

CHEMIA RADIACYJNA JAKO ŹRÓDŁO UNIKATOWYCH TECHNOLOGII SYNTEZY I MODYFIKACJI POLIMERÓW

Radiation chemistry as a source of unique technologies of synthesis and modification of polymers

Wojciech Głuszewski

Streszczenie: Nawiązując do obchodzonej w tym roku 150. rocznicy urodzin Marii Skłodowskiej-Curie przypominam publikację, która dała początek radiacyjnej sterylizacji wyrobów medycznych jednorazowego użytku. W pracy tej uczona zwróciła również uwagę na heterogeniczny charakter oddziaływania promieniowania jonizującego na materię. Dopiero współcześnie posługując się modelem gniazd jonizacji wyjaśniono otrzymane eksperymentalnie krzywe radiacyjnej inaktywacji. Pierwotne procesy zachodzące w gniazdach jonizacji są nadal obiektem badań. W szczególności dyskutowane są mechanizmy zjawiska ochronnego obserwowanego w chemii radiacyjnej związków organicznych. Tłumaczone jest ono zarówno przeniesieniem wolnego rodnika jak i energii lub ładunku. Prowadzone przy nas badania skłaniają do stwierdzenia, że najbardziej prawdopodobny jest mechanizm wędrówki stanu wzbudzonego (energii). W ten sposób można wytłumaczyć raczej mało prawdopodobne spotkanie się dwóch makrorodników w procesie radiacyjnego sieciowania. Zwracam uwagę na rolę gniazd wielojonizacyjnych w radiolizie tworzyw polimerowych. Również w tym przypadku eksperymentalnie potwierdzono ochronne działanie związków aromatycznych. Benzen i jego pochodne oraz wyższe węglowodory aromatyczne mogą częściowo rozpraszać energię deponowaną w gniazdach o dużym LET (linear energy transfer). Warto podkreślić, że znakomita większość naturalnych i syntetycznych antyoksydantów to związki aromatyczne. Unikatowe cechy obróbki radiacyjnej wynikają ze stosunkowo prostego, wydajnego i łatwego w kontroli sposobu tworzenia wolnych rodników. Z tego powodu relatywnie kosztowne techniki radiacyjne znajdują liczne zastosowania.

Abstract: Referring to the celebrated 150th anniversary of Marii Skłodowskiej-Curie birthday this year, I recall a publication that gave rise to the radiation sterilization of disposable medical devices. In this work, the scholar also drew attention to the heterogeneous nature of the impact of ionizing radiation on matter. Only now, using the model of the ionization spurs, the experiments have been performed on radiation inactivation curves. Primary processes occurring in ionization nests are still subject to investigation. Particularly discussed are the mechanisms of the protective phenomenon observed in the radiation chemistry of organic compounds. It is translated both by the transfer of free radicals and energy or by charge. The research conducted by us suggests that the most likely mechanism is the travel of the excited state (energy). In this way, it is possible to explain the rather unlikely encounter of two radicals in the radiation crosslinking process. I would like to point out the role of multi-ionization spurs in the radiolysis of polymer materials. Also in this case, the protective effect of the aromatic compounds was experimentally confirmed. Benzene and its derivatives and higher aromatic hydrocarbons may partially dissipate the energy deposited in large LET spurs. It is important to note that the vast majority of natural and synthetic antioxidants are aromatic compounds. The unique features of the radiation treatment result from a relatively simple, efficient and easy to control how to create free radicals. For this reason, relatively expensive radiation techniques find many applications.

