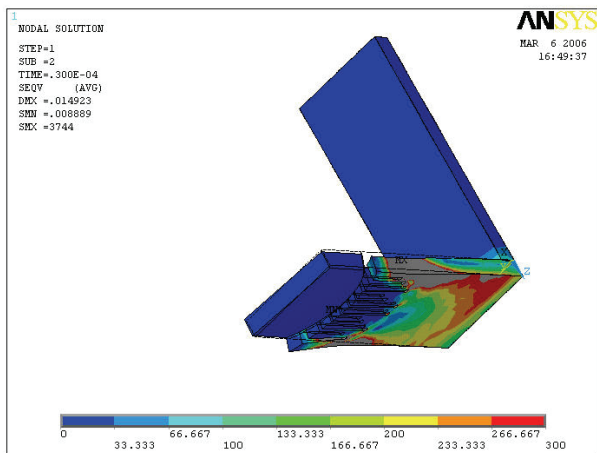
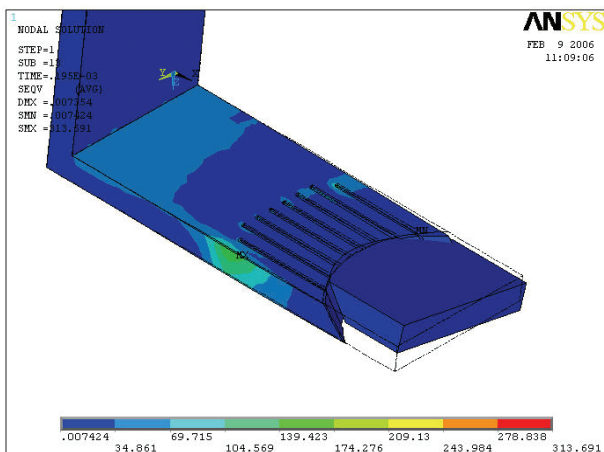


cele. Na rysunku 4 pokazano naprężenia mechaniczne w zaprojektowanym z wykorzystaniem programu ANSYS układzie stykowym załącznika zwarciovego dla kąta styczności styków 75° i dla czasu $0,3 \cdot 10^{-4}$ s. Analiza uzyskanych wyników wykazała optymalną pracę układu stykowego pod względem redukcji naprężeń mechanicznych i odskoków.



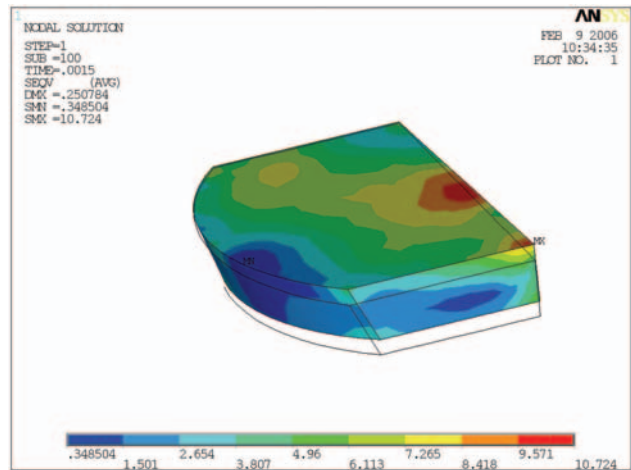
Rys.4. Naprężenia styku nieruchomego podczas załączania

Zauważono zwiększoną wartość naprężeń na krawędziach i stykach zewnętrznych. W pierwszej chwili uderzenia to one pochłaniają najwięcej energii tego uderzenia. Zauważono również niejednoczesność zetknięcia styków nieruchomego ze stykiem ruchomym. Jest to zjawisko, z którym spotkano się w załączniku zwarciovym. W jego wyniku pojawiają się przeciążenia spowodowane przepływem dużej wartości prądu przez stosunkowo niewielki przekrój. W konsekwencji doprowadza to do ubytków materiału i pogorszenia parametrów mechanicznych, a w szczególności parametrów elektrycznych. Warto zaznaczyć, że przeprowadzone symulacje wykazały zupełną losowość zetknięcia się styków nieruchomego ze stykiem ruchomym załącznika zwarciovego. Naprężenia działające na układ podczas procesu załączania prądu dla kąta $\alpha = 75^\circ$ styczności styków przedstawiono dla czasu $0,195 \cdot 10^{-3}$ s na rysunku 5.

