

modelowanie wkładek topikowych nożowych NH w środowisku 3D jako wspomaganie procesu projektowania

w firmie ETI Polam

Sebastian Łącznyński, Michał Szulborski – ETI Polam Sp. z o.o.

Obecnie na rynku dostępnych jest wiele rozwiązań konstrukcji wkładek topikowych nożowych NH przeznaczonych do różnych zastosowań, między innymi w budownictwie, przemyśle, jak i innych gałęziach gospodarki.

Wkładki topikowe są bardzo dobrym zabezpieczeniem przeciwzwarciowym. Odnznaczają się dużą zwarciovą zdolnością wyłączenia (do 120 kA). Często instalowane są wraz z wyłącznikami, np. w połączeniu szeregowym przed wyłącznikiem. W tej konfiguracji wkładka topikowa znacząco ogranicza prąd zwarciovą płynący przez wyłącznik, który może przekroczyć jego zwarciovą zdolność wyłączenia. Redukuje tym samym czas trwania zwarcia w obwodzie zabezpieczanym oraz zapewnia selektywność przeciążeniową i zwarciovą wyłączenia tych aparatów.

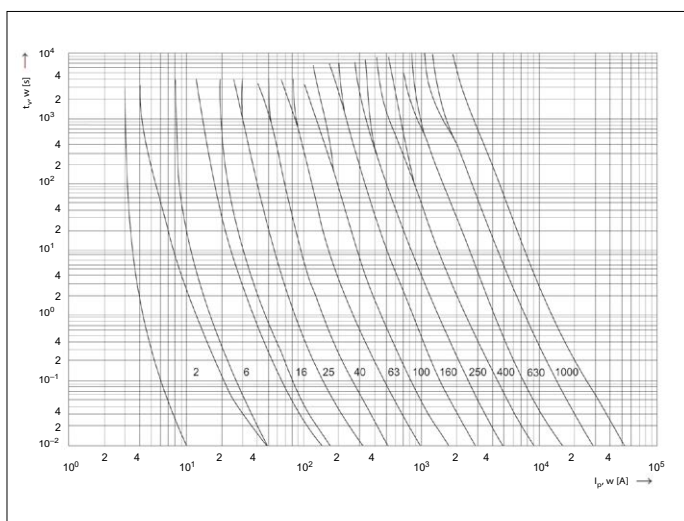
Powszechnie stosowane wkładki topikowe o charakterystykach

gG (zabezpieczenie pełnozakresowe – przetężeniowe dla urządzeń ogólnego przeznaczenia) instalowane są w obwodach instalacji elektrycznych na przykład w zakładach przemysłowych, instytucjach użytku publicznego oraz w budynkach prywatnych. Projektuje i produkuje się również wkładki topikowe o bardziej wyspecjalizowanych charakterystykach czasowo-prądowych T-I, takie jak: gR (zabezpieczenie pełnozakresowe – przetężeniowe) i aR (zabezpieczenie niepełnozakresowe – zwarciove), które odznaczają się krótszym czasem zadziałania i posiadają mniejszą energię wydzieloną w torze prądowym podczas wyłączenia prądu zwarciovego (Całkę Joule'a). Wkładki

o charakterystykach aR i gR wykorzystywane są do zabezpieczania elementów półprzewodnikowych (diody, tyristory, tranzystory mocy, tyristory GTO) zastosowanych w urządzeniach elektronicznych, takich jak: przemienniki częstotliwości, regulatory mocy, regulatory napięcia, łączniki tyrystorowe. Producenci dostarczają na rynek wkładki topikowe posiadające różne charakterystyki czasowo-prądowe T-I, co jest uzależnione od parametrów urządzeń i zabezpieczanych obwodów oraz niekiedy od warunków pracy urządzenia i jego miejsca instalacji. Można wyróżnić następujące charakterystyki zarówno dla napięcia przemienne (AC) oraz stałego (DC): aM – do ochrony obwodów zasilających silniki elektryczne; gB – do ochrony urządzeń górniczych w podziemiach kopalń; gTr – do zabezpieczania transformatorów; gCP – do zabezpieczania obwodów z bateriami kondensatorowymi; gPV – do zabezpieczania urządzeń i obwodów w instalacjach fotowoltaicznych; gF – do zabezpieczania sieci przesyłowych na terenach wiejskich – długich linii o małych przekrojach przewodów.



