02, p. 4.2.1 do 4.2.4, wymagane grubości ścianek mokrych (mających kontakt z wodą), dla stalowych i aluminiowych grzejników, są podobne.

Koncepcja pomalowania grzejnika aluminiowego od środka powstała w wyniku obserwacji rzeczywistych grzejników c.o., które są badane w naszym laboratorium. Obecnie stosowane zabezpieczenia antykorozyjne posiadają pewne ograniczenia, które postanowiono wyeliminować stosując innego rodzaju powłokę antykorozyjną.

Zastosowanie powłoki malarskiej jako wewnętrznego zabezpieczenia antykorozyjnego w wymienniku ciepła, w tym przypadku aluminiowego grzejnika c.o. (fot. 1), nasuwa pytanie, jaki jest jej wpływ na moc cieplną urządzenia?

Przygotowanie próbek do badań

Ze względu na stosowane temperatury, użytkowania grzejników c.o., do ok. 90°C i konieczność zapewnienia jednolitej trwałej powłoki bez ryzyka odpadnięcia jej kawałka, który mógłby uszkodzić instalację badawczą, zdecydowano zastosować technikę malowania elektrostatycznego. W metodzie tej wykorzystuje się dużą różnicę potencjałów, rzędu kilkudziesięciu kV, pomiędzy rozpylaną farbą, a malowaną powierzchnią, co gwarantuje dokładne jej pokrycie. Następnie w piecu, w temperaturze ok. 200°C, prowadzony jest proces utwardzania powłoki gwarantujący uzyskanie odpowiedniego stanu powierzchni.

Ze względu na stosunkowo dobry dostęp do kanału wodnego wewnątrz grzejnika aluminiowego członowego, zdecydowano użyć do badań standardowego modelu grzejnika aluminiowego 10-członowego. Wykorzystano 3 sztuki tego samego modelu. Grzejnik nr 1 – jako odniesienie mocy cieplnych – nie był modyfikowany przez nałożenie farby. Grzejniki 2 i 3 rozkręcono do pojedynczych członów i pomalowano wewnątrz przez przyłożenie końcówki pistoletu proszkowego do naby grzejnika. Następnie, po utwardzeniu farby, oczyszczono połącze-

Fot. 1.
Aluminiowy grzejnik c.o.
Photo 1. Aluminium central heating radiator



Fot. 2.
Wnętrze grzejnika 2
Photo 2. Inside of the radiator 2



Fot. 3.
Wnętrze grzejnika 3
Photo 3. Inside of the radiator 3



nia gwintowane, człony ze sobą skręcono do postaci pierwotnej i sprawdzono szczelność hydrauliczną.

Metodyka badawcza

Moc cieplna grzejników c.o. określana jest na podstawie zharmonizowanej normy EN 442. Laboratorium Badawcze Grzejników i Armatury Instytutu Energetyki – Państwowego Instytutu Badawczego, posiada niezbędną infrastrukturę oraz akredytację AB 143 do badań mocy cieplnych grzejników c.o. zgodnie z normą EN 442 oraz Notyfikację Komisji Europejskiej NB 1452. W badaniach jako medium robocze stosowana jest woda wodociągowa, bez żadnych dodatków uszlachetniających.

Badany grzejnik c.o. umieszczany jest wewnątrz zamkniętej metalowej (izolowanej termicznie) komory badawczej o wymiarach 4 x 4 x 3 m (pow. 16 m² i kubatura 48 m³), równoległe do ściany tylnej i symetrycznie do jej linii środkowej. Odległość pomiędzy tylną ścianą komory, a tyłem grzejnika wynosi (0,050 ± 0,002) m, odległość między podłogą, a dół grzejnika wynosi (0,110 ± 0,005) m. Dopływ wody podłączony jest na górze grzejnika, a odpływ na dole. Ściany komory badawczej chłodzone są wodą (system chłodzenia wewnątrz ścian), celem utrzymania założonych warunków termicznych wewnątrz komory, niezależnych od zewnętrznego otoczenia.

