

Jerzy JANISZEWSKI*
Karol NOWAK*

PROCESY CIEPLNE W ZESTYKACH ŁĄCZNIKÓW PRÓŻNIOWYCH PODCZAS PRZEWODZENIA PRĄDÓW ZWARCIOWYCH

Stan cieplny zestyków łączników zdeterminowany jest zarówno przez wartość płynącego prądu jak i warunki pracy łącznika. Warunki najłagodniejsze dotyczą styków zamkniętych, przewodzących prądy robocze. Sytuacja ulega znacznemu pogorszeniu w przypadku przewodzenia prądów zwarciovych, a największe skutki destrukcyjne towarzyszą w tym zakresie prądowym procesom komutacyjnym. Przekroczenie określonego poziomu destrukcji powoduje w zasadzie utratę zdolności łączeniowej łącznika. Śledzenie stanu cieplnego zestyków jest szczególnie trudne w łącznikach próżniowych, z uwagi na brak dostępu przetworników lub czujników pomiarowych do strefy stykowej. W takim przypadku istotne są badania symulacyjne (modelowe), zweryfikowane wynikami badań eksperymentalnych. W pracy przedstawiono wyniki takich badań, nakierowane na ich praktyczne wykorzystanie w projektowaniu i eksploatacji łączników próżniowych.

SŁOWA KLUCZOWE: zestyki, nagrzewanie styków, temperatura styków, nagrzewanie prądami zwarciovymi

1. WPROWADZENIE

W konstrukcjach łączników elektrycznych wyróżnić można zarówno zestyki odpowiedzialne za załączanie i wyłączanie obwodów prądowych (nazywane zestykami łączeniowymi) jak i zestyki tworzące ruchome bądź nieruchome połączenia (rozłączne lub nierozłączne), będące zestykami nielączeniowymi [1, 2]. Dwa styki tworzące zestyk rozłączny dociśnięte są do siebie przez mechanizm łącznika, przy czym rzeczywisty obszar ich przylegania zależny jest zarówno od stanu gładkości powierzchni obydwu elektrod, ich czystości oraz od siły docisku wywieranej przez napęd łącznika [1, 2, 3]. Ze względu na zróżnicowaną topografię elektrod (wywołaną w nowym łączniku procesami obróbki, a w eksploatowanym erozyjnymi skutkami procesów łączeniowych), wypadko-

* Politechnika Poznańska.

wa (całkowita) wielkość powierzchni styczności jest sumaryczną powierzchnią w punktach przylegania i stanowi zaledwie kilka procent powierzchni pozornej (wynikającej z wymiarów geometrycznych stykających się elektrod). Liczba rzeczywistych mikropunktów styczności jest w znacznej mierze uzależniona od sposobu i dokładności obróbki powierzchni roboczych oraz od twardości materiałów stykowych [4, 5]. Zagęszczenie strug prądowych w obszarach styczności utrudnia przepływ prądu, objawiający się wzrostem spadku napięcia w strefie stykowej, co jest równoważne z wystąpieniem tam wzrostu rezystancji toru prądowego (powstaniem tzw. rezystancji przejścia). W typowych warunkach pracy na rezystancję tę składają się rezystancja przewężenia toru oraz rezystancja powstających na powierzchniach styczności warstw nalotowych. W przypadku łączników próżniowych wpływ warstw nalotowych jest znikomy i w przedstawionych rozważaniach został pominięty.

Podczas pracy przepustowej aparatów elektrycznych, zarówno przy przewodzeniu prądów roboczych jak i zakłóceń (w tym także zwarciovych), to właśnie zestyki łączeniowe są najbardziej narażone na skutki cieplne przepływu prądu. Zgodnie z prawem Joule'a, ciepło wydziela się zarówno na rezystancji ich doprowadzeń prądowych jak i na samej rezystancji zestykowej. Stan cieplny zestyków pracujących w próżni w ustalonych warunkach roboczych, jak i rozkład temperatury wzdłuż torów prądowych układu stykowego przykładowych próżniowych komór gaszeniowych przedstawiono w pracy [6]. Z punktu widzenia projektowego i eksploatacyjnego ważne znaczenie poznawcze ma też ocena temperatury maksymalnej zestyków oraz jej przestrzennego rozkładu w torach łączników przy przepływie prądów zwarciovych. Przedstawione w pracy badania symulacyjne i weryfikacyjne wykonano z nakierowaniem na możliwość wyznaczania zwarciowej obciążalności cieplnej zestyków w komorach gaszeniowych łączników próżniowych. Obciążalność ta jest w przepisach definiowana n-sekundową, dopuszczalną wartością prądu cieplnego – zastępczego, którą może zestyk wytrzymać (w czasie n-sekund) bez uszkodzenia, rozumianego jako szczenie lub trwałe odkształcenie.

