

■ Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej

# Tworzywa polimerowe dla energetyki jądrowej

**E**nergetyka jądrowa stwarza naukowym i przemysłowym instytucjom szanse realizacji zaawansowanych technologicznie projektów, które w skali całej gospodarki utworzą stabilne i dobrze płatne miejsca pracy. Ze względu na wysokie standardy bezpieczeństwa wymagania techniczne i organizacyjne są w atomistyce porównywalne (niekiedy wyższe) z przemysłem chemicznym, lotniczym lub kosmicznym. Osiągnięcie wysokich standardów może jednak przyczynić się do technologicznego rozwoju wielu sektorów. Dotyczy to również produkcji i przetwórstwa odpornych na działanie promieniowania jonizującego tworzyw polimerowych [1]. Można dodać, że Ministerstwo Klimatu i Środowiska przystępuje właśnie do aktualizacji katalogu polskich firm dla sektora jądrowego - „Polish industry for nuclear 2023”.

## Chemia radiacyjna polimerów

Cechą charakterystyczną oddziaływania promieniowania jonizującego z materią jest zupełnie przypadkowa lokalizacja przekazywanej energii. Od różnica to chemię radiacyjną od zjawisk obserwowanych w fotochemii, w której absorpcja kwantu następuje ściśle przez grupę chromoforową. Działanie dodatków stabilizujących i antyutleniających (bez których większość polimerów byłaby praktycznie bezużyteczna), polega na bezpośrednim pochłanianiu światła. Związki te w akcie ochronnym zamieniają światło w energię ciepłą, bądź też ulegają rozkładowi w akcie „samoposwie-

cenia”. Promieniowanie jonizujące nie ma możliwości wyboru rodzaju związku i odkładane jest we wszystkich składnikach w sposób proporcjonalny do ich zawartości (udziału elektronowego). Jako regułę należy, więc przyjąć, że procesom radiacyjnym ulega przede wszystkim składnik główny - matryca. Małe jest natomiast prawdopodobieństwo, że promieniowanie jonizujące w sposób bezpośredni zostanie pochłonięte w procentowo niewielkiej liczbie cząsteczek dodatków.

Efektom procesów radiacyjnych zachodzących w dowolnych polimerach jest nieodwracalne odrywanie z łańcucha atomów wodoru [2]. Mechanizm tego zjawiska jest skomplikowany, związany z niehomogeniczną absorpcją energii

przez materiał. Powoduje to powstanie w miejscu uszkodzenia polimeru aktywnego centrum wolnorodnikowego, które, jak wykazały liczne doświadczenia, jest w stanie przemieszczać się wzdłuż łańcucha na odległość nawet kilkunastu atomów węgla [3]. Tak, więc procesy chemiczne mogą zachodzić w zupełnie innym miejscu, niż pierwotne gniazdo jonizacji. To bardzo interesujące i nie do końca jeszcze poznane zjawisko w istotny sposób wpływa na wtórne procesy chemiczne radiolizy tworzywa.

Ilość energii odkładane przez końcowe generacje najwolniejszych elektronów są lokalnie większe niż w gniazdach jednojonizacyjnych. Powodują one bezpośrednie przerwanie łańcuchów

i oderwanie jego fragmentów (gniazdo wielojonizacyjne). Różnorodne formy, jakościowe i ilościowe odłożonej energii powodują w konsekwencji mnogość procesów chemicznych. Jakkolwiek nie udało się jeszcze oznaczyć podziału energii na gniazda jedno- i wielojonizacyjne w polimerach, to jednak przez analogię z prostymi związkami przyjmuje się, że ilość energii odkładana w postaci gniazd wielojonizacyjnych stanowi 20% całkowitej energii pochłoniętej w napromienionym materiale.

