

EKONOMICZNE I PRAKTYCZNE ASPEKTY WYKORZYSTANIA POMP CIEPŁA Z ODZYSKIEM Z POWIETRZA

Waldemar Nycz, Ryszard Goleman

Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Instytut Elektrotechniki i Elektrotechnologii

Streszczenie. Pompy ciepła zyskują coraz większą popularność i uznanie jako efektywne źródło energii odnawialnej. W szczególności dotyczy to pomp ciepła z odzyskiem z powietrza. Istnieje jednak ciągle duża przestrzeń do budowania świadomości konsumentów i poprawy wiedzy wśród dostawców, instalatorów i zespołu serwisowego. Artykuł przedstawia analizę systemu, poczynwszy od założeń teoretycznych poprzez zasadę działania oraz kwestie praktyczne i ekonomiczne ich wykorzystania. Artykuł ma na celu zwrócenie uwagi czytelników na znaczące zalety tej metody oraz na dalsze jej perspektywy.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, wydajność energetyczna, konwersja energii

ECONOMIC AND PRACTICAL ASPECTS OF USE OF AIR SOURCE HEAT PUMPS

Abstract. Heat pumps have been gaining in popularity as an effective source of renewable energy for the last few years. Particularly, it is relevant to air source heat pumps. However, there is still area for improvement in raising awareness among customers and acquiring expertise among suppliers. The article presents analysis of heat pumps including theoretical assumptions, its operation, practical and economical aspects. The main objective of this article is to attract readers' attention to advantages of this source of energy as well as its bright prospects.

Keywords: renewable energy sources, energy efficiency, energy conversion

Wstęp

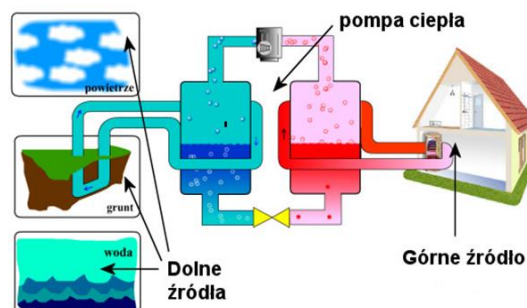
Metoda pozyskiwania energii za pomocą pomp ciepła z odzyskiem z powietrza zyskuje coraz większą popularność i ma szansę stać się jednym z najbardziej popularnych sposobów ogrzewania powierzchni mieszkalnych oraz podgrzewania ciepłej wody użytkowej. Popularność tę zdobywa dzięki szeregu zaletom, które zostaną omówione w niniejszym artykule i przeciwstawione nielicznym wadom. Podstawowe zalety pompy ciepła z odzyskiem z powietrza wynikają z charakterystyki powietrza, które jak się okazuje może stanowić doskonale źródło energii. W kontekście wykorzystania powietrza jako źródła energii, po stronie zalet można wymienić powszechność jego występowania, nieograniczoną i bezpłatną dostępność czy też ekologiczny charakter, jak również niewyczerpalną pojemność energetyczną. Przy ogromnym potencjale energetycznym, temperatura powietrza jest jednak zbyt niska, aby wykorzystując powietrze w sposób konwencjonalny podgrzewać ciepłą wodę użytkową do wymaganej temperatury czy też utrzymywać odpowiednią temperaturę ogrzewanych kubatur mieszkalnych w sezonie grzewczym. Wykorzystując natomiast pompę ciepła oraz powietrze jako źródło energii realizacja tych zadań staje się możliwa.

1. Opis działania pompy ciepła

Teoretyczne podstawy procesu odzysku energii z użyciem pompy ciepła zdefiniował Nicolas Léonard Sadi Carnot w tzw. odwróconym cyklu Carnot.