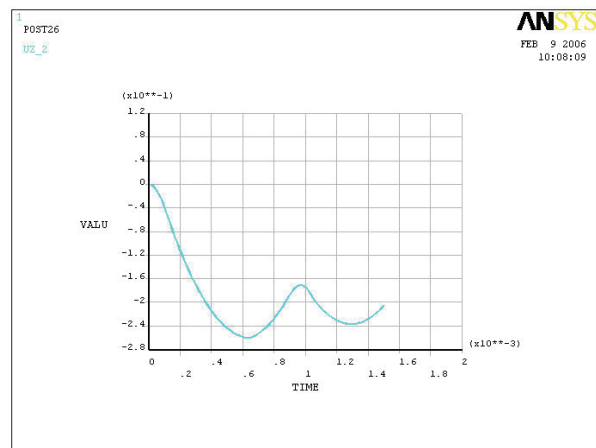


Rys.5. Naprężenia działające na układ podczas procesu załączania prądu dla kąta $\alpha = 75^\circ$ styczności styków przedstawiono dla czasu $0,195 \cdot 10^{-3}$ s

Na rysunku 6 przedstawiono naprężenia mechaniczne styku ruchomego podczas załączania. Na rysunku 7 przedstawiono drogę styku ruchomego załącznika zwarciovego.



Rys. 6. Naprężenia styku ruchomego podczas załączania

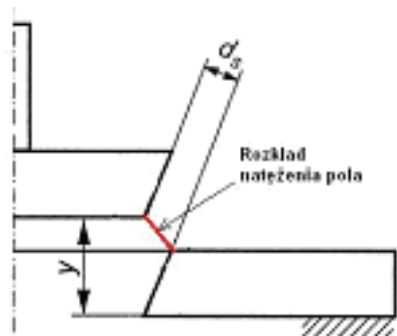


Rys. 7. Droga styku ruchomego załącznika dla optymalnych parametrów układu

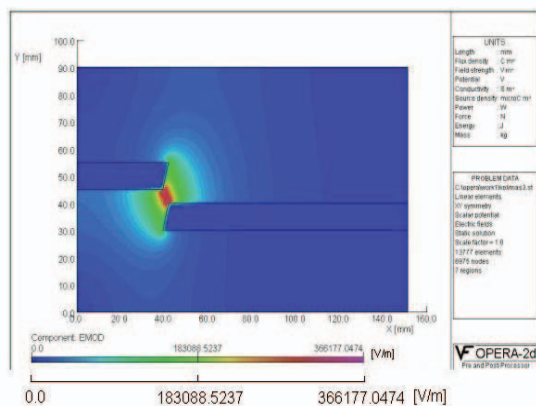
Na rysunku 7 pokazano ruch styku ruchomego załącznika zwarciovego dla kąta schodzenia się styków $\alpha = 75^\circ$, prędkości styku ruchomego 2,5m/s, dla współczynnika Poissona i modułu Younga miedzi. Przedstawiona droga styku ruchomego załącznika zwarciovego to dowód, że przez odpowiednie kształtowanie jego styków uzyskano układ stykowy bez odskoków styku ruchomego. Zauważono, że podczas załączania następuje wciśnięcie styku ruchomego poniżej styków nieruchomych. Następnie widać delikatne pulsacje całego układu zestykowego, które – jak wynika z przeprowadzonych pomiarów na obiekcie rzeczywistym – kończą się po upływie 2 ms. Styk ruchomy załącznika zwarciovego po załączeniu pod wpływem swojej masy i sprężyny napędowej jest wciśnięty w styki nieruchome. Wskutek tego zapewniona jest odpowiednia siła docisku, która zmniejsza rezystancję przejścia, a więc zwiększa wartość ewentualnego prądu szczyptenia.

Badania natężenia pola elektrycznego

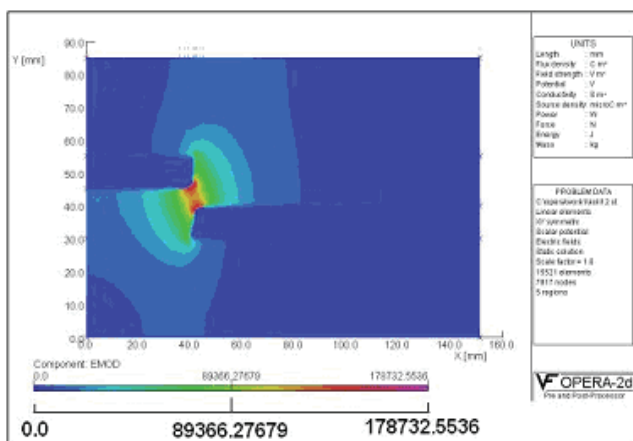
Na rysunku 8 pokazano schemat przerwy między-stykowej załącznika zwarciovego, w której badano rozkład natężenia pola elektrycznego. Na rysunku 9 pokazano rozkład natężenia pola w przerwie międzystykowej załącznika zwarciovego. Przerwa międzystykowa wynosiła 5 mm. Ważnym elementem badań było odpowiednie ukształtowanie powierzchni styczności styków łącznika. Na rysunku 9 przedstawiono rozkład natężenia pola elektrycznego dla kątów ostrych styków. Na rysunku 10 przedstawiono rozkład natężenia pola elektrycznego dla promienia zaokrąglenia styków łącznika $r=40^\circ$.