Słowa kluczowe: radioliza, polimery, promieniowanie jonizujące, wiązka elektronów, promieniowanie gamma

Key words: radiolysis, polymers, ionizing radiation, electron beam, gamma radiation

Wstęp

O postępie w dziedzinie radiacyjnej modyfikacji tworzyw polimerowych świadczą liczne doniesienia literaturowe ukazujące się zarówno w czasopismach poświęconych tworzywom sztucznym [1] jak i fachowych wydawnictwach z zakresu nukleoniki [2]. Prowadzone na całym świecie prace badawcze mają na celu poznanie zjawisk fizykochemicznych towarzyszących oddziaływaniu promieniowania jonizującego z naturalnymi i sztucznymi polimerami oraz opracowanie nowych rozwiązań w zakresie źródeł promieniowania jonizują-

cego. Szczególne nadzieje w ostatnich latach wiąże się z przemysłowym zastosowaniem akceleratorów elektronów. Wiązki elektronów (EB — od angielskiego *elektron beam*) można również konwertować w promieniowanie hamowania. Te dotąd kosztowne rozwiązanie dzięki postępowi w konstrukcji akceleratorów zaczyna powoli być konkurencją dla tradycyjnych źródeł promieniowania gamma. W tym roku tylko w naszym kraju odbyło się kilka międzynarodowych i krajowych konferencji na temat naukowego i przemysłowego wykorzystania EB. W tym kontekście chciałbym zwrócić uwagę na unikatowe cechy technologii radiacyjnych, które powodują, że opłaca się budować instalacje wyposażo-

ne w akceleratory i źródła promieniowania gamma (γ). Wiedza na temat radiolizy stosunkowo prostych syntetycznych tworzyw sztucznych jest wykorzystywana również do opisu dużo bardziej złożonych zjawisk wywołanych działaniem promieniowania jonizującego na polimery naturalne [3], w tym również na te, z których zbudowany jest organizm ludzki.

Oddziaływanie promieniowania jonizującego na materię

Mówiąc na temat radiolizy polimerów, nie sposób na wstępie nie wspomnieć o podstawowych zasadach dotyczących obróbki radiacyjnej materiałów. W przypadku wszystkich trzech rutynowo wykorzystywanych rodzajów promieniowania (EB, γ , X) niemal cała energia przekazywana jest przez elektrony wtórne. Przy zastosowaniu EB są to elektrony wybite w wyniku elektrostatycznych oddziaływań z atomami ośrodka. Natomiast dla promieniowań elektromagnetycznych (γ , X) elektrony powstają w wyniku zjawisk: fotoelektrycznego, Comptona, tworzenia par elektron — pozyton. Tak, więc z punktu widzenia pierwotnych zjawisk fizycznych towarzyszących oddziaływaniu promieniowania jonizującego na materię nie ma znaczenia rodzaj obróbki radiacyjnej. Różny jest natomiast zasięg promieniowania i co za tym idzie rozkład dawki pochłoniętej. Z punktu widzenia wtórnych chemicznych zjawisk istotna jest również moc dawki, a ta jest dziesiątki tysięcy razy wyższa przy zostawianiu wiązek elektronów. Inaczej mówiąc, jeżeli chcemy ograniczyć postradiacyjne procesy oksydacyjnej degradacji polimerów, powinniśmy stosować źródła promieniowania o dużej mocy. W przypadku konieczności napromieniowania dużych lub ciężkich (metalowych) elementów niezastąpione są promieniowania gamma i hamowania.

Pochłonięte przez materiał polimerowy wysokoenergetyczne promieniowanie jonizujące powoduje przypadkowe wybite elektronów z powłok atomów. Zjawisko to ma charakter statystyczny, tzn. jonizacji ulegają przypadkowo wszystkie składniki materiału w sposób proporcjonalny do ich udziału masowego, a ściślej mówiąc wkładu elektronowego. Pierwotnym efektem działania promieniowania jonizującego jest pojawienie się wtórnych elektronów (e^-) i dziur (P^+). Mogą one następnie rekombinować z utworzeniem wzbudzonej cząsteczki polimeru (P^*) lub też ulec stabilizacji w pułapkach fizycznych bądź chemicznych. Charakter procesów następczych zależy w sposób zasadniczy od budowy matrycy polimerowej. Wzbudzenie cząsteczek poliolefin prowadzi do oderwania atomu wodoru i powstania wolnego rodnika ($P\cdot$). W wyniku rekombinacji dwóch rodników może powstać wiązanie poprzeczne. W radiolizie wielu polimerów proces sieciowania z punktu widzenia końcowych właściwości tworzywa dominuje nad zjawiskiem degradacji. W takim przypadku stosuje się obróbkę radiacyjną do korzystnej modyfikacji wyrobu. Nasycony charakter niektórych polimerów sprawia, że do ich sieciowania należy stosować niekonwencjonalne