Pompa ciepła jest urządzeniem składającym się z parownika, skraplacza, sprężarki i zaworu rozprężnego, które połączone są za

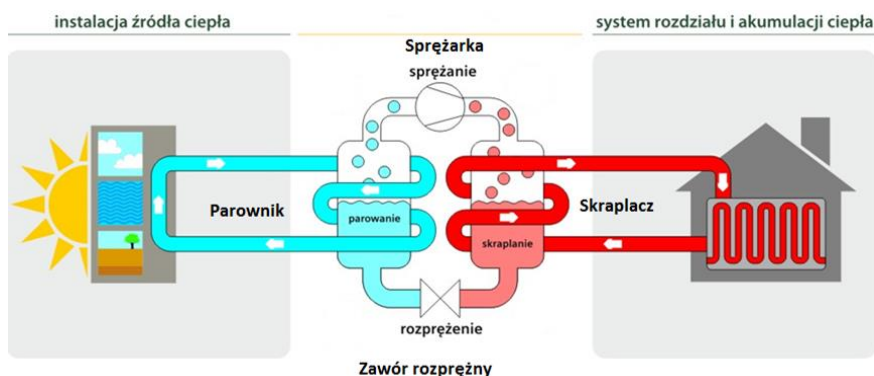
pomocą systemu rur w system zamknięty i wypełnione gazem. Ogólną ideę działania pompy ciepła przedstawia rysunek nr 1.



Rys. 1. Idea systemu z pompą ciepła

Działanie pompy ciepła jest możliwe dzięki trzem obiegom: obiegowi dolnego źródła ciepła, obiegowi termodynamicznemu oraz obiegowi górnego źródła ciepła. Obieg dolnego źródła ciepła sprzężony jest z obiegami termodynamicznymi poprzez parownik, natomiast obieg górnego źródła ciepła sprzężony jest z obiegami termodynamicznymi poprzez skraplacz. Przekazywanie energii za pomocą pompy ciepła następuje z ośrodka o niższej temperaturze zwanego dolnym źródłem ciepła do ośrodka o wyższej temperaturze zwanego „górnym źródłem ciepła”. Odbywa się to w zamkniętym procesie, poprzez cykliczną zmianę fizycznego stanu czynnika termodynamicznego tj. – sprężanie, skraplanie, rozprężanie, parowanie. Proces taki może zachodzić z udziałem dostarczonej energii elektrycznej, służącej do napędu sprężarki.

Schemat układu pompy ciepła przedstawia rysunek nr 2.



Rys. 2. Schemat układu pompy ciepła

Parownik umieszczony jest w źródle ciepła (zwanym dolnym źródłem ciepła) o temperaturze wyższej niż temperatura płynu w parowniku, a także od jego temperatury wrzenia. Przepływ ciepła następuje z otoczenia (otoczenia parownika) do płynu znajdującego się w parowniku. Czynnik roboczy po odebraniu ciepła zmienia stan skupienia z płynnego na gazowy, stając się nośnikiem energii cieplnej. Po zmianie stanu skupienia para z parownika trafia do sprężarki, która przenosi krążący w zamkniętym obiegu czynnik roboczy do wyższego poziomu ciśnienia, przy czym w wyniku sprężenia następuje przyrost jej temperatury.

Działanie pompy ciepła rozpoczyna się wraz z uruchomieniem sprężarki, która wprawia w ruch czynnik roboczy. Do pierwotnej strony obiegu górnego źródła ciepła tj. skraplacza doprowadzony jest czynnik termodynamiczny (pary gazu), natomiast do wtórnej strony tj. wymiennika ciepła – czynnik roboczy górnego źródła ciepła (woda grzewcza). Opuszczająca sprężarkę gorąca para przechodzi do skraplacza, z którego następuje oddawanie ciepła czynnikowi roboczemu wtórnej stronie obiegu górnego źródła ciepła np. ciepłej wodzie użytkowej, wodzie centralnego ogrzewania lub powietrzu. Wtórna strona obiegu górnego źródła ciepła odbiera ciepło od gorącego czynnika termodynamicznego rozprowadzając je do odbiorników, w wyniku czego właściwości czynnika termodynamicznego ulegają zmianie. Poprzez ochłodzenie w skraplaczu ulega on skropleniu, oddając ciepło (pobrane w parowniku), wodzie grzewczej. Temperatura czynnika może się obniżyć aż do zrównania się z temperaturą otoczenia skraplacza. Gdy proces przekazywania energii ze skraplacza do czynnika roboczego strony wtórnej ustaje lub przestaje być efektywny otwiera się zawór rozprężny. W procesie rozprężania następuje gwałtowny spadek ciśnienia czynnika roboczego obiegu termodynamicznego, czemu towarzyszy spadek temperatury – do poziomu umożliwiającego odbiór ciepła i całkowite odparowanie w parowniku, powstająca para jest zasysana przez sprężarkę powtarzając na nowo cykl obiegu termodynamicznego.