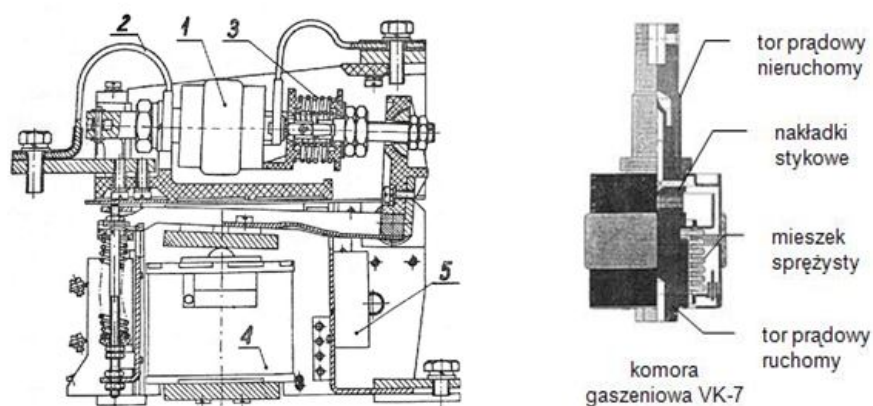
2. ZAŁOŻENIA WSTĘPNE DO OCENY ROZKŁADU TEMPERATURY W ZESTYKU PRZEWODZĄCYM PRĄD ZWARCIOWY

2.1. Identyfikacja obiektów badań i ich parametry techniczne

Przedmiotem badań są zestyki komór gaszeniowych trójfazowych styczni-
ków próżniowych SV-7 o prądzie znamionowym 250 A, produkowanych od
wielu lat przez OBR-Oram w Łodzi. Na bazie tych wyrobów w/w Producent
opracował kolejne konstrukcje o podwyższonych parametrach znamionowych:

SV400...630 oraz SV-8G. Styczniki te przeznaczone są do łączenia obwodów elektrycznych prądu przemiennego (w tym w szczególności obwodów zasilających silniki) w warunkach pracy ciągłej, dorywczej lub przerywanej, w kategoriach użytkowania AC1, AC2, AC3 i AC4 [1].

Elementami wykonawczymi styczników serii SVxx (rys. 1) są trzy jedno-przerwowe, próżniowe komory gaszeniowe VK-7 (1), z których każda wyposażona jest w jeden ruchomy i jeden nieruchomy tor prądowy. Końcówki torów komór gaszeniowych wyposażone są w nakładki stykowe, a podstawowy docisk zestyku wywierany jest przez siłę będącą różnicą sił wynikających z ciśnień panujących na zewnątrz i wewnątrz komory. Wymagany docisk roboczy należy ustalać za pomocą ściskania dodatkowej sprężyny odprężającej (3), nałożonej na ruchomy tor prądowy. Obydwa toru prądowe każdej komory próżniowej połączone są poprzez podatne wyprowadzenia (2) – płaskie plecionki wielodrutowe – z zaciskami przyłączowymi, umożliwiającymi podłączenie przewodów zewnętrznych. Układem napędowym stycznika jest dwucewkowy elektromagnes prądu stałego (4), zasilany albo bezpośrednio z źródła prądu stałego, albo (prądem przemiennym) przez zainstalowany w styczniku prostownik (5). Podatne przyłącza komór próżniowych mają przekroje ok. 125 mm^2 , natomiast tory prądowe samych komór i nakładek stykowych ok. 300 mm^2 , co jest wystarczające dla obciążalności znamionowej 250 A i granicznych wartości temperatur zamieszczonych w tabeli 1.