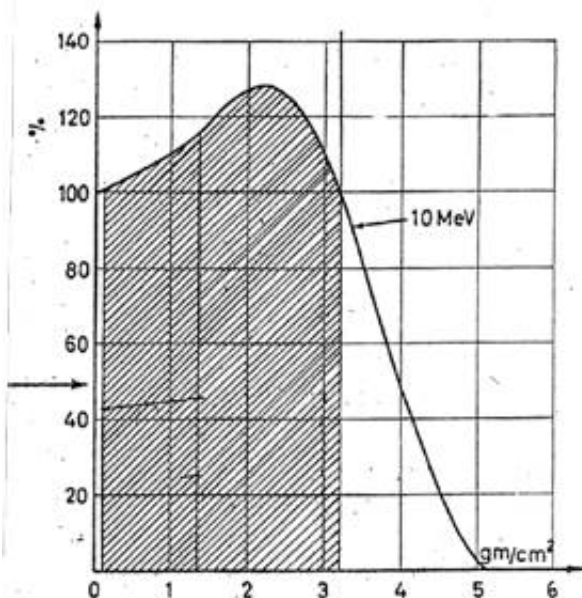
substancje sieciujące, najczęściej nadtlutki organiczne w obecności koagentów. Ciekawą alternatywą dla tego przypadku jest możliwość wytworzenia makrorodników powstających w wyniku działania promieniowania jonizującego. Najczęściej dla tych celów stosuje się wiązki elektronów przyspieszane w akceleratorach. Proces można prowadzić w dowolnej temperaturze. Zwykle są to warunki otoczenia, ale możliwe jest sieciowanie w temperaturach ujemnych. Bardzo cenną zaletą z punktu widzenia technologicznego jest łatwa kontrola dawki pochłoniętej promieniowania. W praktyce ilość energii dostarczonej do polimeru można regulować szybkością transportera, na którym porusza się materiał.

Niehomogeniczny charakter radiolizy

Historycznie rzecz biorąc początków radiacyjnych technologii można szukać w pracach Marii Skłodowskiej-Curie. Warto o tym przypomnieć w kontekście obchodów 150 rocznicy urodzin uczonej. W roku 1929 Madame Curie żona Piotra (tak wówczas we Francji pisano nazwiska zamężnych kobiet) opublikowała artykuł zatytułowany „Sur l'étude des courbes de probabilité relatives à l'action des rayons X sur les bacilles”, w którym przedstawiła po raz pierwszy krzywe tzw. radiacyjnej inaktywacji, czyli zależności między przeżywalnością bakterii a wielkością pochłoniętej dawki promieniowania. Podsumowała własne doświadczenia nad wpływem promieniowania jonizującego na drobnoustroje. Warto przypomnieć, że w okresie I wojny światowej, a ściślej mówiąc w latach 1914-1919 własnoręcznie przygotowywała szklane ampułki wypełnione radonem, które między innymi służyły do dezynfekcji ran. Wykorzystywano w tym przypadku promieniowania β i γ emitowane przez produkty rozpadu radioaktywnego gazu. Opisując wynik badań eksperymentalnych, zwróciła uwagę na statystyczny charakter skutków oddziaływania promieniowania jonizującego na materię. Nie określiła bowiem wartości dawki, poniżej której bakterie przeżywają a powyżej której wszystkie giną. Każda najmniejsza porcja energii powodowała śmierć pewnej liczby komórek. Wydajność zjawiska malała z czasem napromieniowania. Tak, więc nawet przy bardzo dużych dawkach pewna liczba bakterii przeżywała. Dzisiaj wiemy, że pierwotne, fizyczne zjawiska wywołane przez np. wiązkę elektronów nie dotyczą wszystkich atomów a jedynie przypadkowo wybranych miejsc materiału w dowolnym stanie skupienia.

