

BADANIE INDUKCYJNEGO PODGRZEWACZA WODY UŻYTKOWEJ

Streszczenie

W artykule przedstawiono dwa systemy grzewcze do otrzymywania ciepłej wody użytkowej (C.W.U.). Omówiono podstawowe problemy wynikające z podgrzewania wody w zamkniętych zbiornikach. Przedstawiono dwa stanowiska badawcze i omówiono sposób przeprowadzonych badań. W dalszej części porównano system grzewczy konwencjonalny bazujący na grzałce elektrycznej z prototypem indukcyjnego podgrzewacza wody oraz przedstawiono wyniki w postaci wykresu i tabeli porównawczej. Wyznaczono także sprawność podgrzewacza indukcyjnego w porównaniu do grzałki elektrycznej.

WSTĘP

W zbiornikach zamkniętych do podgrzewania wody przy wykorzystaniu energii elektrycznej przeważnie stosuje się grzałki elektryczne zbudowane z materiału oporowego, odizolowanego od ogrzewanej wody. Niewątpliwą zaletą grzałek elektrycznych jest niemal 100% sprawność związana z zamienianiem energii elektrycznej w energię termiczną, oraz brak wprowadzanych zakłóceń do sieci elektrycznej z uwagi na brak elementów pojemnościowych i indukcyjnych, a także niski koszt wytworzenia.

Pomimo wielu zalet, tego rodzaju elementy grzewcze posiadają jednak pewne wady, związane z osadzaniem się zanieczyszczeń (kamień) na powierzchni grzałek. Powoduje to zmniejszenie współczynnika przewodnictwa ciepła na granicy materiał oporowy – ośrodek ogrzewany. W konsekwencji, na skutek niedostatecznego odbioru ciepła z grzałki wzrasta temperatura wewnętrzna co może spowodować uszkodzenie elementu oporowego i zniszczenie grzałki. Osadzające się zanieczyszczenia na powierzchni powodują spadek sprawności grzałki elektrycznej. Aby temu zapobiec producenci montują w zbiornikach wodnych m.in. anody magnezowe, których rolą jest ograniczanie osadzania się kamienia w zbiorniku wodnym oraz na grzałkach elektrycznych. Rozwiązanie to jest tymczasowe, ponieważ w trakcie eksploatacji anoda magnezowa zużywa się korodując, przez co konieczne jest monitorowanie jest stanu i wymiana po zużyciu na nową, choć w praktyce to ostatnio jest rzadko realizowane [1,2].

Inną metodą pozyskiwania ciepłej wody użytkowej przy użyciu energii elektrycznej jest wykorzystanie zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Istnieje wiele rozwiązań pozwalających na realizację tego zadania.

Najprostszą metodą jest bezpośrednie oddziaływanie zmiennego pola elektromagnetycznego na zbiornik wodny, który jest wykonany z materiału ferromagnetycznego. W materiale tym wydzielane jest wówczas ciepło na skutek zjawiska histerezy magnetycznej oraz w wyniku działania prądów wirowych. W tym przypadku ciepło może być generowane bezpośrednio w materiale, który otacza wodę, podgrzewając ją tym samym. Większy nakład poniesionych kosztów, może być zrekompensowany trwałością i dłuższym działaniem urządzenia grzewczego. Na skutek grzania indukcyjnego w miejscu wydzielanego ciepła nie obserwuje się również powstawanie kamienia kotłowego, co bezpośrednio przyczynia się to utrzymania sprawności urządzenia na niezmiennym poziomie [5].

1. PODGRZEWACZE Z GRZĄLKĄ ELEKTRYCZNĄ

Wykorzystanie grzałki elektrycznej do otrzymywania ciepłej wody użytkowej jest bardzo popularne w naszym kraju. W asortymencie pojemnościowych podgrzewaczy wody, można znaleźć szereg produktów, będących w stanie zadowolić niemal każde oczekiwania. Niemniej używanie grzałek elektrycznych jako źródła ciepła nastrocza pewnych problemów.