Rys. 1. Budowa stycznika SV-7 i jego komory gaszeniowej VK-7 [1]

Przedstawione w pracy badania symulacyjne, nakierowane na możliwość ich weryfikacji doświadczalnej, wykonano w odniesieniu do typowych konstrukcji i parametrów eksploatacyjnych styczników próżniowych, stąd też w tabeli 1 zestawiono ważniejsze dane techniczne przedmiotowych styczników, wykorzystane w obliczeniach analitycznych.

Tabela 1. Wybrane parametry techniczne styczników próżniowych SV7 [8,9]

1	Znamionowy prąd ciągły torów głównych	A	250*, 400**	
2	Znamionowy prąd 1–sekundowy	A	4500	
3	Znamionowy prąd 8–sekundowy	A	1700	
4	Znamionowy prąd 10–sekundowy	A	1480	
5	Docisk styków głównych	N	43 ÷ 54	
6	Maksymalny spadek napięcia na stykach głównych przy prądzie stałym 100A	mV	35	
7	Graniczny przyrost temperatury zacisków przyłączeniowych torów głównych	°C	50*	70*
8	Graniczny przyrost temperatury połączeń podatnych – w bezpośrednim sąsiedztwie mocowania do komory	°C	85*	105*
9	Graniczny przyrost temperatury tulei obudowy komory	°C	85*	105*

* dla temperatury otoczenia 55 °C

** dla temperatury otoczenia 35 °C

W badaniach eksperymentalnych przedstawionych w pracy [10] wykazano, że spadki napięć na komorach gaszeniowych styczników SV7 są 2–5 krotnie mniejsze niż spadki na zaciskach przyłączeniowych całego stycznika. Wynikająca zatem z tabeli 1 rezystancja zastępcza stycznika $R = 350 \mu\Omega$ nie jest reprezentatywna dla samych komór gaszeniowych. Dla szeregu zbadanych komór SV7, z którymi wykonane próby nagrzewania spełniały wymagania dopuszczalnych przyrostów temperatur podanych w tabeli 1, stwierdzono że ich zmierzone rezystancje przejścia mieszczą się w przedziale (36,5 – 172,5) $\mu\Omega$. Zgodnie z oczekiwaniami, przyrosty temperatur wszystkich elementów nagrzewanych prądem znamionowym styczników są mniejsze dla mniejszych rezystancji zestykowych komór gaszeniowych. Stałe czasowe nagrzewania wszystkich części torów prądowych są nie mniejsze niż 20 minut.

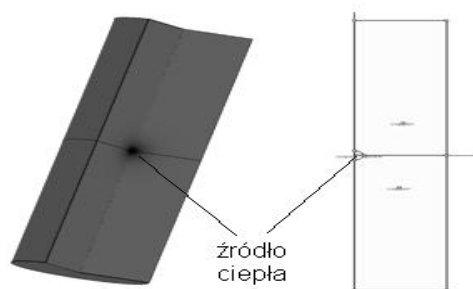
2.2. Założenia i procedury obliczeniowe

Dla procesów cieplnych przebiegających w warunkach zwarciovych, z uwagi na krótkie czasy trwania zwarć zakłada się, że nie występuje wymiana ciepła z torów prądowych do otoczenia (procesy adiabatyczne). Dla torów prądowych styczników założenie to jest także uzasadnione, jednak dla uproszcze-

nia procedury obliczania temperatury w stykach założono dodatkowo, że przyrost temperatury torów doprowadzających (wywołany adiabatycznym nagrzewaniem rezystancyjnym) zostanie pominięty. Przyrost ten, z uwzględnieniem zmienności rezystywności i ciepła właściwego materiału torów, można wyznaczyć klasycznymi sposobami, przedstawionymi w normach i literaturze przedmiotowej np. [11]. Podobnie pominięty został przyrost temperatury torów, wywołany przepływem prądu roboczego (np. znamionowego), którego wyznaczenie i rozkład wzdłuż doprowadzeń prądowych zestyków komór VK7 przedstawiono w pracy [6]. Mając na uwadze rozpoznanie przebiegu nagrzewania, temperaturę początkową styków przyjęto 293 K, natomiast założenia upraszczające można zniwelować przez superpozycję uzyskanych wyników z wynikami obliczeń nagrzewania rezystancyjnego torów prądowych, wskazanymi wcześniej.