2. Współczynnik efektywności pompy ciepła

Podwyższenie temperatury par gazu wymaga wykonania przez sprężarkę pracy w umownej jednostce czasu, która jest równoważna energii dostarczonej do układu ze źródła zewnętrznego. Bilans energetyczny procesu odzysku energii jest dodatni a w wartościach liczbowych opisuje go współczynnik efektywności COP (coefficient of performance), który informuje, ile razy więcej energii odbieramy z układu w stosunku do ilości energii którą dostarczamy do układu dla podtrzymania procesu odzysku energii. Współczynnik efektywności jest wyrażony wzorem

$$COP = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{Q_{odd}}{Q_{pob}} \quad (1)$$

gdzie: T_1 , T_2 temperatura górnego i dolnego źródła ciepła [K], Q_{odd} – energia odebrana z układu [J], Q_{pob} – energia dostarczona do układu [J].

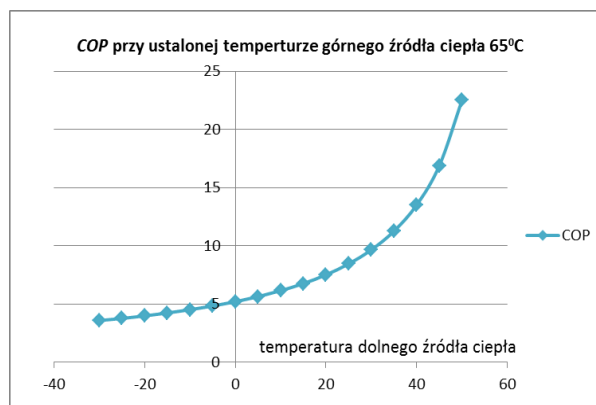
Współczynnik ten można również interpretować jako iloraz całkowitej energii oddanej przez układ, do energii dostarczonej do układu dla podtrzymania procesu. Wartości teoretyczne współczynnika COP , jak wynika ze wzoru, zależą od temperatury dolnego i górnego źródła ciepła. Dla zobrazowania zależności COP od zmienności temperatury dolnego źródła ciepła zostały wyliczone teoretyczne wartości COP zgodnie ze wzorem (1) przy ustalonej wartości temperatury „górnego źródła” np. 65°C – jako typowej temperatury dla ciepłej wody użytkowej.

Wyniki obliczeń przedstawia tabela nr 1.

Tabela 1. Tabela wartości $COP = f(T_2)$ przy temperaturze górnego źródła ciepła 65°C

Temp [°C]	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10
COP	3,58	3,76	3,98	4,23	4,51	4,83	5,2	5,63	6,15
Temp [°C]	15	20	25	30	35	40	45	50	-
COP	6,76	7,51	8,45	9,66	11,27	13,52	16,9	22,53	-

Wizualizację wyników przedstawia rysunek nr 3.



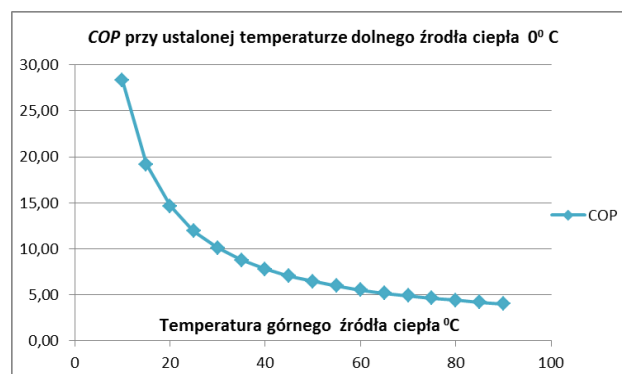
Rys. 3. Współczynnik efektywności w funkcji temperatury dolnego źródła ciepła

