

Paweł ŻUKOWSKI, Czesław KOZAK, Czesław KARWAT
POLITECHNIKA LUBELSKA, KATEDRA URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH I TWN

Pomiary temperatury łuku palącego się w szczelinie międzystykowej aparatów elektrycznych za pomocą spektrofotometru światłowodowego

Dr hab. Paweł ŻUKOWSKI

Absolwent wydziału Fizyki Państwowego Uniwersytetu Białoruskiego (1972), doktorat obronił w Państwowym Uniwersytecie Białoruskim (1980), a habilitację na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu M. Curie – Skłodowskiej w Lublinie (1992). W swojej pracy naukowej zajmuje się zastosowaniem technik jonowych do modyfikacji materiałów elektrotechnicznych i elektronicznych, badaniami zjawisk łączeniowych w aparatach elektrycznych oraz właściwościami nanomateriałów.

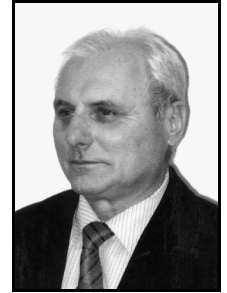
e-mail: p.zukowski@pollub.pl



Dr hab. inż. Czesław KARWAT

Studia ukończył w Politechnice Wrocławskiej (1967), doktorat obronił w Politechnice Śląskiej w Gliwicach (1980), a habilitację w Białoruskim Państwowym Uniwersytecie w Mińsku (2003). Działalność naukowo-badawcza: elektroenergetyka, technika wysokich napięć, materiałoznawstwo elektrotechniczne. W dorobku naukowym ma 1 skrypt, 2 monografie, jest autorem lub współautorem ponad 135 opracowań naukowych i 6 patentów.

e-mail: c.karwat@pollub.pl



Dr inż. Czesław Mariusz KOZAK

Absolwent wydziału Elektrycznego Politechniki Lubelskiej (1992), doktorat obronił na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej (2004). W pracy naukowej zajmuje się zastosowaniem technik jonowych do modyfikacji materiałów elektrotechnicznych i elektronicznych oraz badaniem zjawisk łączeniowych w aparatach elektrycznych. Adiunkt w Katedrze Urządzeń Elektrycznych i TWN Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej.

e-mail: c.kozak@pollub.pl



Streszczenie

W artykule opisano spektrofotometryczną metodę określania temperatury łuku elektrycznego palącego się w szczelinie międzystykowej łącznika na podstawie zarejestrowanych widm ciągłych, oraz wpływ rodzaju materiału styków i ich cech konstrukcyjnych na jej wartość.

Słowa kluczowe: łączniki, łuk elektryczny, temperatura, widma, spektrofotometr.

Spectrophotometric testing of an electric arc of alternating current

Abstract

The article presents a spectrophotometric method for determining temperature of electric arc burning in an inter-contact gap of a switch based on recorded continuous spectra. Influence of the material and design of the contacts on the temperature values is also discussed.

Keywords: switches, electric arc, temperature, spectra, spectrophotometer.

1. Wstęp

Podczas pracy łączników stykowych w szczelinie międzystykowej występuje łuk elektryczny. Towarzyszy temu znaczne wydzielanie się energii, co w konsekwencji powoduje erozję powierzchni stykowych. Przy pracy łączeniowej zestyku, zjawiska takie jak rezystancja przejścia i łuk elektryczny są przyczyną wysokiej temperatury powierzchni stykowej. Część materiału na powierzchni styku może przechodzić w stan ciekły, a nawet gazowy. Zjawiska te mają bezpośredni wpływ na trwałość i niezawodność układu zestykowego.

Trwałość zestyków łącznika zależy od materiału z jakiego są wykonane, ich cech konstrukcyjnych oraz powłok jakimi są pokryte. Badania spektrofotometryczne emisyjnych widm łuku elektrycznego polegają na ich rejestracji podczas zapłonu łuku, a następnie po wyodrębnieniu z nich widm ciągłych, można wyznaczyć temperaturę jaką osiąga łuk palący się w przerwie międzystykowej.

