



**INNOWACYJNA  
GOSPODARKA**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



## **Przewody elektryczne nowej generacji sieciowane radiacyjnie**

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (Zakład Naukowy – Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych) przystąpił do wykonywania Projektu: "Przewody elektryczne nowej generacji sieciowane radiacyjnie" zgodnie z umową o dofinansowanie nr: WND-POIG.01.03.01-14-052/09

Projekt uzyskał dofinansowanie w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Działanie 1.3 Wsparcie projektów B+R na rzecz przedsiębiorców realizowanych przez jednostki naukowe, Poddziałanie 1.3.1 Projekty rozwojowe.

**Wartość Projektu: 1 981 209,22 PLN**

**Udział Unii Europejskiej: 1 684 027,84 PLN**

**Okres realizacji: 15 lutego 2009 - 31 grudnia 2012**

Projekt jest współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Kierownikiem Projektu jest dr inż. Zbigniew Zimek.

## Przewody elektryczne nowej generacji sieciowane radiacyjnie

Celem projektu jest opracowanie technologii radiacyjnego sieciowania izolacji przewodów i kabli elektroenergetycznych, sterujących i sygnałowych wykonanych z poliolefin za pomocą wiązki elektronów wytwarzanej w akceleratorze, obejmującej dobór materiałów, dozymetrię procesów obróbki radiacyjnej, oraz konstrukcję urządzeń umożliwiających prowadzenie ciągłego procesu sieciowania przy wykorzystaniu akceleratora elektronów. W wyniku realizacji projektu dotychczas stosowana izolacja polwinitowa będzie mogła zostać zastąpiona izolacją wykonaną z polietylenu albo jego kopolimerów o znacznie korzystniejszych parametrach eksploatacyjnych.

### Streszczenie projektu

Na powłoki i izolacje kabli niskich i średnich napięć powszechnie stosowany jest polichlorek winylu (PVC plastyfikowany, polwinit). Od lat 80-tych, polwinit jest stopniowo zastępowany przez polietylen (PE). W porównaniu z polichlorkiem winylu, polietylen posiada znacznie mniejszą przepuszczalność wody (10-krotnie), lepsze własności fizyczne (większą twardość, wyższą temperaturę pracy, oraz mniejszy ciężar właściwy). Polietylen w 2,5% domieszkowany sadzą jest w dużym stopniu odporny na szkodliwy wpływ ekspozycji na promieniowanie UV-Vis przez okres ok. 40 lat, charakteryzuje się bardzo dobrymi własnościami elektrycznymi – **mianowicie** niską stałą dielektryczną, w niewielkim stopniu zależną od częstotliwości, małą stratnością dielektryczną i wysoką rezystywnością. Jednak nie wszystkie właściwości polietylenu odpowiadają wysokim wymaganiom stawianym obecnie przewodom elektrycznym. Polietylen jest łatwopalny, topi się i kapie w trakcie palenia, a w związku z tym rozprzestrzenia płomień. Wykazuje również zbyt niską maksymalną temperaturę pracy w zastosowaniach gdzie wymagana jest bardzo wysoka jakość izolacji i zachowanie szczególnych warunków bezpieczeństwa. Charakterystykę polietylenu poprawia jego usieciowanie polegające na wytworzeniu poprzecznych wiązań między łańcuchami polimeru metodą chemiczną albo fizyczną (radiacyjną).

Wyroby z polietylenu sieciowanego mają własności elektryczne równie dobre jak polietylen naturalny, wykazując równocześnie większą odporność na temperaturę, wyższą odporność na tlen, ozon, promieniowanie UV oraz większą odporność chemiczną na działanie kwasów, zasad i rozpuszczalników organicznych, w tym smarów i olejów. Wyroby te nie wykazują tendencji do pęknięcia pod wpływem naprężeń i środowisk ciekłych.