Jednym z nich jest powstawanie kamienia kotłowego na powierzchni grzałki (Rys. 1.) co przyczynia się do zmniejszenia jej efektywności grzania, a w skrajnych przypadkach prowadzi do jej uszkodzenia, na skutek niedostatecznego odbierania ciepła.



Rys. 1 Kamień kotłowy na powierzchni grzałki elektrycznej [1]

Zbiorniki wodne wykonuje się często ze stali czarnej, która w kontakcie z wodą, szybko ulega korozji elektrochemicznej. Aby je zabezpieczyć producenci stosują dwie metody: bierną i czynną. Bierna metoda polega na tym, że zbiornik pokrywany jest od wewnątrz emalią ceramiczną, która ogranicza kontakt stali z wodą. Jednak w trakcie eksploatacji, często na skutek niedoskonałości pokrycia emalią wszystkich zakamarków wewnątrz zbiornika, czy problemów związanych z procesem technologicznym wytworzenia warstwy ceramicznej, w trakcie eksploatacji dochodzi do uszkodzenia, czy mikropęknięć. Ochrona czynna polega natomiast na użyciu w zbiorniku anody (materiału o niższym potencjale elektrochemicznym) (Rys. 2.). Najczęściej jako materiał na anodę, wybierany jest magnez, który połączony z płaszczem wodnym zbiornika koroduje jako pierwszy, chroniąc tym samym zbiornik i grzałkę elektryczną przed korozją [2].

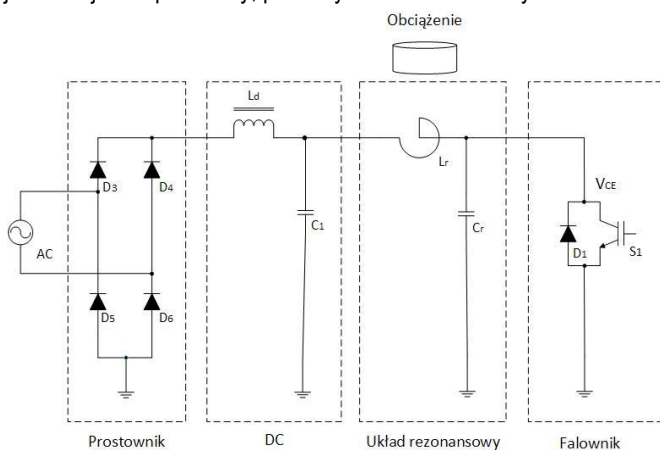


Rys. 2 Anoda magnezowa pokryta kamieniem kotłowym [opracowanie własne]

2. INDUKCYJNE PODGRZEWACZE WODY

Zasada działania indukcyjnych podgrzewaczy wody użytkowej, jest identyczna jak w przypadku kuchni indukcyjnych.

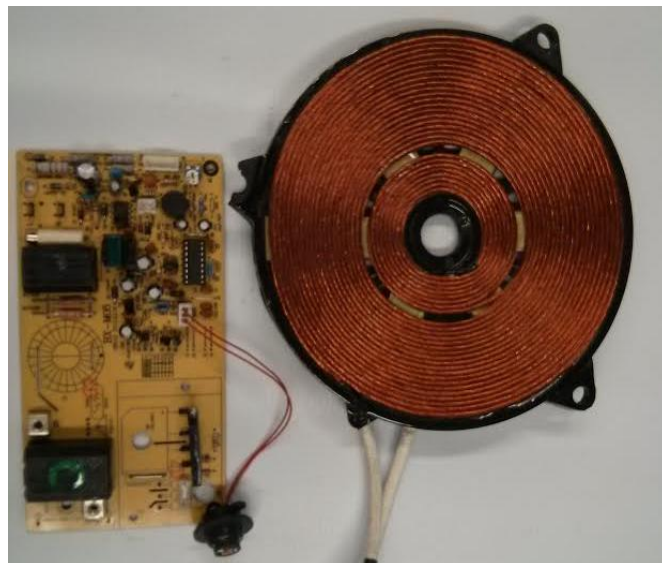
Dużą popularnością cieszą się układy quasi-rezonansowe (Rys. 3) wykorzystujące tylko jeden tranzystor, dzięki czemu układ jest mniej skomplikowany, prostszy w serwisie i tańszy.