Obliczenia symulacyjne wykonano w programie Agros2D, będącym wieloplatformowym programem do rozwiązywania zagadnień polowych i przepływowych, opracowanym (w kategorii wolnego dostępu) na Uniwersytecie Zachodnim w Pilźnie [12].

Z uwagi na przyszłe możliwości weryfikacyjne w obwodach probierczych do obliczeń przyjęto znamionowy prąd zwarcia 8-sekundowy $I = 1700$ A. Symulacje wykonano dla zestyków o średnicy 20 mm i łącznej z doprowadzeniami długości 30 mm. Dla oceny porównawczej przeprowadzono wyznaczenie rozkładu temperatury w zestykach o rezystancji przejścia $162 \mu\Omega$ i $50 \mu\Omega$ (reprezentujących skrajne zakresy rezystancji komór próżniowych, zbadanych w pracy [10]), dla czasów trwania zwarcia 8 s oraz porównawczo 1 s. Model obliczeniowy, zaimplementowany w programie Agros2D przedstawiono na rysunku 2.



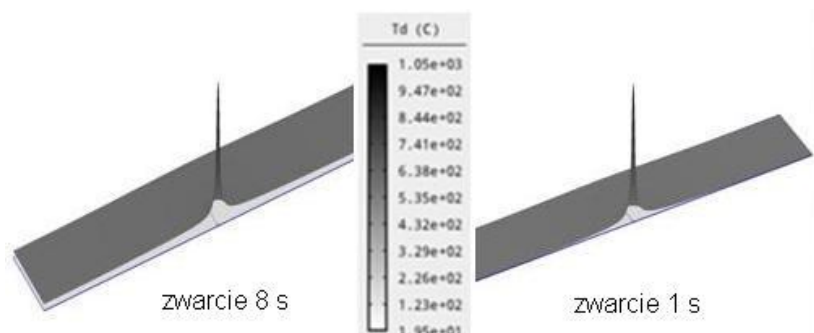
Rys. 2. Model geometryczny do obliczania rozptywu ciepła w zestyku, przyjęty do obliczeń w programie Agros2D

Model obliczeniowy rezystancji przejścia przyjmuje obszar styczności styków w postaci kuli (w dokładniejszych analizach elipsoidy) o średnicy odpowiadającej średnicy tzw. zastępczego obszaru styczności. Przykładowe wyliczone wartości promienia styczności dla różnych sił docisku styków i różnych mate-

riałów stykowych przedstawiono w pracy [13]. W przyjętej procedurze obliczania rozplywu ciepła w zestykach założono objętościowe źródło ciepła o mocy Ri^2 (przy czym prąd jest sinusoidalnie zmienny) wydzielanej w kuli o promieniu odpowiadającym zastępczemu promieniowi styczności styków, umieszczonym w płaszczyźnie ściśnięcia elektrod (rys. 2).

3. PRZYKŁADOWE REZULTATY OBLICZEŃ

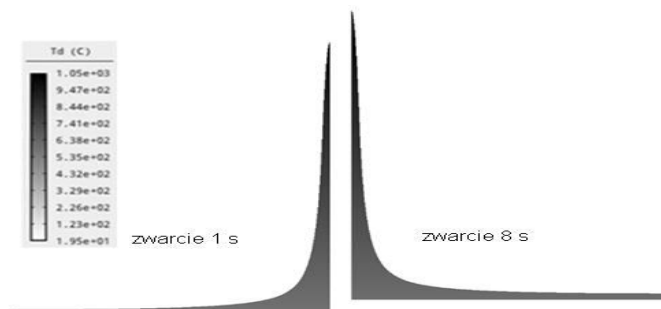
W procedurze obliczeń rozplywu ciepła w zestykach wybrano charakterystyczne punkty obliczeniowe, leżące zarówno na osi zestyku jak i na jego powierzchni. Rozkład zmian temperatury w zestyku i jego doprowadzeniach dla zwarcia o czasach trwania 8 s i 1 s przedstawiono na rys.3.