Punktem wyjścia w chemii radiacyjnej jest więc zrozumienie **niehomogeniczności** oddziaływania promieniowania jonizującego na materię. Wywołana wysokoenergetycznym promieniowaniem wtórna kaskada elektronów, początkowo generuje pojedyncze jonizacje w stosunkowo dużej odległości, nazywane „gniazdami jednojonizacyjnymi”. W miarę jak elektrony ulegają energetycznej degradacji odległości między jonizacjami, zaczynają się zmniejszać. W efekcie elektrony kończące bieg powodują tak duże nagromadzenie gniazd jonizacji, że stwarza to nową sytuację z punktu

widzenia zachodzących w materiale procesów chemicznych. Zjawisko odkładania energii przez elektrony o dużym LET (linear energy transfer) opisywane jest za pomocą „gniazda wielojonizacyjnego”. W napromieniowanej próbce uzyskujemy widmo uszkodzeń radiacyjnych o różnej wielkości odłożonej energii. Stąd różnorodność procesów chemicznych mogących przebiegać w następstwie zjawisk pierwotnych jest bardzo duża. W pewnym przybliżeniu można założyć, że około 20% energii zostanie zaabsorbowana w gniazdach wielojonizacyjnych. Produkty gniazd wielojonizacyjnych i jednojonizacyjnych różnią się w sposób zasadniczy. W pierwszym przypadku dochodzi do przerwania łańcucha i powstania produktów małowcząsteczkowych, w drugim do oderwania najczęściej wodoru, po ewentualnym przemieszczeniu pierwotnego efektu (dziury lub stanu wzbudzonego). Zjawisko większej skuteczności przekazywania energii przez elektrony o niższej energii tłumaczy charakterystyczne podbicie dawki na tzw. krzywych głębinowych, czyli zależnościach dawki pochłoniętej od grubości materiału (rys. 1). Wyraźnie jest to widoczne przy zastosowaniu do obróbki radiacyjnej wiązek elektronów. Dawka pochłonięta rośnie do wartości stu kilkudziesięciu procent, aby następnie szybko zmaleć do zera (energia końcowych generacji elektronów nie wystarcza już do dalszej jonizacji). Pozbawione ładunku promieniowanie elektromagnetyczne łatwiej wnika do materiału a krzywe głębinowe, poza początkowym niewielkim podbiciem mają charakter monotoniczny. Ogólnie można powiedzieć, że promieniowanie gamma ma większy zasięg a wiązki elektronów większą moc dawki.



Rys. 1. Względny rozkład dawki głębinowej w wodzie lub materiale równoważnym wodzie napromieniowywanej elektronami o energii 10 MeV [3]. Charakterystyczne podbicie dawki jest na poziomie 130% przy około 23 milimetrowej warstwie wody

Fig. 1. Relative dose distribution in water or material equivalent to water. An electron beam with an energy of 10 MeV [3]. The characteristic dose boost is at 130% at about 23 millimeters of water

Energia promieniowania odkładana jest w gniazdach jonizacji, które mogą być oddalone od siebie (w zależności od dawki) na odległości rzędu kilkuset tysięcy merów. Skoro zjawisko przekazywania energii promieniowania do materiału ma charakter statystyczny, to krzywe inaktywacji można opisać, posługując się rachunkiem prawdopodobieństwa przy założeniu, że liczba gniazd jonizacyjnych jest proporcjonalna do dawki pochłoniętej promieniowania. Aby spowodować śmierć bakterii, należy zdeponować odpowiednią ilość energii w określonym miejscu. Łatwo zrozumieć, że trudniej jest radiacyjnie pozbyć się mniejszych obiektów (np. wirusów) i należy w tym celu użyć dużo większych dawek promieniowania.

Tabela 1. Wielkości dawek pochłoniętych stosowanych w obróbce radiacyjnej zależą od wielkości zwalczanych organizmów. Dawka wyrażona jest w kGy, czyli kJ/kg.