Rys. 3. Układ quasi-rezonansowy [3]

Układy takie stosowane są m.in. w indukcyjnych kuchenkach jednopolowych, gdzie uzwojenie przekazujące energię ma postać spiralnej płaskiej cewki. Podzespoły jednopolowej kucharki indukcyjnej zostały pokazane na rys. 4. W tym układzie energia przekazywana jest do ferromagnetycznego dna naczynia podgrzewanego. Aby strumień magnetyczny od uzwojenia nie przenikał układu elektronicznego umieszczonego pod cewką, zakrzywia się go poprzez stosowanie wkładek ferromagnetycznych umocowanych pod uzwo-

jeniem spiralnym. Moc urządzenia jest regulowana poprzez mikrokontroler.



Rys. 4. Podzespoły jednopolowej kucharki indukcyjnej [opracowanie własne]

3. BADANIE PORÓWNAWCZE DWÓCH SYSTEMÓW GRZEWczyCH

Przebadano dwa systemy grzewcze. Pierwszy konwencjonalny z grzałką elektryczną i drugi indukcyjny system grzewczy. Badania były przeprowadzone na zbiorniku wodnym, który wyposażono jednocześnie w oba systemy grzewcze. Z uwagi na różne umieszczenie elementów grzewczych w przypadku systemu konwencjonalnego i systemu indukcyjnego, woda w zbiorniku wodnym podczas badań była mieszana przez pompę cyrkulacyjną, tak aby w całej swojej objętości posiadała jednakową temperaturę. Proces mieszania wody był niezbędny z uwagi na fakt niejednorodnego rozkładu temperatury w zbiorniku, w którym proces mieszania nie występuje. Badanie zostało wykonane na zbiorniku wodnym firmy KOSPEL S.A. typ OSV Slim o pojemności 50l. Rzeczywista objętość wody w zbiorniku wodnym podczas badań wyniosła 48,5l.

3.1. Badanie z wykorzystaniem grzałki elektrycznej

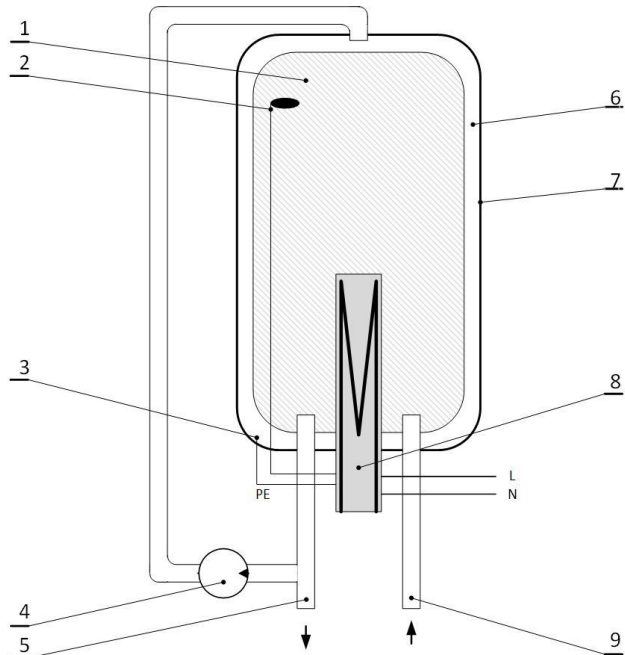
Do badania wykorzystano grzałkę elektryczną SELFA 40.891 o mocy nominalnej 2000W (Rys. 5).