Rys. 3. Rozkład temperatury w zestyku modelowym o rezystancji $162 \mu\Omega$ (w przekroju wzdłuż osi i w płaszczyźnie styczności) dla wyłączenia prądu zwarcia 1700 A po czasie 8 s i 1 s

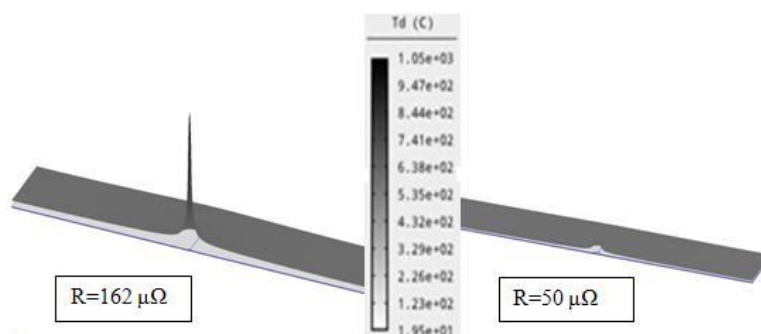
Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w punkcie styczności dla 8-sekundowego znamionowego prądu zwarcia 1700 A temperatura osiąga wartość przekraczającą temperaturę topnienia typowego materiału stykowego (Cu–1083°C, Ag–960°C, AgW – 960°C). Dodatkowo stwierdzono, że nawet ograniczenie czasu zwarcia do 1 s nie zmienia istotnie rozkładu temperatury. Czytelniej ilustruje to rys. 4, przy czym dodatkowo porównanie temperatur w punkcie styczności i w końcowych odcinkach torów prądowych zestyku potwierdza wpływ ograniczonej dyfuzyjności cieplnej materiału elektrod na wyrównywanie się rozkładu temperatury w stykach.

Zdecydowany wpływ na wartość maksymalną i rozkład temperatury w stykach ma wartość rezystancji zestykowej. Mniejszej rezystancji odpowiada zarówno mniejsza wartość wydzielanej w stykach mocy jak i (dla tego samego rodzaju materiału stykowego) większa powierzchnia styczności, a w konsekwencji mniejsza gęstość strumienia ciepła wprowadzanego do elektrod.



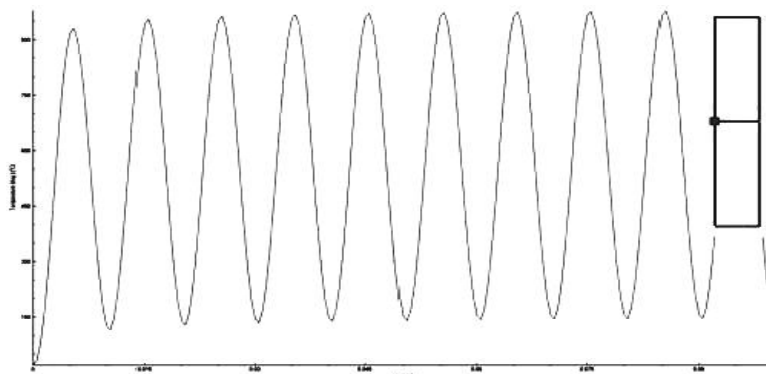
Rys. 4. Porównanie wartości i rozkładu temperatur w zestyku modelowym dla różnych czasów trwania zwarcia

Na rys. 5 pokazano rozkłady temperatur w zestykach o zdecydowanie różnych wartościach rezystancji przejścia, odpowiadających wartościom rezystancji rzeczywistych zestyków komór gaszeniowych, instalowanych w stycznikach SV7. Rozkłady temperatury przedstawiono w takiej samej skali odniesienia.