Rys. 8. Schemat przerwy międzystykowej, w której badano rozkład natężenia pola elektrycznego



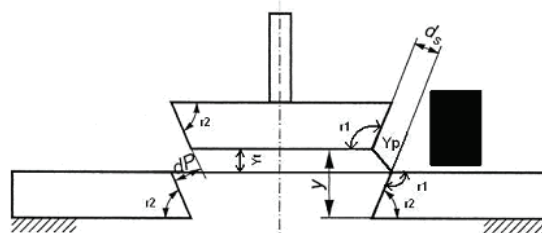
Rys. 9. Rozkład natężenia pola elektrycznego dla przerwy międzystykowej równej 5mm i kątów ostrych styków



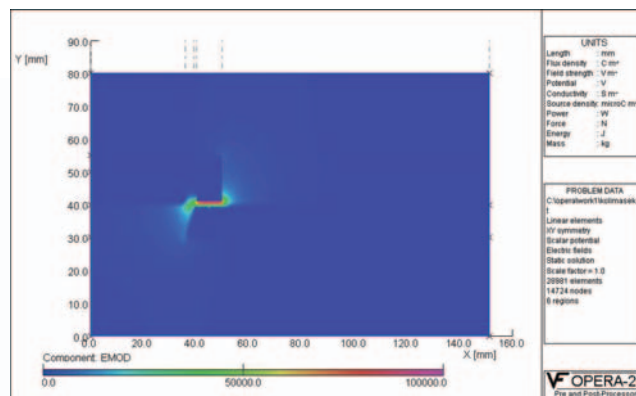
Rys. 10. Rozkład natężenia pola elektrycznego dla promienia zaokrąglenia styków łącznika $r = 40^\circ$

Analizując wartość natężenia pola elektrycznego w przerwie międzystykowej i stosując zaokrąglenia końcówek styków zredukowano wartość natężenia pola elektrycznego o połowę w stosunku do ostrych zakończeń styków. W praktyce wpływa to na zwiększenie wytrzymałości elektrycznej przerwy międzystykowej i zmniejszenie erozji elektrycznej styków.

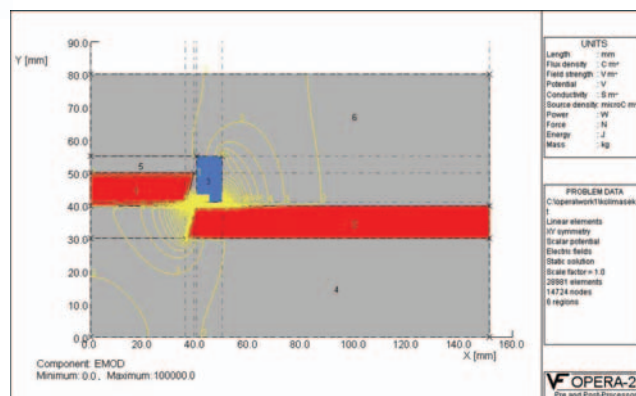
Bardzo ważnym elementem badań były badania dotyczące zastosowanie elementów o innej przenikalności elektrycznej niż powietrze do bocznikowania natężenia pola elektrycznego. Na rysunku 11 pokazano schemat ideowy układu stykowego z elementem rozpraszającym natężenie pola elektrycznego. Przenikalność elektryczna materiału powinna zawierać się między 200 a 300. Na rysunku 12 pokazano rozkład natężenia pola z elementem o przenikalności elektrycznej równej 200.