Rys. 1. Wkładka topikowa nożowa NH2 produkcji ETI Polam



Rys. 2. Charakterystyki czasowo-prądowe (pasmowe) wkładek topikowych gG – wg normy PN-HD 60269-2

Typy charakterystyk czasowo-prądowych t-I wkładek topikowych są dokładnie określone w normie PN-HD 60269-2. Rysunek 1. przedstawia przykładową pasmową charakterystykę czasowo-prądową wkładek topikowych gG.

Wkładki topikowe należą do najszybciej działających zabezpieczeń zwarciovych o stosunkowo niewielkich wymiarach. Ich istotną zaletą jest szybkie wyłączenie prądów zakłóceń. Przy bardzo wysokich prądach zwarciovych przepalają się tak, że udarowy prąd zwarciovą może wystąpić tylko w bardzo ograniczonym zakresie wartości. Bezpieczniki topi-

kowe są niezastąpione jako zabezpieczenie niedrogie, skuteczne i łatwe do wymiany. Ich zalety są widoczne także w wielu innych zastosowaniach, które powodują, że w niektórych sytuacjach i miejscach, gdzie są stosowane nie da się ich zastąpić innymi aparatami. Wśród kluczowych aspektów przemawiających za stosowaniem wkładek można wymienić:

- bardzo dużą zwarciovą zdolność wyłączenia;
- niezawodność pod względem konstrukcyjnym (nie mają styków ruchomych);
- dużą odporność na wpływ środowiska (topik wkładki jest szczelnie zamknięty w korpusie, co powoduje, że nie ma bezpośredniego kontaktu z otoczeniem);
- skuteczną ochronę urządzeń przed czynnikami takimi jak oddziaływanie cieplne i elektrodynamiczne od prądów zwarciovych;
- możliwość koordynacji zabezpieczeń z naciskiem na selektywność – zgodność charakterystyk dobranych wkładek w celu zapewnienia wielopoziomowej ochrony zabezpieczonego układu urządzeń lub obiektu;
- bardzo szybki czas zadziałania ograniczający efekty wywoływane przez łuk elektryczny podczas zwarcia;
- prosta wymiana przepalanej wkładki na nową oraz bezpieczeństwo użytkownika;
- możliwość natychmiastowej interwencji obsługi oraz wymiany zabezpieczenia dzięki czemu szybko likwidowana jest awaria;
- brak negatywnego oddziaływania na parametry jakości energii (brak zapadów);
- niską cenę oraz niskie koszty ochrony szczególnie przy wysokich zakresach prądów zwarciovych w obwodzie zabezpieczanym.

budowa wkładek topikowych nożowych NH

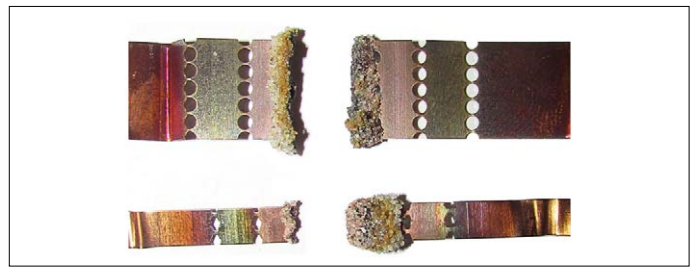
Podczas projektowania wkładek topikowych nożowych typu NH wielu producentów dostosowuje swoje wy-

roby do wytycznych zawartych w normach (PN-EN 60269-1, PN-HD 60269-2 [1, 2]), pozwalających na zaprojektowanie i wprowadzenie na rynek wyrobu, który spełnia wszelkie niezbędne wymagania i nie zagraża bezpieczeństwu.