### Modyfikacja kabli i przewodów

Poszukiwania tworzyw polimerowych dla energetyki jądrowej wniosły nieoczekiwanie istotny wkład do rozwoju technologii radiacyjnych. Początkowo uważano, że promieniowanie jonizujące powoduje wyłącznie degradację polimerów, a w konsekwencji pogorszenie parametrów użytkowych wykonanych z nich wyrobów. Ze zdziwieniem stwierdzono, że w przypadku polietylenu, nawet bardzo duże dawki nie obniżały, a wprost

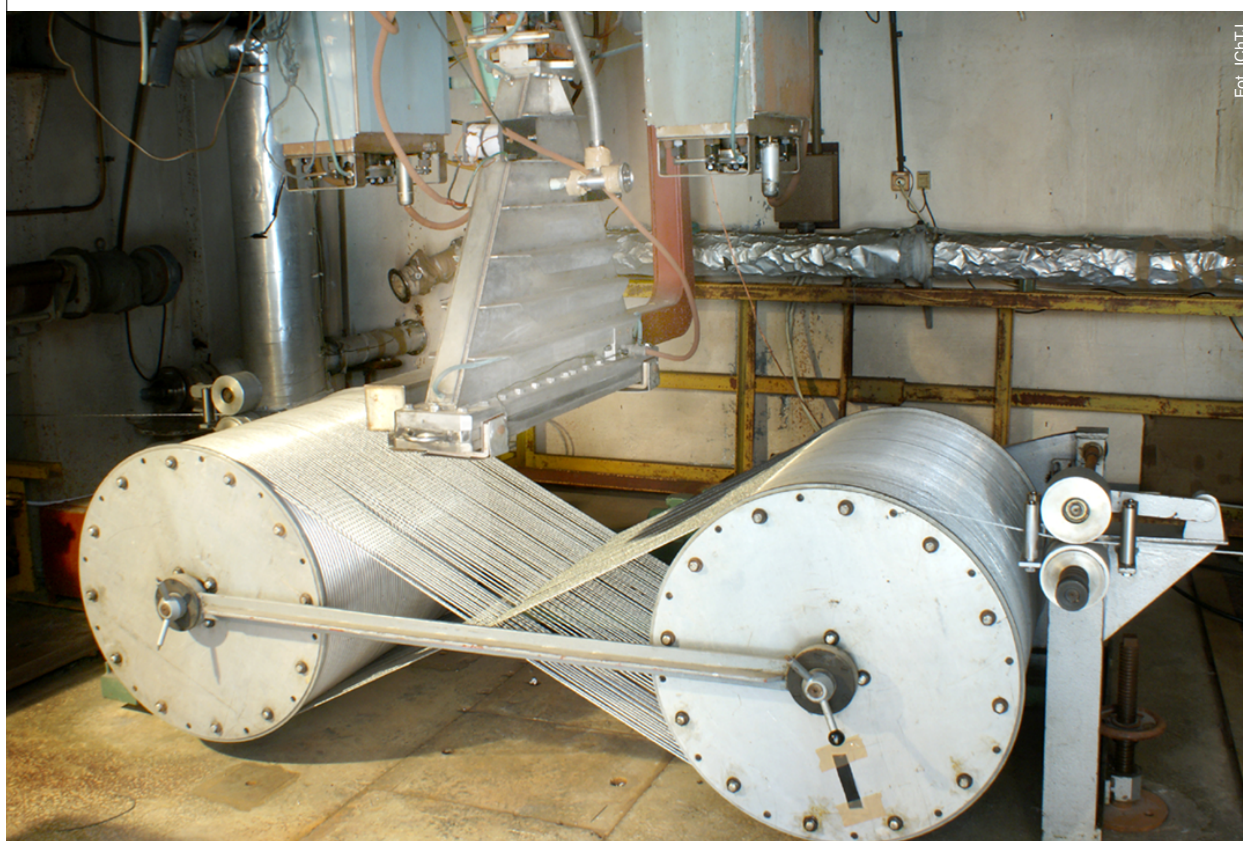
przeciwnie polepszały jego właściwości. W ten sposób przypadkowo odkryto zjawisko radiacyjnego sieciowania polimerów. Jednym z praktycznych zastosowań chemicznych zjawisk inicjowanych promieniowaniem jonizującym jest obecnie korzystna modyfikacja izolacji kabli i przewodów elektrycznych. Wyroby z sieciowanego polietylenu 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. Nowa generacja kabli z izolacją wykonaną z usieciowanego polimeru jest produktem przyjaznym dla środowiska, nie zawiera w swoim składzie chlorowców ani plastyfikatorów, a zatem nie stwarza takiego zagrożenia, jak produkcja PVC. Unikatowe zalety technik radiacyjnych doprowadziły w połowie lat 50. ub. w. do rozwoju technologii akceleratorowych.