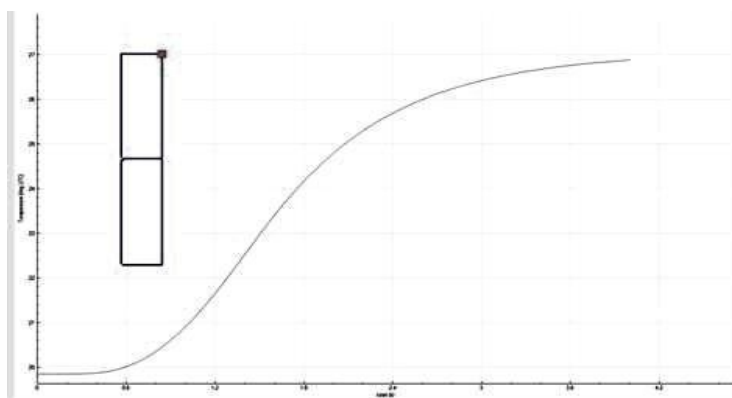
Rys. 5. Rozkład temperatury w zestykach modelowych o rezystancji $162 \mu\Omega$ i $50 \mu\Omega$ (w przekroju wzdłuż osi i w płaszczyźnie styczności) dla wyłączenia prądu zwarciovego 1700 A po czasie 8 s

Można wykazać, że obszary styczności charakteryzują się niewielką stałą czasową nagrzewania (wg Kryńskiego [1], dla siły docisku styków 50 N, są to czasy rzędu 10^{-4} s). Sinusoidalny prąd płynący przez rezystancję zestykową wydziela na niej ciepło, a moc źródła ciepła wyrażona iloczynem RI^2 ma charakter okresowy o częstotliwości dwukrotnie większej od częstotliwości prądu. Okres jej zmienności ($T = 10$ ms) jest i tak o 1–2 rzędy wielkości większy od stałej czasowej nagrzewania punktu styczności zestyku. Wynika stąd, że chwilowe zmiany lokalnej temperatury na mikropowierzchni styczności mogą nadążać za okresowymi zmianami mocy źródła ciepła. Sytuację taką potwierdza przebieg zmian temperatury w czasie, przedstawiony na rys. 6.



Rys. 6. Chwilowe zmiany temperatury w czasie w punkcie styczności zestyku, oś pionowa – temperatura ($150^{\circ}\text{C}/\text{działkę}$), oś pozioma – czas ($10\text{ ms}/\text{okres}$)

Przydatna dla badań weryfikacyjnych jest ocena temperatury na powierzchni elektrod po nagrzewaniu prądem zwarciovym. Narastanie temperatury na powierzchni modelowego styku w czasie 1-sekundowego zwarcia z prądem o wartości 1700 A pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Narastanie temperatury na powierzchni zestyku modelowego, wyznaczone w programie Agros2D, oś pionowa – temperatura ($1^{\circ}\text{C}/\text{działkę}$, początek skali $19,6^{\circ}\text{C}$), oś pozioma – czas ($0,6\text{ s}/\text{działkę}$, początek skali 0 s)

Przyrost temperatury na powierzchni elektrod charakteryzuje się niewielką wartością (ok 7 stopni) i znacznym opóźnieniem w stosunku do nagrzewania się punktu styczności. Potwierdza to po raz kolejny ograniczoną prędkość wyrównywania się temperatur, spowodowaną stosunkowo niską dyfuzyjnością cieplną materiału elektrod.

4. WSTĘPNA OCENA WYNIKÓW BADAŃ I ICH ANALIZA

Na podstawie teorii nagrzewania się styków można wykazać, że wzrost temperatury w bezpośredniej strefie styczności spełnia zależność [2, 11]:

$$\Delta T = \frac{U_p^2}{8\rho_g\lambda} \quad (1)$$

w której: ρ_v – rezystywność materiału toru prądowego (zależna od temperatury), λ – współczynnik przewodności cieplnej przewodnika U_p – spadek napięcia na rezystancji zestykowej ($U_p = I R_{pv}$).

Z badań symulacyjnych wynika, że spodziewane w zestyku temperatury są wysokie, zatem dla materiałów stykowych można przyjąć stosowalność prawa Wiedemanna–Franza–Lorenza:

$$\rho\lambda = L\theta \quad (2)$$

gdzie: L – stała równa ok $2,4 \cdot 10^{-8}$, θ – temperatura w skali bezwzględnej.