Podczas badania średnia temperatura chłodzonych ścian jest regulowana tak, aby utrzymać wzorcową temperaturę powietrza tr, wewnątrz komory, w zakresie 20,0 ± 0,1°C i spełnić warunki stanu ustalonego (stabilizacji termicznej). Warunki te utrzymywane są przez czas trwania właściwego badania. Warunki stanu ustalonego

zachodzą wtedy, gdy standardowe odchylenia dla wszystkich odczytów zarejestrowane przez ostatnie co najmniej 30 minut, są mniejsze, niż: $\pm 0,05$ K (dla temperatury wody i powietrza), oraz $\pm 0,5\%$ (dla natężenia przepływu wody).

Temperatury wody mierzone są bezpośrednio w punktach podłączenia instalacji hydraulicznej do badanego grzejnika.

Moc cieplna grzejnika jest wyznaczana metodą wagową przez pomiar masowego natężenia przepływu wody oraz pomiar temperatur t_1 i t_2 , dla których wyznaczane są entalpie wody h_1 i h_2 . Moc cieplną grzejnika opisuje równanie (1):

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

gdzie:

- q_m – masowe natężenie przepływu,
- h_1 – entalpia wody dopływającej do grzejnika,
- h_2 – entalpia wody wyptywającej z grzejnika.

Moc cieplna grzejnika wyznaczana jest w trzech punktach pomiarowych, w warunkach stanu ustalonego, dla kolejnych średnich różnic temperatur, $\Delta T = (50 \pm 2,5)$ K, $(60 \pm 2,5)$ K i $(30 \pm 2,5)$ K, – równanie (2)

$$\Delta T = \frac{t_1 - t_2}{2} - t_r, [K] \quad (2)$$

gdzie:

- t_1 – temperatura wody zasilającej grzejnik,
- t_2 – temperatura wody wyptywającej z grzejnika,
- t_r – temperatura powietrza w komorze badawczej.

Na podstawie uzyskanych mocy w poszczególnych ΔT wyznaczane jest równanie charakterystyki cieplnej, określone równaniem (3):

$$\dot{Q} = K_m \cdot \Delta T^n, [W] \quad (3)$$

gdzie:

- \dot{Q} – moc cieplna grzejnika w ΔT ,
- K_m – stała dla danego modelu grzejnika (z badań cieplnych),
- n – wykładnik potęgowy równania charakterystyki cieplnej (z badań cieplnych),
- ΔT – różnica pomiędzy średnią temperaturą w grzejniku, a temperaturą powietrza wewnątrz komory.

Wyniki badań

Badaniom cieplnym poddano trzy standardowe grzejniki c.o. aluminiowe 10-członowe tego samego modelu, przy czym pierwszy grzejnik – jako odniesienie

Tabela. 1. Porównanie mocy cieplnych grzejników i ich różnic w odniesieniu do grzejnika niemalowanego nr 1, w ΔT 50K

Table. 1. Comparison of the thermal powers of radiators and their differences in relation to the unpainted radiator No. 1, in ΔT 50K

Badany grzejnik	Równanie charakterystyki cieplnej: $\dot{Q} = K_m \cdot \Delta T^n$			Zmiana [W]	Zmiana [%]
	K_m	n	Moc Φ_{50° [W]		
1	5,3101	1,2977	850,86 \pm 5,88*	0	0
2	5,6504	1,2816	850,04 \pm 5,89*	-0,81	-0,10
3	5,2789	1,2997	852,66 \pm 5,79*	1,80	0,21

Tabela. 2. Porównanie mocy cieplnych grzejników i ich różnic w odniesieniu do grzejnika niemalowanego nr 1, w ΔT 60K

Table. 2. Comparison of the thermal powers of radiators and their differences in relation to the unpainted radiator No. 1, in ΔT 60K

Badany grzejnik	Równanie charakterystyki cieplnej: $\dot{Q} = K_m \cdot \Delta T^n$			Zmiana [W]	Zmiana [%]
	K_m	n	Moc Φ_{60° [W]		
1	5,3101	1,2977	1077,98 \pm 6,81*	0	0
2	5,6504	1,2816	1073,78 \pm 6,87*	-4,19	-0,39
3	5,2789	1,2997	1080,66 \pm 6,79*	2,69	0,25