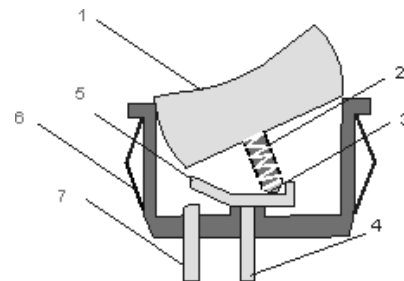
W badaniach zastosowano również metodę oscyloskopową, która pozwoliła określić energię oraz czas palenia się łuku [1].

Podstawowym celem badań było określenie temperatury łuku bezdotykową metodą rejestracji widm za pomocą spektrofotometru światłowodowego.

2. Obiekt badań

Obiektem badań były łączniki kołyskowe produkcji angielskiej, oraz produkcji polskiej o parametrach znamionowych 10(4)A, 250V AC.

Styki łącznika produkcji angielskiej były wykonane z miedzi posrebrzanej galwanicznie, a w punkcie styczności znajdowały się nakładki ze srebra, natomiast styki łączników produkcji krajowej były wykonane z miedzi.



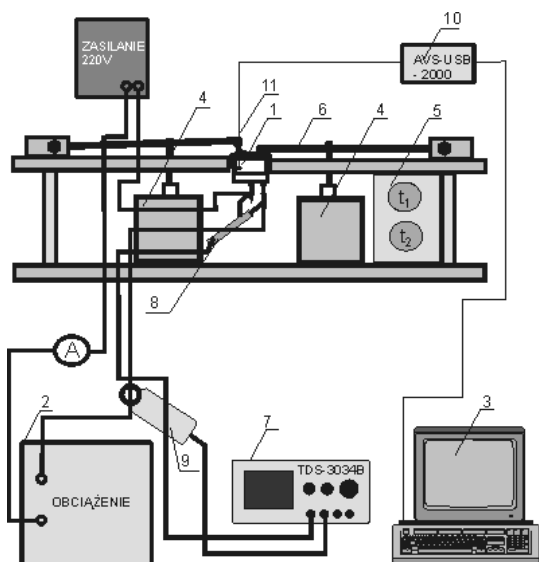
Rys. 1. Obiekt badań
Fig. 1. The testing object

Budowę łącznika wykorzystanego w badaniach przedstawia rysunek 1. Badany łącznik składa się z następujących części; 1 - klawisz, 2 - sprężyna dociskająca kulkę, 3 - kulka, 4 - styk nieruchomy nierozłączny, 5 - styk rozłączny ruchomy, 6 - zatrzask montażowy, 7 - styk rozłączny nieruchomy.

Badania łączników wykonano przy natężeniu prądu przemiennego o wartości 5 A.

3. Stanowisko pomiarowe

Stanowisko pomiarowe przedstawione na rysunku 2 [1] składa się z następujących elementów: 1 - badany łącznik, 2 - obciążenie, 3 - komputer, 4 - elektromagnesy, 5 - przekaźnik czasowy, 6 - zwory, 7 - oscyloskop cyfrowy Tektronix TDS 3034B, 8 - sonda napięciowa Tektronix P6139A, 9 - sonda prądowa Hameg HZ 56, 10 - spektrofotometr typu AVS - USB 2000 Miniature Spectrometer Optic Fiber [3], 11 - światłowód.



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe
Fig. 2. Measuring stand

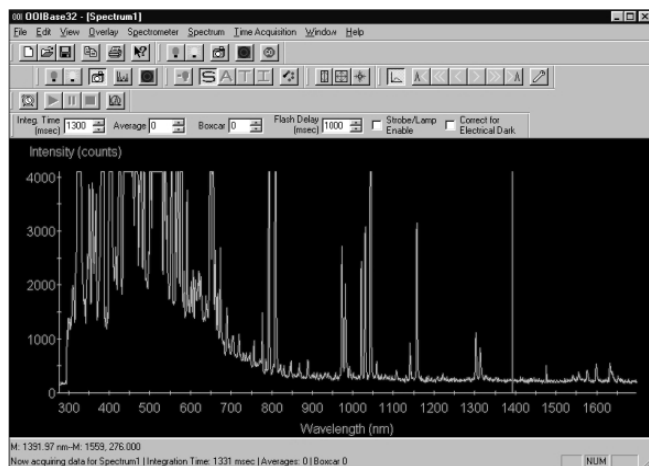
Przełącznik czasowy 5 steruje załączaniem i wyłączeniem badanego łącznika za pomocą elektromagnesów 4. Pierwszy elektromagnes działając na dźwignię 6 powoduje załączenie łącznika. Wyłączeniem łącznika steruje drugi elektromagnes.