Rys. 5. Grzałka elektryczna SELFA 40.891 o mocy 2000W [4]

Na rys 6. przedstawiono budowę zbiornika wodnego wyposażonego w grzałkę elektryczną (8) zasilaną z sieci jednofazowej. Czujnik temperatury (2) umieszczono wewnątrz zbiornika w bezpośrednim kontakcie z ogrzewaną wodą (1). Mieszanie wody było możliwe dzięki pompie cyrkulacyjnej (4) umieszczonej na wylocie ciepłej wody (5). Wlot zimnej wody (9) na czas badania był zablokowany. Zbiornik na powierzchni bocznej był izolowany termicznie poprzez warstwę styropianu (6). Obudowa zewnętrzna zbiornika (7)

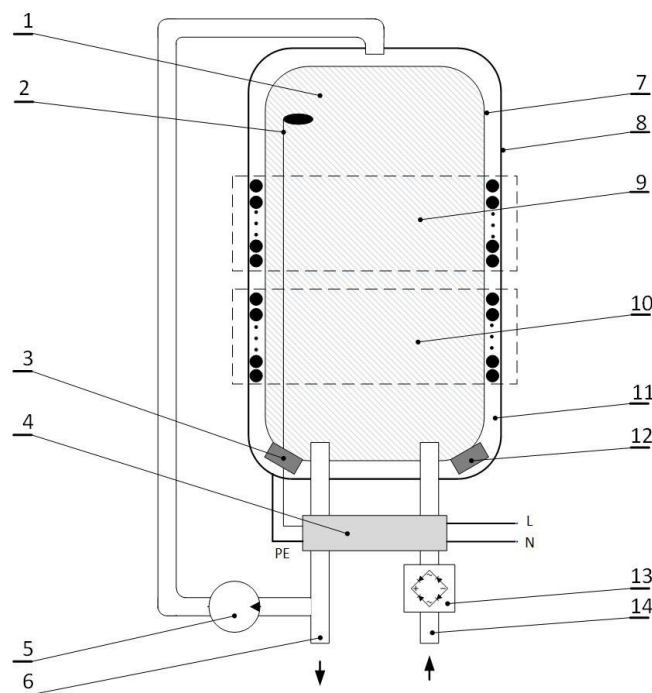
została wykonana z blachy aluminiowej, którą połączono przewodem z PE (3).



Rys. 6. Podgrzewacz wody z grzałką elektryczną [opracowanie własne]

3.2. Badanie z wykorzystaniem indukcyjnego systemu grzewczego

Konstrukcję prototypowego indukcyjnego podgrzewacza wody przedstawiono na rys. 7. Indukcyjny podgrzewacz wody, został zaprojektowany na moc 2kW i składa się z układu elektronicznego (4) oraz uzwojeń indukcyjnych (9,10) przekazujących energię do zbiornika wodnego (7). Woda (1) w zbiorniku wodnym (7) jest ogrzewana bezpośrednio poprzez metalowe ferromagnetyczne ścianki zbiornika. Zbiornik na powierzchni bocznej jest izolowany termicznie warstwą styropianu (11), a jego zewnętrzna osłona (8) jest wykonana z aluminium, ponieważ obudowa ferromagnetyczna, z uwagi na dużą przenikalność magnetyczną, nagrzewała się w trakcie testów do niebezpiecznych temperatur, zwiększając jednocześnie straty w układzie grzewczym.



Rys. 7. Prototypowy indukcyjny podgrzewacz wody [opracowanie własne]