Temperatura punktu styczności jest wówczas równa:

$$\theta_p = \sqrt{(\theta)_m + \frac{U_p^2}{4L}} \quad (3)$$

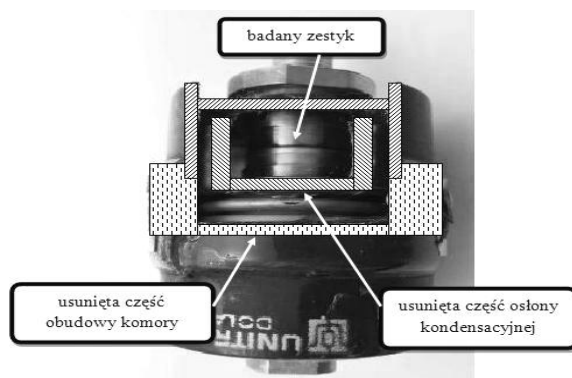
Podstawiając wartość $U_p^2 = R_p I^2$ oraz dane materiałowe dla styków wykonanych z AgW50/50 uzyskuje się wartość temperatury styku ok. 950 K (przy założonych wcześniej uproszczeniach dotyczących pominięcia nagrzewania rezystancyjnego torów prądowych). Jest to wartość niższa niż wynika z badań symulacyjnych, choć z uwagi na brak jednoznacznych danych o rzeczywistych parametrach materiałowych elektrod można uznać porównanie uzyskanych temperatur za satysfakcjonujące.

Próbie oceny poprawności wyników symulacyjnych przeprowadzono również w sposób doświadczalny. Próby z prądem zwarciovym o wartości 1700 A wykonano z wykorzystaniem hermetycznej komory próżniowej VK7 oraz (wobec założenia braku wymiany ciepła z otoczeniem w trakcie krótkich prób zwarciovych) na rozszczelnionej komorze, pozbawionej fragmentów obudowy. W obydwu przypadkach odnotowano słabe szczepienia styków, wskazujące na przekroczenie w zestyku temperatury topnienia. Do oceny temperatury na powierzchni elektrod komory wykonano badania termowizyjne zestyków komory rozszczelnionej. Widok wykorzystanej w badaniach komory przedstawia rys. 8.

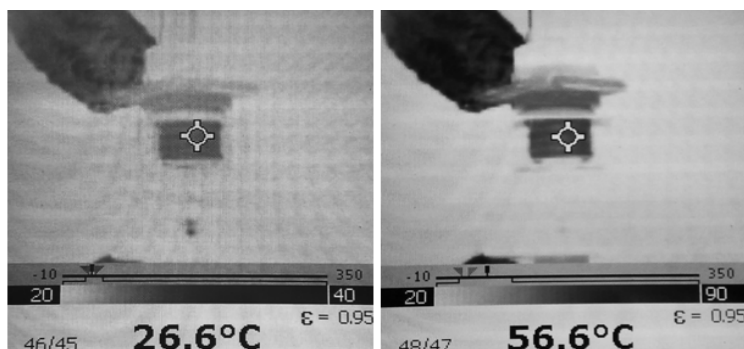
Na rysunku 9 przedstawiono termogramy z prób zwarciovych komory doświadczalnej, zarejestrowane dla zwarcia 1 i 8 sekundowego.

Porównując uzyskane wyniki doświadczalne z przebiegiem nagrzewania powierzchni bocznej elektrod, przedstawionym na rys. 6, dla zwarcia 1 sekundowego można stwierdzić dużą zgodność uzyskanych wyników pomiarowych i symulacyjnych. Mniejszą zgodność uzyskano dla zwarcia 8 sekundowego.

Rejestracje termograficzne potwierdziły wykazaną wcześniej zwłokę w narastaniu temperatury na powierzchni elektrod, w stosunku do chwili załączenia (a także wyłączenia) przepływu prądu probierczego.