Table 1. The quantities of absorbed doses used in radiation treatment depend on the size of the target organisms. The dose is expressed in kGy, ie kJ/kg.

Rodzaj obiektu	Rodzaj procesu	kGy
WIRUSY	Sterylizacja	50
BAKTERIE	Sterylizacja	18 - 35
GRZYBY, PLEŚNIE	Dezynfekcja	4 - 12
OWADY	Dezynsekcja	0,5 - 4

Jasne jest również, że niezbędna do sterylizacji dawka promieniowania zależy od wstępnego skażenia wyrobu. Pozorna nadzwyczajna radiacyjna odporność mikroorganizmów wynika z tego, że trudniej trafić gniazdami jonizacji w pojedyncze komórki. Pantofelek nie jest więc pancernym organizmem, a po prostu część z tych pierwotniaków może przeżyć w warunkach umiarkowanej dawki promieniowania. Należy jednak uspokoić użytkowników wyrobów medycznych, bakteria, która przeżyje

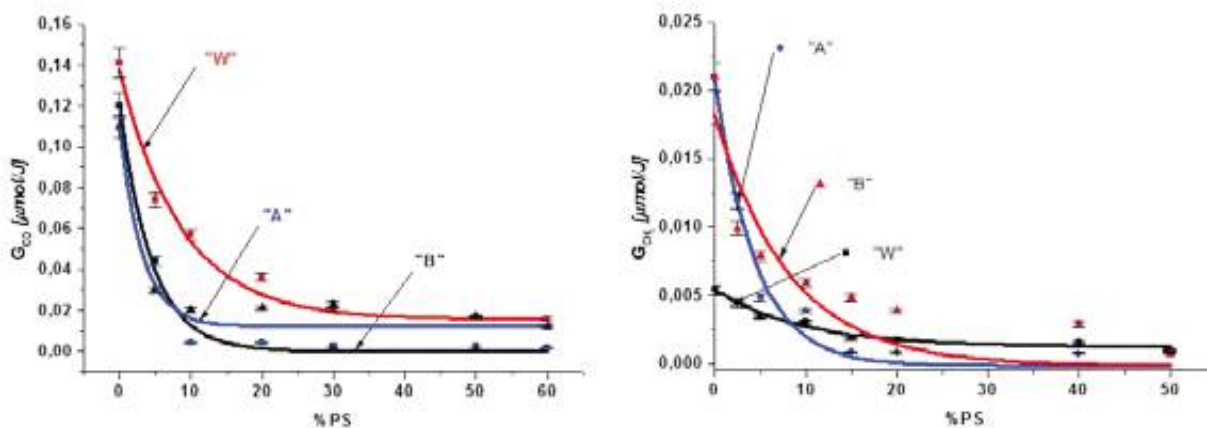
napromieniowanie dawką sterylizacyjną, jest tak uszkodzona, że nie jest w stanie dalej się rozmnażać. Zgodnie z przyjętą przez WHO definicją przedmiot uważny jest za sterylny, jeżeli szansa, że jakaś bakteria przeżyje, jest mniejsza niż jeden na milion.

Wracając do doświadczalnych prac Skłodowskiej-Curie należy pamiętać, że na przełomie XIX i XX w. dokonywano dopiero fundamentalnych odkryć, które radykalnie zmieniły pogląd na budowę materii. W roku 1911 Ernest Rutherford udowodnił, że prawie cała masa atomu jest skupiona w jego jądrze. W roku 1932 James Chadwick odkrył, że promieniowanie zaobserwowane wcześniej przez Walthera Bothe'go, Herberta Beckera oraz Irène i Frédéric Joliot-Curie to pozbawione ładunku neutrony. Na poznanie mechanizmów oddziaływania promieniowania na materiały trzeba było

pozekać parę lat. Można dodać, że koncepcja gniazd jonizacyjnych w szczególności gniazd wielojonizacyjnych jest nadal przedmiotem dyskusji i badań. Przykładowo, wielu autorów poważnych publikacji pomija w swoich rozważaniach zjawiska zachodzące w wyniku oddziaływania z materią elektronów o dużym LET.