Tabela. 3. Porównanie mocy cieplnych grzejników i ich różnic w odniesieniu do grzejnika niemalowanego nr 1, w ΔT 30K

Badany grzejnik	Równanie charakterystyki cieplnej: $\dot{Q} = K_m \cdot \Delta T^n$			Zmiana [W]	Zmiana [%]
	K_m	n	Moc Φ_{30° [W]		
1	5,3101	1,2977	438,49 \pm 4,84*	0	0
2	5,6504	1,2816	441,70 \pm 4,89*	3,20	0,73
3	5,2789	1,2997	438,96 \pm 4,85*	0,47	0,11

mocy cieplnej – nie został wewnątrz pokryty powłoką lakierniczą, natomiast drugi i trzeci pokryto wewnątrz odpowiednio: białym i czarnym lakierem.

Uzyskane w badaniach moce cieplne zestawiono w tabelach 1-3 poniżej, a różnice zmierzonych parametrów przedstawiają się następująco:

- dla ΔT 50: największą różnicę mocy, względem grzejnika niemalowanego (nr 1), uzyskał grzejnik (nr 3) malowany wewnątrz na czarno: 1,8 [W]. Jest to wartość praktycznie pomijalna ze względu na niepewność pomiaru wynoszącą ok. 5,8 [W]. Wartość procentowej różnicy mocy to: 0,21 [%], tabela 1.

Porównując ze sobą grzejniki malowane w środku, różnica w mocy osiąga wartość 2,62 [W], przy wartości niepewności pomiaru ok. 5,8 [W], różnica ta jest praktycznie pomijalna. Wartość procentowej różnicy mocy to: 0,31 [%], tabela 4.

- dla ΔT 60: największą różnicę mocy, względem grzejnika niemalowanego (nr 1), uzyskał grzejnik (nr 2) malowany wewnątrz na biało: - 4,19 [W]. Jest to wartość praktycznie pomijalna ze względu na niepewność pomiaru wynoszącą ok. 6,9 [W]. Wartość procentowej różnicy mocy to: - 0,39 [%], tabela 2.

Porównując ze sobą grzejniki malowane wewnątrz, różnica w mocy osiąga wartość 6,88 [W], przy wartości niepewności pomiaru ok. 6,8 [W], różnica jest praktycznie pomijalna – na granicy nie-

Tabela. 4. Porównanie mocy cieplnych i ich różnic w odniesieniu do grzejników malowanych w ΔT 50K

Table. 4. Comparison of thermal powers and their differences in relation to radiators painted in ΔT 50K

Badany grzejnik	Moc Φ_{50° [W]	Zmiana [W]	Zmiana [%]
2	850,04 \pm 5,89*	0	0
3	852,66 \pm 5,79*	2,62	0,31

Tabela. 5. Porównanie mocy cieplnych i ich różnic w odniesieniu do grzejników malowanych w ΔT 60K

Table. 5. Comparison of thermal powers and their differences in relation to radiators painted in ΔT 60K

Badany grzejnik	Moc Φ_{60° [W]	Zmiana [W]	Zmiana [%]
2	1073,78 \pm 6,87*	0	0
3	1080,66 \pm 6,79*	6,88	0,64

pełności pomiaru. Wartość procentowej różnicy mocy to: 0,64 [%], tabela 5.

- dla ΔT 30: największą różnicę mocy, względem grzejnika niemalowanego (nr 1), uzyskał grzejnik (nr 2) malowany wewnątrz na biało: 3,2 [W]. Jest to wartość praktycznie pomijalna ze względu na niepewność pomiaru wynoszącą ok. 4,9 [W]. Wartość procentowej różnicy mocy to: 0,73 [%], tabela 3.

Porównując ze sobą grzejniki malowane w środku, różnica w mocy osiąga wartość -2,74 [W], przy wartości niepewności pomiaru ok. 4,9 [W], różnica jest praktycznie pomijalna – na granicy niepewności pomiaru. Wartość procentowej różnicy mocy to: -0,62 [%], tabela 6.