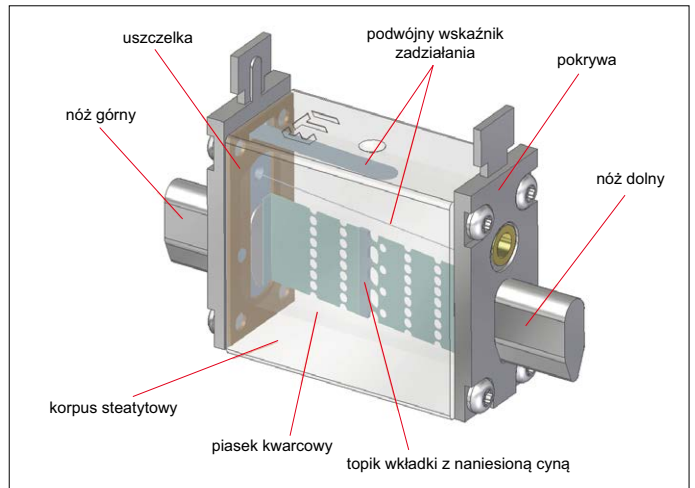
Wkładki typu NH składają się z steatytowego korpusu, do którego po stronie pokrywy dolnej i górnej przykręcane są srebrzone styki nożowe wkładki. Do noży wkładki topikowej wewnątrz korpusu przygrzewany jest perforowany topik wykonany z taśmy miedzianej lub jej stopu (w niektórych konstrukcjach topiki wykonywane są ze srebra).

Prekursorem zabezpieczenia topikowego był przewód wykonany z metalowego drutu o bardzo małym przekroju. Obecnie kształt omawianego zabezpieczenia jest uzależniony od przeznaczenia wkładki topikowej. W celu poprawienia wymiany ciepła oraz tym samym zmniejszenie przekroju topika stosuje się cienkie taśmy, najczęściej miedziane lub srebrne. Wymienione metale mają bardzo dobre właściwości materiałowe i umożliwiają minimalizację wymiarów wkładek topikowych oraz charakteryzuje je wystarczająca odporność na procesy starzeniowe.

Szerokość topika i liczba przewężeń wyciętych w jego strukturze zależna jest od prądu znamionowego wkładki oraz jej charakterystyki. W przypadku wkładek topikowych na przewężeniach topika nanoszone są kropelki cyny w dokładnie wyznaczonych ilościach, co ma istotne znaczenie podczas przepływu prądów przeciążeniowych. Często elementy wykonane z materiałów o pożądanych właściwościach do ochrony przed wysokimi wartościami prądów przeciążeniowych stanowią niewystarczającą ochronę dla niskich prądów przeciążeniowych płynących przez długi czas. W tym miejscu należy wspomnieć o technice zwanej M-Effect (Efekt Metcalfa). Technika ta została nazwana na cześć wynalazcy, który ją zbadał i opisał – A.W. Metcalf. Polega ona na wytworze-



Rys. 3. Topik wkładki po zadziałaniu w przypadku przepływu prądu przeciążeniowego: u góry – 80 A, u dołu – 40 A. W miejscu przepalenia się topika widoczne są duże ilości przyklejonego, nadtopionego piasku kwarcowego



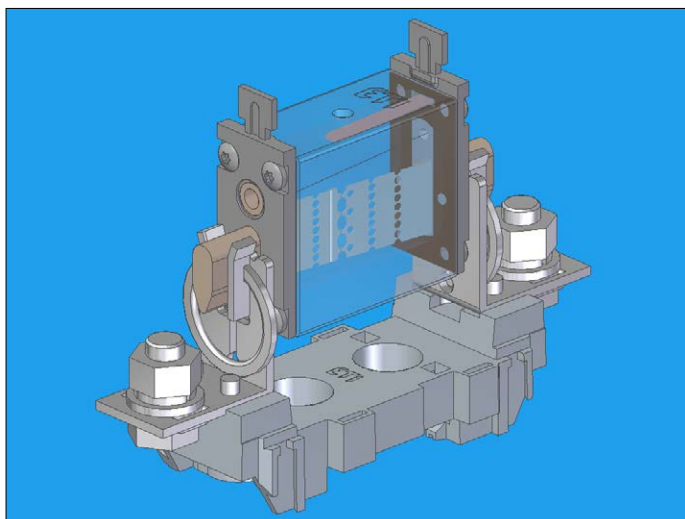
Rys. 4. Model 3D wkładki topikowej NH000 100 A z opisanymi głównymi elementami jej budowy