Próbę opisu tego zjawiska podjęto, badając zjawiska ochronne w chemii radiacyjnej polipropylenu [4]. Głównym produktem radiolizy w obrębie gniazd jednojonizacyjnych jest wodór i powstające po jego

oderwaniu od łańcucha wolne rodniki. W obrębie gniazd wielojonizacyjnych z dużo mniejszą wydajnością powstają w wyniku bezpośredniej degradacji łańcucha produkty małowcząstkowe np. metan (CH_4) i tlenek węgla (CO). Były one w cytowanej pracy oznaczane chromatograficznie w kontekście ochronnego działania związków aromatycznych. Wykazano przy okazji możliwość ochronnego wpływu pierścieni benzenowych również na procesy chemiczne w gniazdach wielojonizacyjnych.



Rys. 2. Wydajności radiacyjnie wydzielanego metanu i tlenku węgla nie maleją liniowo w funkcji zawartości odpornego radiacyjnie polistyrenu (PS). Zależności są typowe dla efektu ochronnego. Stosunkowo niewielkie ilości PS zmniejszają radykalnie degradację polipropylenu w obrębie gniazd wielojonizacyjnych. Symbolami W, A, B oznaczono kompozycje PP/PS otrzymane różnymi metodami. Opis tych metod nie jest w tym przypadku istotny

Fig. 2. Methane and carbon monoxide yields do not decrease linearly as a function of radiation-resistant polystyrene (PS) content. Dependencies are typical for the protective effect. Relatively small amounts of PS drastically reduce polypropylene degradation within multi-ionization spurs. The symbols W, A, B are PP/PS compositions obtained by various methods. The description of these methods is not relevant in this case

Sterylicacja radiacyjna

Sprzęt medyczny tanio i wygodnie można sterylizować termicznie i dlatego pomysł wyjąławiania ich za pomocą promieniowania X, nie miał praktycznego znaczenia w latach 20 ubiegłego wieku. Dopiero upowszechnienie się w szpitalnictwie wyrobów jednorazowego użytku, możliwe dzięki postępowi w chemii i przetwórstwie materiałów polimerowych w latach 50., stworzyło zapotrzebowanie na tzw. zimne metody sterylizacji. Dotyczyło to zwłaszcza tanich utensyliów medycznych, które odegrały znaczącą rolę w wyeliminowaniu wielu epidemiologicznych chorób. Tradycyjne metody termiczne nie nadają się, jak wiadomo, do wyjąławiania nieodpornych na podwyższone temperatury tworzyw sztucznych. Wrócono, więc do prac Skłodowskiej-Curie i zaczęto na skalę przemysłową prowadzić sterylizację z użyciem promieniowania gamma (γ) i wiązki elektronów a obecnie również promieniowania rentgenowskiego. W praktyce zrealizowano koncepcję, którą, jak się wydaje, zupełnie nieświadomie zgłosiła Skłodowska-Curie w cytowanej pracy. Poszukiwania odpornych radiacyjnie tworzyw polimerowych dały początek nowej dziedzinie wiedzy – chemii radiacyjnej

polimerów. Upowszechnienie się źródeł promieniowania dużej mocy służących do wyjąławiania pozwoliło na zastosowanie technik radiacyjnych w innych dziedzinach w tym modyfikacji tworzyw polimerowych [5].