Po raz pierwszy zjawisko radiacyjnej modyfikacji kabli pod koniec lat 50. zastosowała firma Raytherm Wier and Cable. Obecnie prowadzi się badania naukowe nad nowymi rodzajami tworzyw z zastosowaniem coraz doskonalszych rozwiązań w technologiach akceleratorowych.

### Kompozyty w ochronie radiologicznej

Wiedzę z zakresu chemii radiacyjnej polimerów można wykorzystać do opracowania i produkcji kompozytów z dodatkiem: żelaza, wolframu, bizmutu lub barytu, które powinny zastąpić w ochronie radiologicznej toksyczny ołów. Nowe generacje materiałów barierowych dla różnych rodzajów promieniowań jonizujących (w tym neutronów) mają szansę być wykorzystane w ośrodkach badań jądrowych, składowiskach odpadów promieniotwórczych, elektrowniach jądrowych, zakładach z cyklem paliwa jądrowego, zakładach medycyny nuklearnej oraz instytutach badawczych. Już obecnie na bazie matrycy epoksydowej wykonuje się: pokrywy ochronne, tynki do

Fot. 1. Akceleratorowa instalacja do radiacyjnego sieciowania izolacji przewodów elektrycznych w IChTU



Fot. IChTU

wzmacniania ścian, narzuty ochronne stosowane podczas likwidacji radioaktywnych obiektów, osłony strzykawek, pudełka na rękawice, osłony tymczasowe, itd. Komercyjnie są dostępne radiologiczne fartuchy ochronne z kompozytu polimer krzemooorganiczny/bismut. Płynnymi twardniejącymi pod wpływem dodatków żywicami dwuskładnikowymi można stabilizować, pochłaniać, obudo-

ności dodatku z betonem. Rośnie w ten sposób powinowactwo drugiej fazy (polimeru) do betonu.

### Radiacyjne szczepienie

Szczepienie radiacyjne stanowi skuteczne narzędzie modyfikacji powierzchni materiałów polimerowych dedykowanych wybranym zastosowaniom. Między

elastyczne, nienasiąkliwe, o zamkniętych porach, odporne na większość środków chemicznych, chemicznie obojętne. Radiacyjne sieciowanie komercyjnych komórkowych tworzyw z PE pozwala uzyskać założone parametry.

### Podsumowanie

Zagadnienia zastosowania tworzyw sztucznych w energetyce jądrowej są przedmiotem badań chemii radiacyjnej polimerów. Polskie doświadczenia i dorobek badawczy w tej dziedzinie są znaczące w skali światowej. Instytuty naukowe dysponują źródłami promieniowania jonizującego i dużym doświadczeniem w zakresie badań radiolizy polimerów. Istnieją, więc warunki do interdyscyplinarnej współpracy z przemysłem tworzyw sztucznych. Szczególne znaczenie ma technika radiacyjnego sieciowania kabli do zastosowań specjalnych. Jest to unikatowa metoda podnoszenia parametrów technicznych kabli, takich jak: niskotopliwość, niepalność, izolacyjność, odporność na stres mechaniczny i degradację. Można dodać, że systemy bezpieczeństwa elektrowni, a w szczególności elektrowni jądrowych, opierają się na niskonapięciowych kablach zasilających i sterowniczych. Wewnątrz zamkniętych pomieszczeń pracują one w trudnych warunkach poddane działaniu promieniowania gamma.