Jak wynika z wyliczonych wartości i przedstawionych w tabeli 1 oraz zwizualizowanych na wykresie, nawet przy temperaturach ujemnych teoretyczne wartości COP są znacznie większe od jedności co oznacza, że nadal osiągamy teoretyczny zysk energetyczny procesu. Współczesne pompy ciepła z odzyskiem z powietrza osiągają rzeczywiste współczynniki COP na poziomie 50% wartości teoretycznych, co oznacza że nawet przy temperaturach -30°C jest możliwy do osiągnięcia realny COP bliski 2, co nadal jest atrakcyjną wielkością. Z przedstawionej zależności wynika, że współczynnik COP jest zależny od temperatury dolnego źródła ciepła i maleje wraz z obniżaniem jego temperatury. Zmiana wartości COP następuje również przy zmianie temperatury górnego źródła ciepła. Dla zobrazowania zależności COP od zmienności temperatury górnego źródła ciepła zostały wyliczone teoretyczne wartości COP zgodnie ze wzorem (1) przy ustalonej wartości temperatury źródła dolnego np. 0°C. Wyniki obliczeń przedstawia tabela nr 2,

Tabela 2. Tabela wartości $COP = f(T_1)$ przy temperaturze dolnego źródła ciepła 0°C

Temp [°C]	10	15	20	25	30	35	40	45	50
COP	28,3	19,2	14,65	11,92	10,1	8,8	7,83	7,07	6,46
Temp [°C]	55	60	65	70	75	80	85	90	-
COP	5,96	5,55	5,2	4,9	4,64	4,41	4,21	4,03	-

Wizualizację wyników przedstawia rysunek nr 4.



Rys. 4. Współczynnik efektywności w funkcji temperatury „górnego źródła ciepła”

Jak wynika z wyliczonych wartości przedstawionych w tabeli i zwizualizowanych na wykresie wartość współczynnika COP również silnie zależy od temperatury „górnego źródła ciepła”. Im temperatura górnego źródła wyższa tym wartość COP niższa. Z zależności tej wynika istotny wniosek, że warto dążyć, tam gdzie jest to możliwe, do obniżania temperatury górnego źródła ciepła. Dobrą ilustracją takiego działania może być ogrzewanie powierzchni mieszkalnych konwencjonalnymi grzejnikami centralnego ogrzewania o temperaturze zasilania $70^{\circ}C$ i ogrzewanie podłogowe o temperaturze zasilania $40^{\circ}C$. Z tabeli 2 dla $T_1 = 40^{\circ}C$ $COP = 7,83$ oraz dla $T_1 = 70^{\circ}C$ $COP = 4,90$. Różnica wynosi 2,93. Z tego wynika wniosek, że sposób implementacji pompy ciepła do konkretnych zastosowań ma kluczowe znaczenie dla osiągnięcia lepszego efektu ekonomicznego przy identycznym efekcie użytkowym.

3. Zalety i wady powietrznych pomp ciepła

Jak zostało wykazane powyżej, COP w pompach ciepła jest zależny od zmian temperatur dolnego i górnego źródła ciepła. W przypadku pompy ciepła z odzyskiem z powietrza mamy do czynienia ze zjawiskiem zmian temperatur powietrza, dobowych i sezonowych. Jest to kluczowa wada tego rodzaju pomp ciepła. Innym niekorzystnym zjawiskiem występującym w temperaturach poniżej $5^{\circ}C$ jest zjawisko szronienia parowników. Zjawisko szronienia wpływa negatywnie na ogólny bilans odzysku energii. Szron gromadząc się na parowniku powoduje ograniczenie strumienia powietrza przepływającego przez radiator parownika utrudniając tym samym przekazywanie energii z otoczenia do parownika. W celu odszronienia parownika wykorzystuje się możliwość pracy rewersyjnej pompy. Zamiana ról parownika i skraplacza powoduje podgrzanie parownika i stopienie nagromadzonego szronu (lodu), co związane jest z wydatkowaniem energii i pogorszeniem ogólnego bilansu odzysku energii. Szacuje się, że zjawisko to obniża efektywność powietrznych pomp ciepła około 10% [3]. Rysunek nr 3 przedstawia oszroniony parownik o wydajności grzewczej/chłodniczej 25 kW.