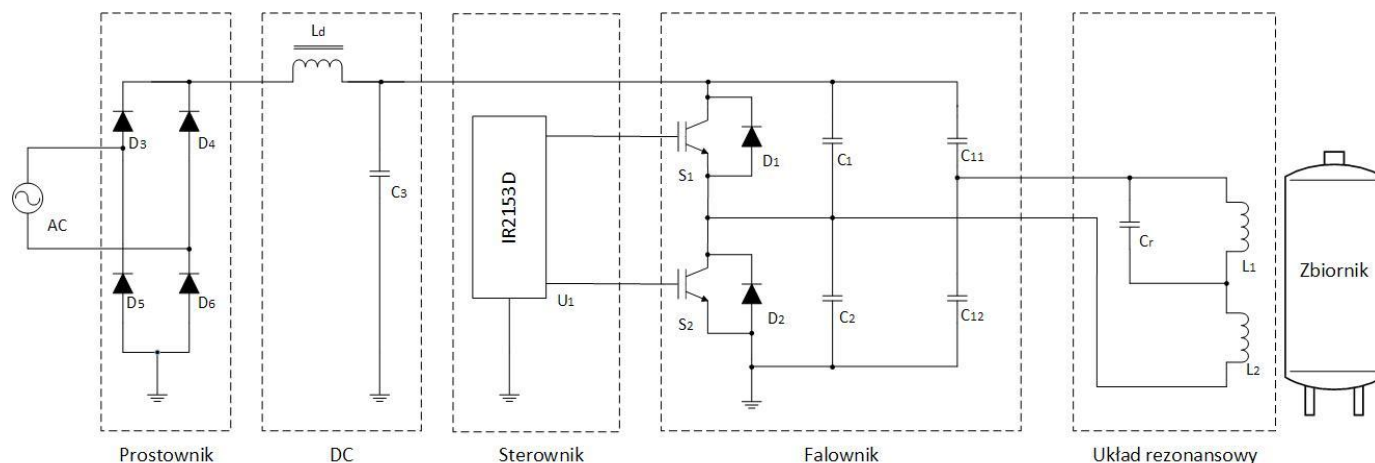
Czujnik temperatury (2) umieszczono wewnątrz zbiornika w bezpośrednim kontakcie z ogrzewaną wodą (1).

W układzie wyeliminowano mikroprocesor jako podzespół sterujący pracą tranzystorów mocy IGBT. Układ działa według schematu pokazanego na rys. 8.

Do sterowania został wykorzystany układ scalony IR2153D. Poprzez odpowiednie dobranie parametrów RC w układzie IR2153D uzyskuje się odpowiednią częstotliwość klucowania tranzystorów IGBT.

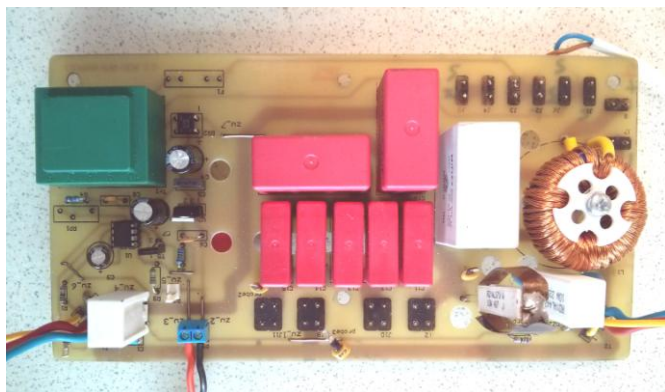
W tym układzie zbiornik wodny jest traktowany jako rdzeń umieszczony w cewce, a wydzielane ciepło w ściankach zbiornika związane jest głównie z stratami histerezowymi w materiale z którego jest wykonany zbiornik. Zrezygnowano z aktywnego chłodzenia podzespołów i zastosowanie jedynie chłodzenie pasywne, przy utrzymaniu wysokiej sprawności całego systemu grzewczego.

W układzie elektronicznym rolę uzwojenia rezonansowego pełni cewka L1, podczas gdy uzwojenie L2 jest wykorzystywane jako dławik w układzie, gdzie spełnia rolę regulatora mocy urządzenia.



Rys. 8. Schemat blokowy indukcyjnego podgrzewacza wody [opracowanie własne]

Modyfikując liczbę zwojów uzwojenia L2 wpływamy na moc czynną urządzenia. Indukcyjność uzwojeń L1 i L2 została dobrana wraz z pojemnością kondensatorów w obwodzie rezonansowym w taki sposób, aby moc czynna urządzenia była równa 2kW +/- 5%. Częstotliwość obwodu rezonansowego wynosi 27kHz. Aby podwyższyć sprawność podgrzewania indukcyjnego, elementy elektroniczne, takie jak mostek prostowniczy (13), tranzystory IGBT (3,12), nagrzewające się w trakcie pracy urządzenia, umieszczono w bezpośrednim kontakcie ze zbiornikiem wodnym. Mostek prostowniczy umieszczono na wlocie zimnej wody (14). Skutkuje to odprowadzeniem ciepła do zbiornika wodnego dzięki czemu nie jest wymagane chłodzenie aktywne. Płytką drukowaną wraz z elementami elektronicznymi (Rys. 9) została umieszczona bezpośrednio pod zbiornikiem wodnym.