Czynnościami łączeniowymi steruje przełącznik czasowy 5 w taki sposób, że czas prądowy t_1 , podczas którego styki łącznika są zamknięte, wynosi 25 sekund, natomiast czas rozwarcia styków $t_2 = 0,1$ sekundy. Czas nastawiany był cyfrowo z dokładnością ± 1 ms.

Oscyloskop cyfrowy Tektronix TDS 3034B był wyposażony w sondy pomiarowe: napięciową Tektronix P6139A i prądową Hameg HZ 100mV/A, co pozwoliło na cyfrową rejestrację mierzonych sygnałów. Zarejestrowane w czasie rzeczywistym wartości umożliwiły określenie przebiegów natężenia prądu w obwodzie, spadku napięcia na zestykach, energii łuku oraz czasu trwania wyładowania łukowego podczas rozwierania styków.

Obciążeniem stanowiska był układ rezystorów umożliwiających regulację wartości natężenia prądu płynącego w badanym obwodzie przy napięciu przemiennym o wartości 230V.

Do pomiarów widm użyty został spektrofotometr światłowodowy rejestrujący widmo łuku palącego się pomiędzy rozchodzącymi się stykami. Pozwalał on na obserwację widm o długościach fali od 200nm do 1100nm, a dołączone do spektrofotometru oprogramowanie umożliwiało jednoczesną ich rejestrację w postaci danych liczbowych w formacie pozwalającym na ich dalszą programową obróbkę. Przykład typowego widma przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Obraz widma łuku palącego się w przerwie międzystykowej łącznika
Fig. 3. Spectrum of an electric arc burning in an inter-contact gap of a switch

Na przykładowym przebiegu można wyraźnie odróżnić widma liniowe pochodzące od wzbudzonych atomów lub jonów azotu, miedzi, węgla, tlenu, metali znajdujących się na powierzchni styków oraz widma ciągłe. Jak widać na rysunku 3, widmo ciągłe łuku zawiera się w zakresie długości fali od 300 do około 800nm.

4. Podstawy teoretyczne

Widmo jest to zarejestrowany obraz promieniowania, które zostało wyemitowane lub zaabsorbowane, weszło w kontakt, zostało odbite lub przeszło przez analizowaną substancję.

W pewnych warunkach każda substancja jest w stanie wyemitować lub zaabsorbować fale elektromagnetyczne o określonych długościach, a dowolne ciało może być źródłem promieniowania cieplnego, które powstaje w wysokiej temperaturze.

Wraz ze zmianami temperatury badanej substancji, zmienia się natężenie promieniowania ciągłego i jego skład widmowy. W oparciu o teorię Plancka jest można stwierdzić, że ciało doskonale czarne emituje i absorbuje światło w postaci skończonych porcji energii — *kwantów*, których energia według Plancka wprost proporcjonalna do częstotliwości [2]:

$$\varepsilon = h\nu \quad (1)$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad (2)$$

gdzie: ν - częstotliwość światła, h - stała Plancka.

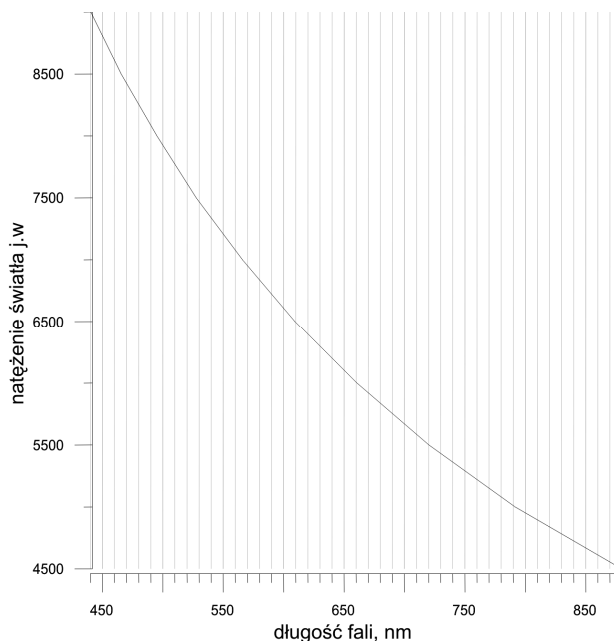
Zdolność emisyjną ciała doskonale czarnego określa się wzorem Plancka:

$$\varepsilon(T) = \frac{2\pi^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{hc/kT\lambda} - 1} \quad (3)$$

gdzie: c - prędkość światła w próżni, h - stała Plancka, k - stała Boltzmanna, T - temperatura bezwzględna ciała, λ - długość fali, $e = 2,71828...$ - podstawa logarytmu naturalnego.

Bazując na formule Plancka i teorii promieniowania ciała doskonale czarnego, wyznaczono teoretyczny wykres zależności temperatury od długości fali dla maksymalnej wartości natężenia promieniowania widma ciągłego (rys. 4).

Zakres temperatury obejmował przedział od 4500K do 9000K.

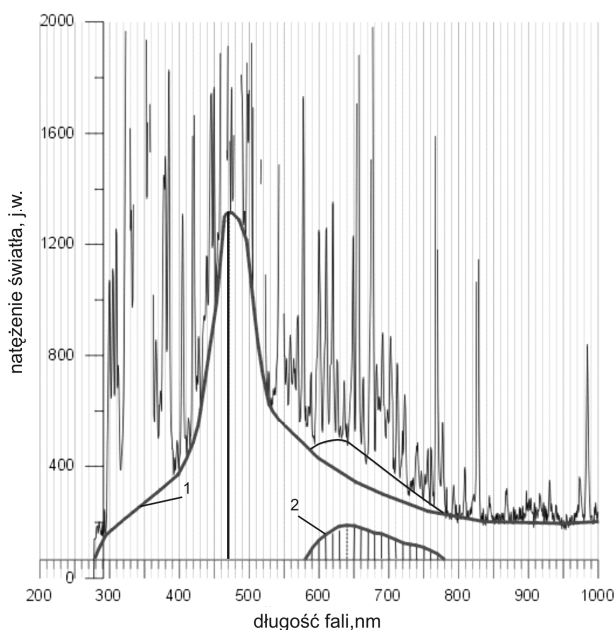


Rys. 4. Zależność temperatury łuku od długości fali
Fig. 4. Electric arc temperature vs. wavelength

5. Wyniki badań

Zarejestrowane widma łuku elektrycznego zostały zaimportowane do programu Grapher, gdzie w sposób matematyczny zostały do nich dopasowane krzywe opisujące widma ciągłe. W zarejestrowanych widmach łuku elektrycznego widoczne są dwa widma ciągłe.

Jak wynika z teorii łuku elektrycznego, posiada on dwie strefy różniące się wartością temperatury. Widmo 1 zaznaczone na rysunku 5 jest widmem pochodzącym z kolumny łukowej, gdzie temperatura osiąga większą wartość. Strefa przyelektrodowa (widmo 2) posiada niższą temperaturę.



Rys. 5. Widmo łuku elektrycznego prądu przemiennego, łącznik o stykach miedzianych, natężenie prądu 5A
Fig. 5. Spectrum of an electric arc of alternating current, a switch of copper contacts, current intensity of 5A

Podczas rejestracji oba widma sumują się, dlatego jedno widmo było odjęte od drugiego. Posługując się zależnością przedstawioną na rysunku 4 otrzymano dwie wartości temperatury: temperaturę niższą – strefy przyelektrodowej i temperaturę wyższą kolumny łukowej.

W ten sposób z obydwu widm ciągłych 1 i 2 można wyznaczyć temperaturę łuku z dokładnością do ± 200 K.

Jak widać z rysunku 5, maksimum widma kolumny łukowej jest bliskie 470 nm, co odpowiada zgodnie z rysunkiem 4, wartości temperatury około 8400 K. Dla strefy przyelektrodowej maksimum widma wynosi w przybliżeniu 640 nm, co odpowiada temperaturze około 6400 K.