niu eutektycznego stopu materiału pierwiastka z drugim metalem (zwykle osadzonym jako kulka lutownicza na elemencie topikowym). Temperatura eutektyczna jest niższa niż temperatura topnienia elementu topikowego. W warunkach przeciążenia wkładka nagrzewa się i dochodzi do dyfuzji lutu z elementem topikowym. W wyniku tego zjawiska element topikowy wykazuje większą rezystancję i tym samym skraca to czas potrzebny to przepalenia topika w charakterystycznym, omawianym miejscu, gdzie lut został naniesiony. Przepalenie w wyniku przepływu prądu przeciążeniowego zostało pokazane na **rysunku 3**. W przypadku przepływu prądów zwarciovych, w chwili pojawienia się prądu zwarciovego przepaleniu ulegają wszystkie przewężenia topika jednocześnie.

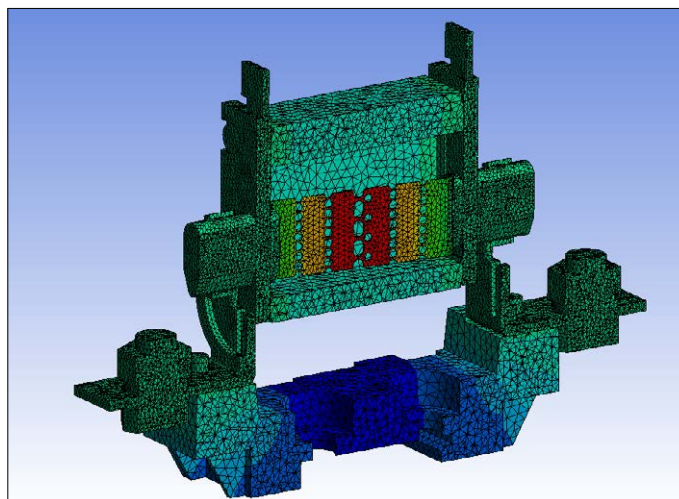
Topik wkładki wewnątrz korpusu nie może być zbyt napięty, gdyż pod wpływem ciągłego kurczenia się i rozciągania (w wyniku zmian temperatury na skutek przepływu prądu) może

nastąpić zerwanie punktów zgrzewu topika od noży wkładki. Może to powodować dodatkowe straty ciepłe poprzez wzrost temperatury w pozostałych niezzerwanych punktach zgrzewów na danym nożu wkładki.

Wkładki topikowe nożowe NH produkcji ETI Polam mają dwa wskaźniki zadziałania (**rys. 4**). Pierwszy – wskaźnik – górny, jest zrealizowany jako blaszka unosząca się od górnej pokrywy wkładki w wyniku przepalenia się przytrzymującego ją drutu oporowego wewnątrz korpusu wkładki. Drugi – przedni czerwony wskaźnik w części środkowej korpusu wkładki, jest blaszką zintegrowaną z pierwszym wskaźnikiem, która również przesuwana jest wewnątrz korpusu w wyniku przepalenia się elementu topikowego. Brak koloru czerwonego wewnątrz małego otworu na przedniej części korpusu oznacza przepaloną wkładkę topikową i konieczność jej wymiany. **Rysunek 4**, przedstawia podstawowe elementy konstrukcji wkładki NH000 100 A



Rys. 5. Model 3D wkładki topikowej NH000 wraz z podstawą bezpiecznikową, wykonany w programie Solid Edge



Rys. 6. Analiza termiczna wkładki topikowej NH000 wraz z podstawą bezpiecznikową dla przepływu prądu przeciążeniowego (wykonana na Politechnice Warszawskiej). Wykorzystanie MES

typu kombi (z podwójnym wskaźnikiem zadziałania).

typoszereg wkładek topikowych nożowych NH

Powszechnie stosowane wkładki topikowe nożowe NH o charakterystyce gG. Wkładki te konstruowane są w oparciu o normę PN-EN 60269, w której określone są ich wielkości:

- 00 – do 160 A,
- 0 – do 200 A – rzadko produkowane,
- 1 – do 250 A,
- 2 – do 400 A,
- 3 – do 630 A,
- 4a – do 1600 A – do stosowania w rozłącznikach bezpiecznikowych,
- 4 – do 1250 A – styki nożowe przykręcane do podstaw bezpiecznikowych.