Rys. 9. Płytką drukowaną wraz z elementami elektronicznymi [opracowanie własne]

Aby zapewnić jednolity rozkład temperatury wody w zbiorniku podczas badań woda była mieszana w zbiorniku poprzez pompę cyrkulacyjną (5) na wylocie króćca ciepłej wody (6), tak aby w całej swojej objętości posiadała jednakową temperaturę.

3.3. Wyniki badań

Aby porównać sprawność badanego podgrzewacza indukcyjnego, w stosunku do grzałki elektrycznej, przyjęto że sprawność grzałki elektrycznej jest równa 100%, czyli cała energia elektryczna dostarczona do grzałki zostaje zamieniona bezpośrednio w ciepło.

Założenie wyliczenia sprawności jest następujące: Jeśli podgrzewacz indukcyjny podgrzeje taką samą ilość wody w zbiorniku co grzałka elektryczna, o taki sam gradient temperatury i w takim samym czasie, to oznacza że jego sprawność w odniesieniu do grzałki elektrycznej wynosi 100%.

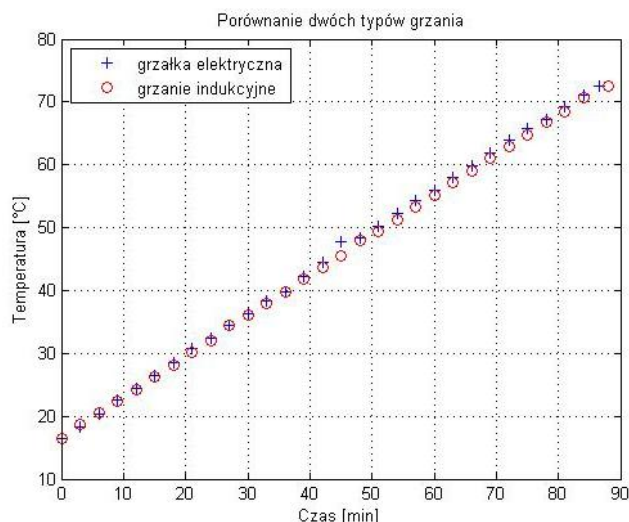
Oczywiście, z punktu widzenia zjawisk fizycznych tak wysoka sprawność, nie powinna wystąpić, z uwagi na straty energii w podzespołach podgrzewacza indukcyjnego, tj. straty związane z rezystancją uzwojenia, straty na tranzystorach związane z kluczkowaniem, straty na mostku prostowniczym, itp.

Podczas badań zbiornik wodny był izolowany termicznie jedynie na powierzchni bocznej, górna i dolna dennica były odsłonięte.

Badania sprawności były prowadzone w tych samych warunkach otoczenia. Podgrzewano wodę w zbiorniku wodnym o ten sam przyrost temperatury i mierzono czas podgrzewania wody oraz całkowite zużycie energii elektrycznej w postaci mocy czynnej.

Temperatura początkowa wody w zbiorniku wodnym wynosiła 16,5 °C. Wodę podgrzewano obiema metodami do tej samej temperatury, czyli do 72,5 °C.

Wyniki w postaci wykresu podano na rys. 10. Najważniejsze parametry podano w tabeli 1.