Rys. 11. Schemat układu stykowego załącznika zwarcowego z elementem rozpraszającym natężenie pola elektrycznego



Rys. 12. Rozkład natężenia pola elektrycznego w układzie stykowym załącznika zwarcowego z elementem rozpraszającym o przenikalności elektrycznej równej 200

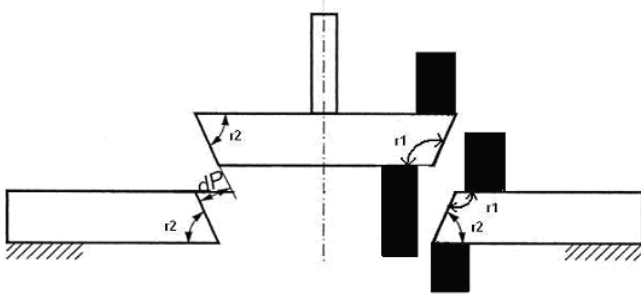


Rys. 13. Linie ekwipotencjalne pola elektrycznego

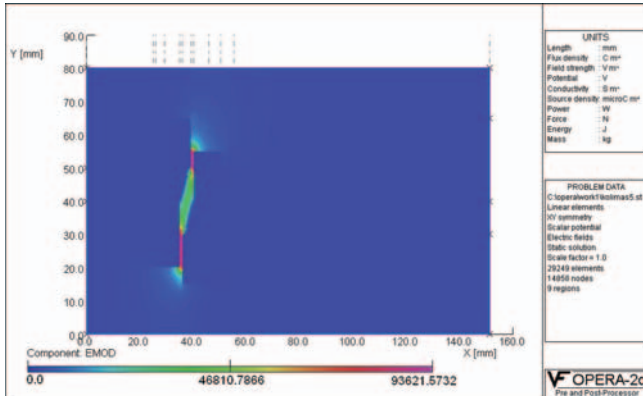
Na rysunku 13 pokazano linie ekwipotencjalne pola elektrycznego wynikającego z zastosowania elementu rozpraszającego. Wykorzystując wyniki poprzednich analiz opracowano system współpracujących ze sobą elementów rozpraszających natężenie pola elektrycznego.

Na rysunku 14 pokazano schemat ideowy układu stykowego załącznika zwarcowego z systemem elementów rozpraszających natężenie pola elektrycznego. Układ stykowy został tak zaprojektowany, by w odpowiedniej chwili czasowej zawsze następowała redukcja natężenia pola elektrycznego w przerwie międzystykowej.

Na rysunku 15 przedstawiono rozkład natężenia pola elektrycznego dla układu pokazanego na rysunku 14. Wykorzystując elementy o innej przenikalności elektrycznej niż powietrze uzyskano znaczną redukcję natężenia pola elektrycznego. W stosunku do układu pokazanego na rysunku 9 zredukowano wartość natężenia pola elektrycznego o 75%. Takie rozwiązanie znacznie redukuje erozję elektryczną powstałą na skutek palenia się łuku elektrycznego.



Rys. 14. Schemat ideowy układu stykowego załącznika zwarcowego z systemem elementów rozpraszających natężenie pola elektrycznego



Rys. 15. Rozkład natężenia pola elektrycznego w przerwie międzystykowej załącznika zwarcowego

Wnioski

Wszystkie opisane badania miały na celu dobranie parametrów układu stykowego załącznika zwarcowego tak, aby poprawić warunki mechaniczne i elektryczne łącznika. Warunkami tymi jest przede wszystkim możliwość przyjęcia jak najmniejszych docisków, spełniających jednak wymagania elektryczne. Trzeba równocześnie pamiętać, że zwiększenie docisku zmniejsza niezawodność pracy zestyku przez zwiększenie możliwości uszkodzeń sprężyny i odkształceń powierzchni styeczności. Poświęcono tak wiele uwagi zagadnieniom mechanicznym załącznika, ponieważ należy mieć na uwadze, że dla aparatów elektrycznych średniego napięcia wymagana trwałość mechaniczna wynosi 2000 przestawień (zamykania i otwierania zestyku).

LITERATURA

- [1] Kuffel J., Zaengel W., High voltage engineering, Butterworth-Heinemann, Oxford 2000
- [2] Slade P.: Electrical contacts, *Manel Dekker Inc.*, New York 1999
- [3] Ballat J., König D., Insulation characteristics and welding behaviour of butt contacts made of CuCr different processes, *15th Int. Symp. On DEIV, Darmstadt 1992*
- [4] Dolinskiej M., Poljakowa S.: Isslijedowanje silnotocznych kontaktow pri skwoznych tokach korotogo zamykania, „*Elektriczeskije kontakty i elektrody*”, Kijew 1977
- [5] Zagrajek T., Krześniński G., Marek P., Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005

Autorzy:

prof. dr hab. inż. Stanisław Kulas, Politechnika Warszawska, Katedra Wysokich Napięć i Aparatów Elektrycznych, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: stanislaw.kulas@ien.pw.edu.pl;
mgr inż. Łukasz Kolimas, Politechnika Warszawska, Katedra Wysokich Napięć i Aparatów Elektrycznych, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: lukaszpw@o2.pl