Dla wszystkich zestawionych mocy cieplnych, wartość procentowa ich różnicy nie przekracza 1%.

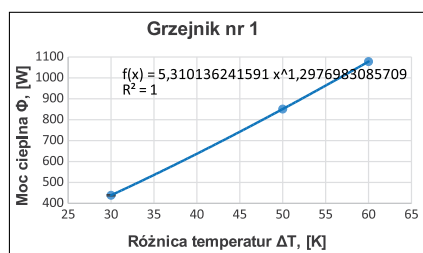
Tabela. 6. Porównanie mocy cieplnych i ich różnicy w odniesieniu do grzejników malowanych w ΔT 30K

Table. 6. Comparison of thermal powers and their differences in relation to radiators painted in ΔT 30K

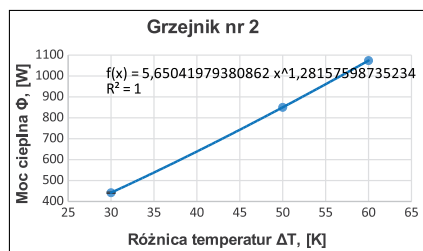
Badany grzejnik	Moc Φ_{30} [W]	Zmiana [W]	Zmiana [%]
2	441,70 ± 4,89*	0	0
3	438,96 ± 4,85*	-2,74	-0,62

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

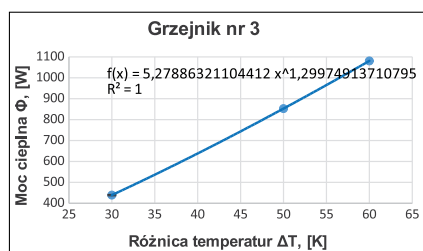
Na rysunkach 1,2,3, przedstawiono charakterystyki cieplne, z równaniami charakterystycznymi, zbadanych grzejników.



Rys. 1. Charakterystyka mocy cieplnych grzejnika nr 1
Fig. 1. Characteristics of thermal power of radiator no. 1



Rys. 2. Charakterystyka mocy cieplnych grzejnika nr 2
Fig. 2. Characteristics of thermal power of radiator no. 2



Rys. 3. Charakterystyka mocy cieplnych grzejnika nr 3
Fig. 3. Characteristics of thermal power of radiator no. 3

Zdecydowano przedstawić 3 rysunki charakterystyk cieplnych, dla każdego grzejnika z osobna. Przebiegi krzywych na

wykresach są bardzo podobne i nałożenie ich na jeden wykres powodowałoby przedstawienie ich w postaci jednej krzywej.

Podsumowanie

Powłoki malarskie, na bazie farb proszkowych, nakładane i utwardzane w odpowiednich warunkach, od lat potwierdzają skuteczność w ochronie przed korozją. Innym aspektem pozostawał wpływ takiej powłoki na przenoszenie ciepła. Wyniki uzyskane w badaniach laboratoryjnych jednoznacznie wskazują na brak negatywnych skutków, w postaci obniżenia mocy cieplnej analizowanego grzejnika c.o., potwierdzając tym samym przydatność tego typu powłok.

W czasie badań farba miała zbyt krótki kontakt z wodą, w zakresie temperatur 45 – 90°C, aby jednoznacznie stwierdzić trwałość tego typu zabezpieczenia (sprawdzenie trwałości powłoki lakierniczej nie było przedmiotem badań) w dłuższym okresie.

Ostatnie doniesienia o otrzymaniu niskotemperaturowych poliuretanowych powłok proszkowych na bazie termoutwardzalnej żywicy akrylowej modyfikowanej tlenkiem grafenu (GO), utwardzanych w temperaturze ok. 160°C, a nawet ok. 140°C powodują, że tworzą się ogromne możliwości zastosowania, ze względu na niższe koszty utwardzania, w szeroko pojętych urządzeniach do wymiany ciepła, w tym aluminiowych grzejników c.o. jako ich zabezpieczenie przeciw korozji [9], [10], [11]. Oczywista staje się konieczność zweryfikowania trwałości takiego zabezpieczenia w dłuższym kontakcie z wodą, roztworami soli, lub innymi płynami, w zakresie dużo wyższych temperatur, pod kątem wpływu tego rodzaju powłok na moc cieplną urządzeń do wymiany ciepła.