Rys. 10. Zależność temperatury podgrzewanej wody w funkcji czasu dla podgrzewacza indukcyjnego i dla grzałki elektrycznej [opracowanie własne]

Sprawność podgrzewacza indukcyjnego została wyznaczona zgodnie z wzorem (1).

$$\eta = \frac{P_{tot.IND}}{P_{tot.GRZ}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$P_{tot.IND}$ – całkowita energia pobrana przez podgrzewacz indukcyjny,

$P_{tot.GRZ}$ – całkowita energia pobrana przez grzałkę elektryczną,

Tab. 1. Porównanie systemów grzewczych [opracowanie własne]

	Grzałka elektryczna	Podgrzewacz indukcyjny
Czas podgrzewania (t)	86 min 30 sek	88 min 6 sek
Energia zużyta (P_{tot})	2,84 kWh	2,90 kWh
Moc maksymalna chwilowa (P_{max})	2,03 kW	2,07 kW
Prąd maksymalny chwilowy (I_{max})	8,80 A	9,18 A
Współczynnik mocy ($\cos \Phi$)	1	0,99
Sprawność (η)	100 %	98 %

PODSUMOWANIE

Przeprowadzono badania dla systemu podgrzewania wody użytkowej z wykorzystaniem grzałki elektrycznej oraz dla systemu z wykorzystaniem zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Dla zminimalizowania strat energetycznych w układzie umieszczono elementy wydzielające ciepło w bezpośrednim kontakcie ze zbiornikiem, przez co możliwe było uzyskanie wysokiej sprawności systemu. Wyznaczono sprawność grzewczą podgrzewacza indukcyjnego na poziomie $\eta = 98\%$ w odniesieniu do grzałki elektrycznej. Określono ten wynik jako zadowalający, przez co stanowi ciekawą alternatywę dla konwencjonalnych systemów grzewczych bazujących na grzałce elektrycznej.

Istotną zaletą podgrzewacza indukcyjnego jest brak elementów podatnych na uszkodzenie poprzez osadzanie się kamienia kotłowego, który wpływa na sprawność energetyczną całego systemu. Ważną cechą układu w przypadku podgrzewacza indukcyjnego jest także, łatwość wymiany uszkodzonych podzespołów, bez konieczności opróżniania zbiornika z wody, tak jak jest w przypadku grzałki elektrycznej.

BIBLIOGRAFIA

1. http://www.technologie-sanita ne.com/Problem_z_osa-dem_kamienia_kotlowego_w_domu-1-100-8.html
2. <http://heating.ik.pl/porady/466-anoda-magnezowa-niedoceniana-ochrona-ogrzewacza>
3. Fairchild Semiconductor Corporation, AN-9012 Induction Heating System Topology Review, (Rev. 1.0.4) 2000.
4. <http://www.selfa.pl>
5. Ali M. Niknejad. Electromagnetics for High-Speed Analog and Digital Communication Circuits. Cambridge University Press, 2007

RESEARCH OF THE INDUCTION (DOMESTIC) WATER HEATER

Abstract

The article presents two heating systems for obtaining domestic hot water and discusses major problems related to heating water in closed tanks. The paper presents two laboratory stands and the course of research. In the further part of the article, conventional heating system based on electric heater is compared to the prototype of induction water heater and the results are presented in the form of a graph and comparison table. Also, the efficiency of induction heater in comparison to electric heater is determined.

Autorzy:

dr inż. **Sebastian Pecolt** – Katedra Mechatroniki i Mechaniki Stosowanej, Wydział Technologii i Edukacji, Politechnika Koszalińska, ul. Śniadeckich 2, 75 – 453 Koszalin

mgr inż. **Katarzyna Peplińska-Matysiak** – Katedra Mechatroniki i Mechaniki Stosowanej, Wydział Technologii i Edukacji, Politechnika Koszalińska, ul. Śniadeckich 2, 75 – 453 Koszalin

mgr inż. **Leon Charkiewicz** – Katedra Mechatroniki i Mechaniki Stosowanej, Wydział Technologii i Edukacji, Politechnika Koszalińska, ul. Śniadeckich 2, 75 – 453 Koszalin

prof. dr hab. inż. **Tomasz Krzyżyński** – Katedra Mechatroniki i Mechaniki Stosowanej, Wydział Technologii i Edukacji, Politechnika Koszalińska, ul. Śniadeckich 2, 75 – 453 Koszalin