Obecnie ETI Polam ma w ofercie wkładki topikowe nożowe o zmniejszonych gabarytach (wkładki kompaktowe), co jest zgodne z obowiązującym standardem – są to wkładki topikowe o wielkościach 00C, 1C, 2C, i 3C. Wymienione wkładki posiadają podobne właściwości co wkładki o większych rozmiarach. Wkładki topikowe kompaktowe – 00C, 1C, 2C i 3C różnią się tylko szerokością korpusu ceramicznego od wkładek standardowych wielkości – 00, 1, 2, 3 które z kolei charaktery-

zują się nieznacznie lepszym rozpraszaniem wydzielanego ciepła. Mają te same parametry elektryczne, charakterystyki oraz mogą zostać użyte w tych samych standardowych (wymiarowo zgodnych z normą) podstawach bezpiecznikowych lub rozłącznikach odpowiedniej wielkości, w tym wypadku o wielkościach – 00, 1, 2, 3. Zastępowanie wielkości standardowych wkładek topikowych wielkościami kompaktowymi – C, jest powszechną praktyką pozwalającą na obniżenie kosztów produkcji i zapotrzebowania na materiały produkcyjne (piasek, korpusy ceramiczne i inne). Tego typu modyfikacje możliwe są do wprowadzenia dzięki zastosowaniu nowoczesnych technik wspomagających projektowanie aparatów elektrycznych, którymi są programy do modelowania 3D np. Solid Edge, którego licencję firma ETI Polam wykorzystuje oraz zastosowanie Metody Elementów Skończonych.

wsparcie w procesie projektowania wkładek topikowych nożowych NH

Połączenie nowoczesnych technik komputerowych z doświadczeniem pracowników działu rozwoju koncernu ETI umożliwi opracowanie produktów o doskonałych parametrach i bardzo wysokiej jakości.

Proces projektowania można podzielić na dwa etapy:

1. wykonanie szczegółowego modelu projektowanego aparatu w środowisku 3D – Solid Edge (w tym przypadku wkładki topikowej);
2. przeprowadzenie odpowiednich analiz w środowisku MES (jest to zwykle realizowane przez jednostkę niezależną np. Politechnika Warszawska).

Jedną z zalet oprogramowania pozwalającego na wykonywanie modeli 3D jest możliwość budowania precyzyjnej reprezentacji konstrukcyjnej danej wkładki topikowej lub innego aparatu. Zostało to przedstawione na **rysunku 5**.

Podstawową zaletą projektowania 3D wkładek topikowych jest to, że na etapie tworzenia prototypu możliwe jest wykrycie ewentualnych problemów konstrukcyjnych lub kolizji (jeżeli takowe wystąpią), zanim dana wkładka trafi do produkcji. Pozwala to osiągnąć znaczną oszczędność czasu i środków finansowych.

Dodatkowo przy zastosowaniu druku 3D możliwe jest sprawdzenie jak dana wkładka topikowa wygląda w rzeczywistości oraz czy na etapie projektu spełnia postawione oczekiwania. Jeżeli tak nie jest, to wykonywane są korekty konstrukcyjne i ponawia się druk w celu weryfikacji dokonanych zmian. Jest to niewątpliwie operacja pozwalająca zaoszczędzić za-

soby oraz czas jaki pracownicy musieliby poświęcić na przygotowanie prototypu do badań eksperymentalnych dysponując tylko ograniczoną ilością informacji.

Dla każdego elementu konstrukcji wkładki topikowej możliwe jest nadanie własności materiałowych w programie lub określenie własnych wartości poszczególnych parametrów, dodając je do bazy w programie. Pozwala to na sprawdzenie docelowej wagi wkładki topikowej lub wagi poszczególnych jej elementów. Znaczącą wagę i wymiary wszystkich elementów istnieje możliwość łatwego określenia dokładnego kosztu produkcji projektowanej wkładki topikowej. Analiza tego typu jest bardzo istotna ze względu na planowaną strategię handlową dotyczącą konstruowanego produktu.