W sieciowaniu chemicznym wykorzystuje się zdolność nadtlenków organicznych do tworzenia rodników w wyniku termicznego rozkładu. W tym przypadku do polimeru wprowadzane są jednak dodatkowe związki chemiczne powodujące jego zanieczyszczenie, co wpływa niekorzystnie na własności dielektryczne wyrobu, natomiast ogrzewanie do wysokich temperatur, w celu rozkładu nadtlenków do rodników nadtlenkowych, prowadzi do obniżenia zawartości fazy krystalicznej wyjściowego materiału.

Korzystniejszym sposobem sieciowania jest metoda radiacyjna pozwalająca uzyskać wyrób o lepszych własnościach dielektrycznych. W porównaniu z metodą chemiczną proces jest szybszy, wymaga mniej przestrzeni, zużywa mniej energii, jest łatwiejszy do kontroli i daje produkt lepszej jakości. Ponadto technologia radiacyjna nie wymaga inicjatorów chemicznych ani dodatkowego etapu ogrzewania i umożliwia stosowanie cieńszych warstw izolacji.

Przedmiotem projektu jest opracowanie technologii radiacyjnego sieciowania izolacji przewodów i kabli wykonanej z polietylenu, innych poliolefin bądź ich kopolimerów. W jego wyniku otrzymany będzie produkt charakteryzujący się podwyższoną temperaturą użytkowania, redukcją deformacji pod obciążeniem, wzrostem odporności na chemikalia, substancje żrące i oleje, zwiększoną odpornością na ścieranie, poprawą udarności w niskich temperaturach oraz redukcją zjawiska kapania podczas spalania i ograniczeniem skutków zwarcia.

Projekt ma charakter aplikacyjny ukierunkowany na bezpośrednie zastosowanie w praktyce na potrzeby przedsiębiorstw wytwarzających przewody i kable elektryczne. W wyniku jego realizacji zostanie opracowana w Polsce nowa technologia wychodząca naprzeciw problemom pojawiającym się w gospodarce, jak również zwiększająca jej innowacyjność i konkurencyjność. Wnioskodawca wykonując projekt będzie działał na rzecz zwiększenia transferu nauki do przedsiębiorstw wykorzystując do tego celu nowoczesne narzędzia – akceleratory emitujące wiązkę wysokoenergetycznych elektronów, gdyż głównym etapem opracowywanej linii technologicznej będzie obróbka radiacyjna. Wdrożenie opracowanego rozwiązania do praktyki przemysłowej przyczyni się do upowszechnienia w gospodarce technik radiacyjnych, które są od lat stosowane w krajach zaawansowanych technologicznie. Obecnie żaden producent przewodów elektrycznych w Polsce nie stosuje tej innowacyjnej metody. W świetle powyższych faktów należy podkreślić zgodności projektu z celami osi priorytetowej 1. PO IG, poddziałanie 1.3, a szczególnie z obszarem grupy tematycznej Techno: nowe materiały i technologie. Projekt przewiduje w pierwszym etapie dobór i charakterystykę poliolefin, które ulegają w znacznie większym stopniu sieciowaniu radiacyjnemu niż degradacji; stworzenie modelu matematycznego i opracowanie programu komputerowego wiążącego geometrię transportu przewodów w akceleratorze z rozkładem dawki pochłoniętej w izolacji; zaprojektowanie linii technologicznej do przewijania przewodów pod wiązką elektronów przyspieszanych w akceleratorze; montaż i rozruch linii oraz opracowanie kryteriów oceny jakości produktu wg norm ISO PN. Każdy z elementów powyższego ciągu działań jest konieczny do realizacji celu projektu.

## **Podstawy naukowe projektu**

Badaniem wpływu działania promieniowania jonizującego na materiały polimerowe zajmuje się dziedzina chemii radiacyjnej, która szczególnie w ostatnich latach rozwija się bardzo intensywnie. Dzięki chemii radiacyjnej na świecie zostało wdrożonych wiele technologii, w tym produkcja taśm termokurczliwych i rur, sieciowanie radiacyjne rur, izolacji kabli i przewodów, kauczków przeznaczonych do wyrobu opon itp. Wiele problemów dotyczących tej tematyki pozostało jednak nierozwiązanych, a możliwość potencjalnych zastosowań modyfikacji tworzyw wynikającej z działania promieniowania jonizującego ciągle ulegają poszerzeniu.