Równoległe do badań chemicznych trwają prace nad konstrukcją akceleratorów o mocy wiązki elektronów sięgającej MW (zastosowanie do ochrony środowiska) oraz budową zwartych urządzeń charakteryzujących się niską energią przeznaczonych do obróbki powierzchniowej. Kontynuowane są prace mające na celu zwiększenie sprawności elektrycznej akceleratorów, obniżenie ich ceny oraz podniesienie niezawodności. Wymienione działania mają w założeniach zwiększyć ekonomiczną efektywność procesów radiacyjnych. □



**Zagadnienia zastosowania tworzyw sztucznych w energetyce jądrowej są przedmiotem badań chemii radiacyjnej polimerów. Polskie doświadczenia i dorobek badawczy w tej dziedzinie są znaczące**

wywać i magazynować odpady jądrowe. Warstwa nakładana podobnie jak farba stosowana jest w przypadku ochrony korozyjnej metalowych walczaków zawierających materiały radioaktywne. Nowe tworzywa polimerowe w porównaniu z tradycyjnymi materiałami ochronnymi są: nietoksyczne, elastyczne w zastosowaniu, stabilne cieplnie, podlegają recyklingowi, umożliwiają łatwe odkażanie, są odporne na korozję.

### Recykling

Interesującym tematem jest recykling tworzyw polimerowych powstających, jako odpad w trakcie likwidacji obiektów jądrowych. Szacuje się, że jedna jednostka elektrowni jądrowej wymaga około 1500 km kabli i przewodów, które nie są wymieniane w czasie eksploatacji reaktora (w założeniu ponad 60 lat). Jeżeli izolacje były sieciowane, to tworzywa takie nie nadają się do powtórnego przetwórstwa. Otwartym jest zatem temat wykorzystania zużytych izolacji, np. jako dodatków do asfaltu lub betonu. Zaletą radiacyjnej modyfikacji jest zwiększenie liczby grup karbonylowych na powierzchni polimeru, co ma istotne znaczenie z punktu widzenia kompatybil-

innymi można otrzymać w ten sposób materiały do selektywnego usuwania wybranych substancji (zanieczyszczeń, jonów metali ciężkich, toksycznych substancji, itp.). Przykładowo absorbenty w formie splecionych włókien pozwalają na odzysk uranu z wody morskiej z wydajnością 1,5 kg na kg tworzywa sztucznego. Można dodać, że poprzez radiacyjne szczepienie produkuje się obecnie również membrany dla baterii alkalicznych i ogniw paliwowych.

### Wałki dylatacyjne

Kordy dylatacyjne stosuje się przy wylewaniu mas na zimno i na gorąco. Przerwy technologiczne zabezpieczają konstrukcje nawierzchni betonowych i bitumicznych przed skurczem w zmiennych temperaturach, a w konsekwencji przed powstawaniem rys i pęknięć. Główne obszary zastosowań kordów to budownictwo drogowe, mostowe, lotniskowe. Uszczelniające profile w formie sznurów są wykonywane z polietylenowych pianek. W przypadku nawierzchni asfaltowych podpierające wałki muszą w określonym czasie (ok. 10 minut) wytrzymać temperatury do 220°C. Ponadto powinny być: odporne na ściskanie,

#### Literatura:

1. W. Głuszewski, Efekty ochronne w radiolizie naturalnych i syntetycznych polimerów, Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna, 2022, 1, 123, 22-26.
2. W. Głuszewski, Radioliza biodegradowalnych materiałów komórkowych PLA/PCL, Wyroby Medyczne, 2023, 1, 28-31.
3. W. Głuszewski, Zastosowania radiolizy polimerów w energetyce, Nowa Energia, 2022, 1, 49 – 51.