W celu weryfikacji oddziaływań termicznych i zwarciovych na zaprojektowaną wkładkę topikową – program 3D umożliwi eksport sporządzonego modelu w postaci różnych plików, np.: „.sat”, „.step”, „.igs”. Plik w odpowiednim formacie można przekazać instytucji badawczej, laboratorium akredytowanego lub uczelni (w ramach pracy zleconej), która jest w stanie wykonać szczegółowe analizy i symulacje, na przykład analizę termiczną przy przepływie określonego prądu znamionowego, przeciążeniowego lub zwarciovego.

Analizy i symulacje tego typu są bardzo często prowadzone w środowisku MES (Metoda Elementów Skończonych). MES aproksymuje nieznaną funkcję w domenie. Proste równania, które modelują skończone elementy, są następnie składane w większy układ równań, który modeluje cały zadany problem analityczny. Następnie MES wykorzystuje metody wariacyjne z rachunku zmian w celu przybliżenia rozwiązania poprzez zminimalizowanie powiązanej funkcji błędu. Tym samym pozwala na rozwiązanie złożonych analiz i dostarczenie cennych informacji przed rozpoczęciem procesu konstrukcyjnego aparatu. Przykładowym oprogramowaniem środowiska MES jest SOLID EDGE, ANSYS czy COMSOL. Wymienione programy służą do analizy elementów skończonych, symulacji komputerowych modeli konstrukcyjnych, urządzeń elektroenergetycznych, elektrycznych lub elementów maszyn. Charakteryzuje je również możliwość analizy wielu parametrów w zmiennych warunkach. Przykładowo, mogą być to analizy wytrzymałości, elastyczności, rozkładu temperatur, elektromagnetyzmu, przepływu płynu i innych atrybutów będących kluczowymi dla projektowania urządzeń. W przypadku wkładek topikowych można zrealizować następujące analizy będące kluczowymi dla procesu projektowania tych urządzeń: określenie temperatury korpusu wkładki podczas przepływu prądu znamionowego i zwarciowego, wartości pola magnetycznego i elektrycznego; wpływu naprężeń spowodowanych przez siły elektrodynamiczne podczas zwarcia lub dokładne określenie strat mocy. Analiza termiczna przeprowadzona za pomocą narzędzia korzystającego z MES została przedstawiona na **rysunku 6**.

literatura

1. PN-EN 60269-1, *Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe. Część 1: Wymagania ogólne*. Polski Komitet Normalizacyjny, ISBN 978-83-266-1328-9.
2. PN-HD 60269-2 *Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe. Część 2: Wymagania dodatkowe dotyczące bezpieczników przeznaczonych do wymiany przez osoby wykwalifikowane (bezpieczniki głównie do stosowania w przemyśle). Przykład znormalizowanych systemów bezpiecznikowych od A do K*. Polski Komitet Normalizacyjny, ISBN 978-83-266-1328-9.
3. H. Bessei, *The future of Fuses*, Int. Conf. on Electric Fuses and Their Applications, Sep. 2003, Gdańsk – Jurata, s. 11.
4. J. Maksymiuk, *Aparaty elektryczne*, Warszawa, WNT, 1992. ISBN 83-204-1475-X.
5. E. Musiał, *Instalacje i urządzenia elektroenergetyczne*, Warszawa, WSIP, 2014. ISBN 978-83-02-06931-4.
6. H. Markiewicz, *Urządzenia elektroenergetyczne*, Warszawa, WNT, 2016. ISBN 978-83-01-18594-7.
7. R. Kłopocki, *Bezpieczniki topikowe nowej konstrukcji o charakterystyce szybkiej gF*. „Elektroinstalator” 07-08/2012.
8. S. Niestępski, M. Parol, J. Pasternakiewicz, T. Wiśniewski, *Instalacje Elektryczne: Budowa, projektowanie i eksploatacja*, Warszawa, Oficyna Wydawnicza PW, 2005. ISBN 83-7207-566-2.
9. H. Markiewicz, *Instalacje Elektryczne*, Warszawa, WNT, 2012. ISBN 978-83-63623-44-9.
10. Ł. Kolimas, *Analiza, synteza i modelowanie rozprywu prądu w torach wieloprądowych i zestykach*, Warszawa, Oficyna Wydawnicza PW, 2015 ISBN, 978-83-7814-389-5.
11. R. E. Brown, *Investigation of disintegration and arcing in electric fuses*, Sheffield, Wielka Brytania, Electronic Research Group School of Engineering, Marzec 2000.