Materiałem wyjściowym do produkcji wielu wyrobów z tworzyw sztucznych jest polietylen. Proces jego sieciowania polega na modyfikacji struktury polietylenu (metodami chemicznymi lub metodą fizyczną przez działanie promieniowania jonizującego) prowadzącej do powstania pomiędzy atomami węgla dodatkowych wiązań, które łączą sąsiednie łańcuchy polimeru.

W przemyśle kablowym stosowane jest głównie sieciowanie metodami chemicznymi. Ta metoda sieciowania polietylenu polega na wprowadzaniu środków sieciujących w procesie termicznej obróbki polimeru. Najpopularniejszą metodą sieciowania jest wprowadzenie nadtlenu organicznego do polimeru. Polega ona na tym, że wprowadzony do polietylenu nadtlenek organiczny (najczęściej nadtlenek dikumylu) w temperaturze 160-205 °C rozpada się na wolne rodniki:  $ROOR \rightarrow 2RO^\bullet$ , które następnie inicjują w łańcuchach polimeru aktywne centra wolnorodnikowe. Przez połączenie dwóch centrów usytuowanych na sąsiednich łańcuchach polietylenowych powstają poprzeczne wiązania między cząsteczkami. Wśród metod chemicznego sieciowania zasadniczo odmienna jest metoda silanowa. Proces zachodzi dwuetapowo. Najpierw silan jest szczepiony na polietylenie w wyniku reakcji rodnikowej inicjowanej przez nadtlenuki (np. proces wytłaczania izolacji kabli), potem sieciowanie następuje stopniowo, podczas długotrwałego działania wody lub pary wodnej o niskim ciśnieniu. W wyniku sieciowania silanami między dwa łańcuchy polietylenu zostaje wbudowana grupa silanowa. Wprowadzenie grupy silanowej pogarsza własności wytrzymałościowe materiału, ponieważ wiązanie typu C-C jest trwalsze niż wiązanie silanowe. Dodatkowo wprowadzenie grup silanowych znacząco wpływa na właściwości elektryczne tak modyfikowanego polimeru, przy czym pogorszeniu ulegają głównie stratność dielektryczna i wytrzymałość dielektryczna. Należy jednak równocześnie nadmienić, że jedną z właściwości materiału polimerowego po procesie sieciowania jest brak możliwości jego topienia. Cecha ta uniemożliwia wykonywanie jakichkolwiek trwałych i szczelnych połączeń przez stapianie w podwyższonych temperaturach,

a także utrudnia znacząco recykling zużytych kabli i przewodów, uzasadniony ekonomicznie ze względu na wysokie ceny metali kolorowych.

Sieciowanie radiacyjne jest zaliczane do metod fizycznych modyfikacji polietylenu. Polega ono na odrywaniu atomów wodoru z łańcucha polietylenowego na skutek działania promieniowania o dużej energii. Sieciowanie polietylenu z użyciem tej metody odbywa się w fazie stałej. W trakcie procesu nie przekracza się temperatur topnienia materiału, co pozwala zachować w polimerze wyjściową budowę strukturalną bez obniżenia zawartości fazy krystalicznej.

### **Korzyści wynikające z sieciowania radiacyjnego**

Sieciowanie radiacyjne izolacji kabli elektrycznych nie jest stosowane w kraju. Polskie firmy, przedsiębiorstwa które oferują taki produkt, mają go w swojej ofercie bądź jako wyrób innego producenta, bądź też zlecają wykonanie procesu sieciowania radiacyjnego własnych wyrobów zakładom zagranicznym na zasadzie usługi wykonywanej poza granicami kraju. Krajowy przemysł kablowy korzysta jednak już z innych wyrobów sieciowanych radiacyjnie. Są to przede wszystkim rurki termokurczliwe, stosowane do izolacji, identyfikacji oraz konfekcjonowania krótkich odcinków przewodów i ich wiązek, a także stosuje zamknięte obkurczalne końcówki ochronne do kabli oraz termokurczliwe osłony i mufy w miejscach połączeń kabli. Sieciowanie radiacyjne ma wpływ na właściwości mechaniczne, termiczne, reologiczne i in. Obserwuje się:

- Wzrost wytrzymałości przy zerwaniu i wzrost wartości modułu Younga.
- Wzrost odporności na rozpuszczalniki, w których nieusieciowane poliolefiny się rozpuszczają, agresywne chemikalia, tłuszcze, oleje, żrące substancje nieorganiczne.
- Wzrost stabilności wymiarów, maleje zdolność do odkształceń pod wpływem ogrzewania (odporność cieplna), rośnie oporność na łuk elektryczny, wzrasta odporność na płomień.
- Nie topią się, lecz miękną, jak polimery termoutwardzalne.

Zastosowanie promieniowania jonizującego do sieciowania wyrobów kablowych pozwala na uzyskanie nowoczesnych materiałów charakteryzujących się:

- mniejszą grubością izolacji (co przekłada się na zmniejszenie ciężar kabli), większą elastycznością i wyższą temperaturą pracy ciągłej w stosunku do klasycznych przewodów o takich samych parametrach prądowych i napięciowych,
- większą odpornością na płomień przy całkowitym braku halogenów w swoim składzie chemicznym, stąd też niską toksycznością produktów rozkładu i niskim poziomem dymienia oraz niską propagacją płomienia,
- lepszymi właściwościami wytrzymałościowymi, w tym odpornością na ścieranie,
- bardzo wysoką odpornością na działanie czynników chemicznych, w tym olejów przemysłowych i napędowych, promieniowania UV, ozonu i wielu podobnych czynników.

**Kamienie milowe („mile stones”) w trakcie realizacji Projektu wg zadań i półrocznych okresów realizacji Projektu.**

<b>Nr i nazwa zadania</b>	<b>I półrocze</b>	<b>II półrocze</b>
<b>Zadanie 1 Opracowanie studium wykonalności</b>	Opracowanie Studium Wykonalności	Podpisanie umowy o finansowaniu Projektu
<b>2010 rok</b>		
<b>Zadanie 2 Dobór izolacji</b>	<b>I półrocze</b> Wytyczne „Dobór surowców o właściwościach izolacyjnych do produkcji przewodów sieciowanych radiacyjnie”	<b>II półrocze</b> <b>Raport</b> „Właściwości usieciowanych tworzyw sztucznych przeznaczonych do produkcji izolacji i powłok” <b>Publikacja</b> nr 1.
<b>2011 rok</b>		
	<b>I półrocze</b>	<b>II półrocze</b>
<b>Zadanie 3 Wykonanie modelu urządzenia do przewijania</b>	<b>Raport</b> „Instalacja modelowa do przewijania przewodów pod wiązką elektronów”	-----
<b>Zadanie 4 Opracowanie założeń do uzyskania homogenicznego rozkładu dawki</b>	<b>Raport</b> „Komputerowa symulacja rozkładu dawki głębinowej”	<b>Raport</b> „Powierzchnia międzyfazowa żyła-izolacja w sieciowaniu radiacyjnym” <b>Instrukcja</b> „Parametry procesu sieciowania radiacyjnego przewodów a rozkład dawki pochłoniętej w izolacji” <b>Publikacja</b> nr 2.
<b>Zadanie 5 Zaprojektowanie i wykonanie urządzenia do przewijania kabli</b>	-----	<b>Montaż</b> urządzeń oraz zestawienie linii i rozruch instalacji. <b>Sprawozdanie</b> z uruchomienia instalacji.
<b>2012rok</b>		
	<b>I półrocze</b>	<b>II półrocze</b>
<b>Zadanie 6. Sieciowanie przewodów</b>	<b>Raport</b> „Przewody elektryczne sieciowane radiacyjnie”	<b>Instrukcja</b> sieciowania przewodów elektrycznych. <b>Raport końcowy</b> z realizacji Projektu