Rys. 3. Ilustracja zjawiska szronienia parownika

Zjawisko szronienia parowników i wynikające stąd konsekwencje należy uznać za kolejną istotną wadę tego rodzaju pompy ciepła. Po stronie wad na dzień dzisiejszy należy zaliczyć niestety, koszty zakupu urządzenia oraz instalacji. Pomimo prostoty konstrukcji koszt urządzenia nie należy do najniższych, a powodów tego stanu rzeczy jest kilka. Podstawową kwestią jest mało rozpowszechniona idea tego typu metody a co za tym idzie mała konkurencja wśród dostawców. Czynnikiem niesprzyjającym rozwojowi był brak uregulowań prawnych co do kwalifikowania tego typu rozwiązań jako odnawialne źródła energii. Dopiero w roku 2013 zostały sprecyzowane wytyczne Komisji Europejskiej co do zasad kwalifikowania pomp ciepła z odzyskiem z powietrza jako urządzeń do pozyskiwania energii odnawialnej.

Inną ale równie istotną kwestią jest brak konkurencji produkcji rodzimej dla produktów importowanych. Należy jednak patrzeć optymistycznie w przyszłość i oczekiwać istotnych zmian w kwestii kosztów zakupu tego typu urządzeń. Ostatnie lata przyniosły istotny postęp w konstrukcji sprężarek i zapewne najbliższe lata będą równie obiecujące co przełoży się na niższe koszty oraz lepsze osiągi co do COP i niezawodności. Istotnym bodźcem rozwojowym w tym zakresie może być dofinansowanie z funduszy Unijnych dla tego typu technologii, co już teraz jest widoczne w ogłaszanych przez gminy projektach.

Pomimo istnienia istotnych wad, zalety pomp ciepła z odzyskiem z powietrza przeważają nad ich wadami. Po stronie zalet pomp ciepła z odzyskiem z powietrza można wyróżnić kilka ich cech. Podstawową istotną ich właściwością jest możliwość pracy rewersyjnej, czyli zamiany ról przez parownik i skraplacz. W praktyce oznacza to możliwość grzania w sezonie grzewczym oraz chłodzenia w sezonie letnim. Jest to bardzo istotna właściwość dzięki której ograniczamy koszty zakupu alternatywnych systemów chłodzenia na okres letni. Niezależnie od pory roku możemy całodobowo za ich pomocą przygotowywać ciepłą wodę użytkową. Szczególnie korzystnie możemy to robić korzystając z taryf nocnych i weekendowych co może istotnie obniżyć koszty. Kolejną zaletą pomp ciepła z odzyskiem z powietrza jest prostota ich budowy i montażu, brak konieczności posiadania dużych powierzchni gruntu dla układania instalacji poziomych czy wykonywania odwiertów. Parownik pompy ciepła potrzebuje niewielkiej powierzchni dla prawidłowej pracy, w praktyce wystarcza $1m^2$ powierzchni w otwartej przestrzeni o odpowiednim usytuowaniu. Spośród wszystkich rodzajów pomp ciepła, pompa ciepła z odzyskiem z powietrza w bieżącej eksploatacji jest najmniej problematyczna, ze względu na mniejszą złożoność a w związku z tym mniej skomplikowane i mniej kosztowne konserwacje i przeglądy. W przypadku pomp ciepła z odzyskiem z powietrza całość instalacji i urządzeń jest lub może być dostępna dla serwisu. W przypadku awarii stanowi to dużo mniejszy problem z naprawą. Ze względu na prostotę budowy, produkowane są różnego rodzaju urządzenia pomp ciepła, konstrukcji kompaktowej lub wieloelementowe, małych mocy i dużych mocy.

4. Pompy ciepła jako OZE

Znaczącym impulsem rozwojowym pomp ciepła z odzyskiem powietrza może być fakt zaliczenia ich przez Komisję Europejską do urządzeń pozyskujących energię odnawialną. Decyzją Komisji Europejskiej z dnia 1 marca 2013 r., zostały ogłoszone wytyczne dla państw członkowskich dotyczące obliczania energii odnawialnej z pomp ciepła w odniesieniu do różnych technologii pomp ciepła. Wytyczne te określają w jaki sposób państwa członkowskie powinny szacować dwa spośród trzech parametrów określonych w załączniku nr VII do dyrektywy 2009/28/WE. Parametrami tymi są:

- szacunkowe użyteczne ciepło pochodzące z pomp ciepła (Qusable)
- „współczynnik wydajności sezonowej” (SPF).

Trzeci parametr - sprawność produkcji energii η , został uzgodniony na posiedzeniu grupy roboczej ds. statystyki energii odnawialnej z dnia 23 października 2009 r. [1]. Dane wymagane do obliczania sprawności produkcji energii są objęte rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1099/2008 z dnia 22 października 2008 r. w sprawie statystyki energii [1].