Rys. 8. Doświadczalna komora „próżniowa”, wykorzystana w próbach nagrzewania prądami zwarciovymi



Rys. 9. Termogramy z badań zwarciovych zestyków komory próżniowej VK7 (wyniki dla prób 1sekundowej i 8sekundowej)

5. PODSUMOWANIE

Przedstawione w pracy badania modelowe, zweryfikowane w pewnym zakresie wynikami badań na rzeczywistych obiektach, potwierdzają potencjalną możliwość wyznaczania temperatury rzeczywistej zestyków metodami obliczeniowymi. Jest to zagadnienie ważne z punktu widzenia diagnostyki zestyków łączników elektroenergetycznych będących w eksploatacji. Ciepła wytrzymałość zwarciova łączników podawana jest w postaci n-sekundowego prądu zwarcioego. Ponieważ chwilowe zmiany temperatury styku „nadażają” za

okresowymi zmianami mocy wydzielanej na rezystancji przejścia, rzeczywistą (chwilową) temperaturę powierzchni stykowych powinno się wyznaczać dla największego prądu udarowego, który w obwodach elektroenergetycznych może nawet ponad 2,5-krotnie przekraczać wartość prądu zwarciovego początkowego (utożsamianego w obwodach rozdzielczych z prądem zwarciovym cieplnym). Dbałość o małą rezystancję przejścia (np. przez utrzymywanie dużego docisku styków lub regenerację stanu powierzchni stykowych) znacznie ogranicza skutki cieplne w zestykach. Dla takich przypadków nie stwierdzono przekroczenia temperatury topnienia powierzchni stykowej. Dla celów eksploatacyjnych wydaje się celowe rozważenie możliwości ustalania dopuszczalnej rezystancji przejścia zestyków (a nie całego bieguna łącznika lub spadku napięcia na nim) dla utrzymania zgodności między znamionowym prądem n-sekundowym, a dopuszczalną temperaturą styków, mniejszą od temperatury topnienia.

LITERATURA

- [1] Kryński J., Elektryczne aparaty rozdzielcze, cz.I, PWN, Łódź – Warszawa, 1963.
- [2] Maksymiuk J., Aparaty elektryczne, WNT, Warszawa, 1992.
- [3] Holm R., Electric Contacts – Theory and Application, Springer-Verlag, Berlin, 1967.
- [4] Kulas S., Tory prądowe i układy zestykowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2008.
- [5] Johannet P., Study of a mathematical model representing the ageing of electrical contacts versus time, Trans. IEEE on Pas (1972), p. 1211–1219.
- [6] Janiszewski J., Batura R., Badania modelowe stanu cieplnego zestyków elektrycznych Poznan University of Technology Academic Journals, No83, 2015, pp: 253–260.
- [7] Instrukcja instalowania, obsługi i konserwacji styczników próżniowych typu SV-7, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Aparatury Manewrowej ORAM.
- [8] Styczniki próżniowe prądu przemiennego typy SV7 i SV7W o napędzie elektromagnesowym, Wymagania i Badania, dokumentacja: Warunki Techniczne Odbioru, EMA ELESTER, 1975.
- [9] Stycznik próżniowy niskiego napięcia 1,2kV, publikacja internetowa, www.oram.lodz.pl.
- [10] Janiszewski J., Batura R., Książkiewicz A., Badania diagnostyczne łączników próżniowych – etap I, Praca 41-777/13/DS, Poznań, 2013.
- [11] Au A., Maksymiuk J., Pochanke Z., Podstawy obliczeń aparatów elektroenergetycznych, WNT, W-Wa, 1976.
- [12] Multiplatform application for the solution of physical problems Agros2D, URL: <http://www.agros2d.org/>.
- [13] Janiszewski J., Książkiewicz A., Badania modelowe rezystancji zestykowej łączników próżniowych, Electrical Engineering, Poznan University of Technology Academic Journals, No78, 2014, pp: 167–174.

**THERMAL PROCESSES IN THE CONTACTS OF VACUUM SWITCHES
DURING SHORT-CIRCUIT CURRENTS CONDUCTING**

The thermal state of the contacts switches is determined both by the value of the electric current and the working conditions of the switch. The mildest conditions apply to the closed contacts which conduct operating currents. The situation deteriorates greatly in the case of short-circuit current conduction, and the most destructive effects occur at such current range in commutation processes. Exceeding of a specified level of destruction will, in principle, lead to loss of the switching ability of a switch. Tracking the thermal state of the contacts is particularly difficult in the vacuum switches, due to the impossibility of mounting of transducers or measuring sensors in the contact zone. In this case simulation-based research verified by experimental results are important. The paper presents results of such studies focused on their practical use in the design and exploitation of vacuum switches.

(Received: 15. 02. 2017, revised: 27. 02. 2017)