W tabelach 1 i 2 przedstawiono wyniki pomiarów temperatury łuku elektrycznego palącego się w przerwie międzystykowej dla dwóch rodzajów łączników przy napięciu przemiennym i natężeniu prądu o wartości 5 A oraz odpowiadające im wartości energii i czasu palenia się łuku.

Jak widać z tabeli 1, temperatura T1 kolumny łukowej łącznika z nakładkami ze srebra osiągnęła wartość średnią 8300 ± 200 K, maksymalną 8600 K, a minimalną 8100K, natomiast średnia temperatura T2 strefy przyelektrodowej wyniosła 6400 ± 200 K.

Dla łącznika ze stykami z miedzi (tabela 2) temperatura T1 kolumny łukowej posiada wartość średnią 8100 ± 200 K, maksymalną 8400 K, minimalną 8000, natomiast średnia temperatura T2 strefy przyelektrodowej wyniosła 6400 ± 200 K.

Tab. 1. Łącznik produkcji angielskiej z nakładkami stykowymi ze srebra, I=5A
Tab. 1. Switch of English make with silver contacts tips, I=5A

L.p	Energia łuku [J]	Czas palenia się łuku [ms]	Natężenie prądu A	T1 [K]	T2 [K]
-	[J]	[ms]	A	[K]	[K]
1	1,09	6,5	5	8100	6200
2	0,9	5,5	5	8100	6400
3	0,88	5	5	8400	6450
4	0,73	4,5	5	8250	6200
5	0,98	6	5	8600	6450
6	0,22	2,4	5	8600	6400
7	0,57	4	5	8400	6450
8	1,29	7,2	5	8400	6500
9	1,43	8,8	5	8250	6400
10	0,3	2,4	5	8400	6450
11	1,09	6,5	5	8250	6200
12	0,6	4	5	8250	6400
13	1,35	8	5	8400	6500
14	1,03	6	5	8400	6450
15	1,22	7,2	5	8400	6400
16	1,02	6	5	8400	6450
17	1,22	7,2	5	8100	6450
18	1,12	6,5	5	8100	6200
19	0,72	4,5	5	8250	6400
20	1,48	8,8	5	8100	6200
Wart. śr.	-	-	-	8300	6400

Tab. 2. Łącznik produkcji polskiej ze stykami miedzianymi, I=5A
Tab. 2. Switch of Polish make with cooper contacts, I=5A

L.p	Energia łuku [J]	Czas palenia się łuku [ms]	Natężenie prądu A	T1 [K]	T2 [K]
-	[J]	[ms]	A	[K]	[K]
1	1,49	8	5	8100	6450
2	1,19	6,4	5	8000	6200
3	0,4	1,2	5	8000	6200
4	1,1	6	5	8000	6200
5	0,59	3,5	5	8100	6400
6	0,65	4	5	8100	6200
7	0,69	3,5	5	8100	6450
8	0,69	3,5	5	8000	6400
9	1,26	6,5	5	8000	6200
10	0,76	4	5	8000	6400
11	0,68	4	5	8100	6400
12	1,48	7,5	5	8400	6500
13	1,29	6,5	5	8100	6400
14	1,38	7	5	8100	6450
15	1,03	6	5	8100	6400
16	0,76	4,5	5	8100	6400
17	1,36	6,5	5	8000	6200
18	1,07	6	5	8100	6450
19	1,42	6,5	5	8100	6450
20	1,35	6,5	5	8000	6200
Wart. śr.	-	-	-	8100	6400

Porównując temperaturę łuku w szczelinie międzystykowej łączników badanych w tych samych warunkach widać, że średnia temperatura kolumny łukowej łącznika ze srebrnymi nakładkami

stykowymi jest o około 200K wyższa niż dla styków miedzianych. Temperatura strefy przyelektrodowej jest zbliżona, niezależnie od rodzaju materiału z jakiego wykonane były styki.

6. Wnioski

Zastosowanie spektrofotometru do rejestracji widm łuku elektrycznego palącego się w szczelinie międzystykowej łącznika, w połączeniu z odpowiednim oprogramowaniem, pozwala określić jego temperaturę.