Poprzez określenie trzech w/w parametrów oraz ustanowienie granic układu obejmujących cykl obiegu czynnika roboczego i wentylatora (lub pompy obiegowej), została ustanowiona podstawowa metoda obliczania energii odnawialnej dostarczanej przez pompy ciepła. Ponadto została zdefiniowana minimalna wartość SPF pomp ciepła wymagana do uznania energii za energię odnawialną na podstawie dyrektywy.

Wartość graniczna SPF jest zdefiniowana następująco [1, 2]

$$SPF = 1,15 \cdot 1 / \eta \quad (2)$$

gdzie η oznacza sprawność produkcji energii równą 45,5% w odniesieniu do roku 2010 i która ma być stosowana do 2020 [1].

Minimalna wartość SPF (szacunkowy przeciętny współczynnik wydajności sezonowej), dla pomp ciepła zasilanych energią elektryczną musi wynosić 2,53, aby energia została uznana za energię odnawialną zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE. W taki sposób zdefiniowana wartość graniczna SPF pozwalająca zaliczać bądź też nie energię pomp ciepła jako odnawialną oznacza, że wraz ze wzrostem sprawności produkcji energii elektrycznej będzie maleć wartość graniczna SPF . Jedynie na przestrzeni lat 2007 – 2010 wartość sprawności produkcji energii wzrosła z 44,0% do 45,5% [1] co oznacza, że wartość graniczna SPF obniżyła się z 2,61 do 2,53. Jest to korzystny trend dla rozwoju pomp ciepła i zaliczania energii przez nie wytwarzanej do energii odnawialnej. Ponadto decyzja przedstawia wytyczne dla państw członkowskich dotyczące obliczania energii odnawialnej z pomp ciepła, w odniesieniu do różnych technologii pomp ciepła oraz stref klimatycznych, na podstawie art. 5 dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE.

5. Podsumowanie

Konkludując powyższe rozważania należy uznać przewagę zalet stosowania pomp ciepła z odzyskiem z powietrza nad ich wadami. Postęp technologiczny daje nadzieję na poprawę w zakresie konstrukcji sprężarek co wpłynie na poprawę COP , jak również popularyzacja tej technologii wpłynie na konkurencyjną ofertę, co pociągnie za sobą obniżenie kosztów zakupu. Uregulowania prawne również sprzyjają pozytywnym trendom rozwojowym dla pomp ciepła co zapewne będzie istotnym bodźcem dla rozwoju tej technologii.

Literatura

- [1] Commission Decision of 1 March 2013 Official Journal of the European Union, L 62/27
- [2] Cepiński W.: Efektywność powietrznej pompy ciepła, Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa Politechniki Wrocławskiej,
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r.
- [4] Rubik M.: Pompy ciepła – poradnik. Wydawnictwo Instal 2006.
- [5] <http://www.pro-energia.com.pl/>
- [6] <http://www.twojapompa.pl/>

Mgr inż. Waldemar Nycz
e-mail: waldemar.nycz@wp.pl

Absolwent Politechniki Warszawskiej na Wydziale Elektroniki. Studia podyplomowe oraz trzeciego stopnia na Politechnice Lubelskiej. Pracownik Radia Lublin S.A. na stanowisku kierownik działu techniki. Zainteresowania wynikające z pracy zawodowej dotyczą szczególnie radiowych technik cyfrowych. W pracy naukowej podejmowana tematyka odnawialnych źródeł energii z ukierunkowaniem na pompy ciepła z odzyskiem z powietrza.



Dr hab. inż. Ryszard Goleman
e-mail: r.goleman@pollub.pl

Absolwent Politechniki Lubelskiej. Pracuje na stanowisku profesora nadzwyczajnego w Instytucie Elektrotechniki i Elektrotechnologii PL. Jego zainteresowania naukowe obejmują obliczanie pól sprzężonych i obwodów elektrycznych, analizę liniowych i nieliniowych układów z elementami magnetycznymi, elektryczne maszyny specjalne, separację magnetyczną, ekranowanie magnetyczne i elektromagnetyczne, zakłócenia akustyczne i elektromagnetyczne, odnawialne źródła energii.



otrzymano/received: 22.06.2016

przyjęto do druku/accepted: 14.08.2017