Wnioski wynikające z pracy:

1. Jak wykazano w badaniach, zastosowanie powłoki lakierniczej wewnątrz grzejnika aluminiowego (wymiennika ciepła) nieznacznie wpływa na jego moc cieplną, jej zmiana jest minimalna i wynosi poniżej 1% (w granicach błęd pomiarowego) w przedziale temperatur 45 – 90 °C.
2. W badaniach nie uwzględniano grubości i rodzaju materiału (składu) powłoki lakierniczej. Grzejniki tego typu w produkcji seryjnej przechodzą kąpiele zabezpieczające przed korozją, a nowa powłoka naniesiona została na już istniejącą warstwę zabezpieczającą.
3. Zastosowanie dwóch kolorów lakieru (ze względu na różne grupy aukso-

chromowe i chromoforowe w składzie farb), w celu weryfikacji ich zdolności absorpcji promieniowania cieplnego z wody zasilającej, nie wykazało wpływu na przekazywaną moc cieplną z zakresie w/w temperatur.

4. Powłoka lakiernicza zastosowana w badaniu, spełniła swoją rolę i nie uległa degradacji w temperaturze ok. 90°C w kontakcie z wodą w czasie ok. 3 godzin.
5. W celu ułatwienia doboru powłok ochronnych, wewnątrz grzejników aluminiowych, chroniących przed korozją w środowisku wodnym, ich producenci powinni informować o odporności i trwałości tego typu zabezpieczeń w szerokim zakresie temperatur i dłuższym kontakcie z wodą.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Recknagel, Sprenger, Schramek; Kompendium wiedzy Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo; OMNI SCALA Wrocław 2008; 08/09; ISBN 978-83-926833-6-0
- [2] EN 442-2:2014 – Grzejniki i konwektory. Część 2: Moc cieplna i metody badań.
- [3] Andrzejewski . Gospodarka cieplna cz. II; Wydawnictwa szkolne i pedagogiczne; Warszawa 1979; ISBN 83-02-00216-X
- [4] Herbert H. Uhlig; Korozja i jej zapobieganie; Wydawnictwa Naukowo-Techniczne; Warszawa 1976
- [5] Marjanowski J.: Przeciaki i osady w wymiennikach ciepła ze stali odpornej na korozję w ciepłownictwie. Zasady doboru kąpiei chemicznych do usuwania osadów z wymienników ciepła. Część 1. Instal 9/2018; s. 26-30
- [6] Marjanowski J.: Korozja szczelinowa rurociągu i płaszczu ze stali nierdzewnej przy przyspawanych elementach dystansowych. Studium przypadku; Instal 05/2022; s. 15-18; DOI: 10.36119/15.2022.5.3
- [7] Marjanowski J.: Osady i korozja w kotłach parowych. Wymagania co do jakości wody zasilającej i kotłowej, Instal 9/2020; s. 21-24; DOI: 10.36119/15.2020.9.3
- [8] DĄBROWSKI W., McGARITY A. E.: Praktyczne aspekty elektrochemicznej korozji przewodów transportujących wodę do picia. Instal 01/2021; s. 32-34; DOI: 10.36119/15.2021.1.2
- [9] Pojnar K., Pilch-Pitera B., Roś N., Florczak Ł.: Właściwości ochronne niskotemperaturowych lakierów proszkowych modyfikowanych tlenkiem grafenu. Ochrona Przed Korozją; nr 2, 2024; s. 30-39; DOI:10.15199/40.2024.2.1
- [10] <https://nowiny24.pl/absolwentka-wydzialu-chemicznego-politechniki-rzeszowskiej-wygral-a-ogolnopolski-konkurs-na-najlepsza-pracemagisterska/or/c5-18637345>
- [11] <https://www.lakiernictwo.net/artykuly/nisko-temperaturowe-farby-proszkowe,5044>
- [12] <https://pl.galanshop.eu/>