W oparciu o formułę Plancka wykonano teoretyczny wykres zależności temperatury od długości fali w maksimum widma ciągłego. Z zarejestrowanych widm wyodrębniono widma ciągłe, określono ich długości fali dla maksymalnych wartości natężenia promieniowania.

Porównując wartości maksymalne natężenia promieniowania zarejestrowanych widm z wykresem teoretycznym, określono temperaturę łuku elektrycznego palącego się w szczelinie międzystykowej.

Podczas pomiarów widma łuku w szczelinie międzystykowej badanych łączników zaobserwowano, że widmo ciągłe składa się z dwóch widm, różniących się temperaturą. Wysokotemperaturowa składowa pochodzi najprawdopodobniej od kolumny łukowej, natomiast obszar niskotemperaturowy znajduje się w strefie przyelektrodowej.

Dla badanego łącznika produkcji angielskiej z nakładkami ze srebra oraz łącznika produkcji polskiej ze stykami miedzianymi, średnie wartości temperatury kolumny łukowej wyniosły odpowiednio około 8300K oraz około 8100K, co może być związane z zastosowanymi materiałami oraz rozwiązaniami konstrukcyjnymi styków. Natomiast temperatura strefy przyelektrodowej w obu przypadkach jest zbliżona i wynosi około 6400K.

Opisana metoda określania temperatury palącego się łuku elektrycznego może być zastosowana w dowolnym układzie zestykowym jak i w innych układach, gdzie występuje konieczność określenia temperatury łuku elektrycznego.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2009 jako projekt badawczy N 51001932/2089

7. Literatura

- [1] Żukowski P., Kozak Cz., Karwat Cz. „Stanowisko do oceny trwałości łączników do przyrządów”, Zgłoszenie patentowe P357969, od 23.12.2002 r., Biuletyn Urzędu Patentowego Nr.13 (796), 2004, s.103.
- [2] S. Kęcki „Podstawy spektroskopii molekularnej” - wyd. PWN 1997r.
- [3] <http://www.oceanoptics.com/products/usb2000.asp>

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Studia Podyplomowe

Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki ogłasza nabór na Dwusemestralne Zaoczne Studia Podyplomowe

Systemy Pomiarowe i Sterowniki Programowalne (SPSP)

Cel Studiów

Celem studiów jest przekazanie wiedzy teoretycznej i umiejętności praktycznych w zakresie: projektowania, wdrażania i utrzymania ruchu systemów automatyki, programowania sterowników PLC oraz systemów nadrzędnych (SCADA), projektowania, programowania i eksploatacji automatycznych systemów pomiarowych w laboratoriach badawczych i przemysłowych, metod opracowania danych w systemach zapewnienia jakości procesów przemysłowych.

Studia prowadzone są na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, w systemie zaocznym w każdą sobotę lub w co drugi weekend (do wyboru) przez dwa semestry. Zajęcia prowadzone są przez nauczycieli akademickich ze stopniem co najmniej doktora oraz przez zaproszonych Gości o uznanym dorobku i autorytecie. Studia obejmują 200 godzin dydaktycznych. Rozpoczęcie Studiów nastąpi po skompletowaniu odpowiedniej liczby kandydatów na dany rodzaj studiów.

Organizator studiów:

Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, tel. 032 237 12 41, fax: 032 237 20 34, e-mail: re2@polsl.pl lub agnieszka.skorkowska@polsl.pl, <http://imeia.elekt.polsl.pl>

Kierownik studiów:

Prof. dr hab. inż. Tadeusz SKUBIS

Profil uczestnika studiów

Studia przeznaczone są dla pracowników o różnych specjalnościach, z wyższym wykształceniem o kierunku elektrycznym, elektronicznym, informatycznym lub pokrewnym, zajmujących się organizacją pomiarów w laboratoriach badawczych i przemysłowych lub eksploatacją oraz modernizacją systemów sterowania. Ich ukończenie pozwoli uczestnikom na podwyższenie kwalifikacji niezbędnych do sprawnego opracowywania i wdrażania nowoczesnych systemów. Absolwent Studiów otrzymuje Świadectwo Ukończenia Studiów Podyplomowych w zakresie objętym nazwą studiów.