Technologie radiacyjne

Wracając do XXI wieku, można powiedzieć, że technologie radiacyjne są ważnymi, ale nadal niszowymi dziedzinami gospodarki, medycyny, rolnictwa i ochrony środowiska, którymi paradoksalnie ze względu na sukces mniej interesują się media [6, 7, 8]. Częściej pisze się o energetyce jądrowej i to głównie w kontekście bezpieczeństwa, chociaż jak wiadomo elektrowni jądrowej w Polsce, nie ma. Bez problemów pracuje natomiast doświadczalny reaktor w NCBJ w Świerku. Od wielu lat w krajach zaawansowanych technologicznie obserwuje się szybki rozwój technik radiacyjnych w przetwórstwie tworzyw sztucznych, głównie w celu poprawy, jakości wytwarzanych produktów (poprawienia właściwości mechanicznych i termicznych, odporności chemicznej, wydłużenia czasu użytkowania produktów itp.). Obecnie w naszym kraju wiązki wysokoenergetycznych elektronów znajdują zastosowanie

wyłącznie w procesach wytwarzania wyrobów z pamięcią kształtu (rury i taśmy termokurczliwe), wstępnej wulkanizacji opon samochodowych i sieciowaniu folii spożywczych. Jednak coraz silniej zarysowuje się potrzeba wykorzystania metod radiacyjnych w innych gałęziach przemysłu.

Podsumowanie

Stały postęp w dziedzinie technologii radiacyjnych powoduje, że promieniowanie jonizujące jest coraz powszechniej stosowane w różnych dziedzinach przemysłu, medycyny, rolnictwa i ochrony środowiska. Unikatywne cechy obróbki radiacyjnej wynikają ze stosunkowo prostego, wydajnego i łatwego w kontroli sposobu tworzenia wolnych rodników. Powstają one w tzw. gniazdach jonizacji. Mimo że średnia energia odkładana w materiałach w wyniku działania promieniowania jonizującego (wyrażana w Gy) nie jest bardzo duża, to jednak liczona na gniazdo jonizacji odpowiada procesom przybiegającym w tradycyjnej chemii w skrajnych parametrach temperatury i ciśnienia. W opisie zjawisk radiacyjnych należy pamiętać, że około 20% energii jest deponowanych w wielojonizacyjnych gniazdach. Przykładowo dawka 1 kGy oznacza, że w polimerze średnio odłożono 1000 J na jeden kilogram materiału. Jeżeli przyjmemy, że odległości między gniazdami jonizacji wynoszą 10 000 merów, to na jedno gniazdo jonizacji będzie przypadać już 10^7 J.

Przypomnę, że najważniejsze zastosowania chemii radiacyjnej polimerów to: polimerizacja monomerów niemożliwa innymi metodami i to w dowolnym stanie skupienia (ciecz, gaz, ciało stałe), prowadzenie polimerizacji w dowolnej temperaturze (najczęściej otoczenia), otrzymywanie czystych polimerów bez dodatków

np. katalizatorów lub innych domieszek, możliwość polimerizacji w trudnych technologicznie warunkach (np. wewnątrz części maszyn), sieciowanie tworzywa po jego uformowaniu, modyfikacja powierzchni poprzez naszczepianie, łączenie sterylizacji radiacyjnej z korzystną modyfikacją klejów samoprzylepnych itd.

*dr Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

Literatura

- [1] W. Głuszewski, M. Rajkiewicz, G. Przybytniak, J. Boguski, Tworzywa polimerowe w atomistyce, Tworzywa Sztuczne w Przemysle, 1, 2016, 28-29
- [2] Z. Zagórski, Sterylizacja radiacyjna. Wydawnictwo: Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich. rok wydania: 1978. stron: 188. Wydanie I.Z
- [3] W. Głuszewski, Z. Zimek, H. Kubera, K. Kozera, D. Abbasova, Paper radiolysis, Towaroznawcze problemy jakości, 2017, 1, 50, 58-65
- [4] W. Głuszewski, Zjawiska ochronne w chemii radiacyjnej polipropylenu, Praca doktorska, IChTJ, 2007
- [5] W. Głuszewski, Czy napromieniowane polimery mogą być radioaktywne? Maria Skłodowska-Curie prekursorką radiacyjnej modyfikacji tworzyw sztucznych, Tworzywa Sztuczne w Przemysle, 3, 2017, 72-76
- [6] W. Głuszewski, Polimerowe kompozyty w ochronie radiologicznej, Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna, Biuletyn Informacyjny PAA, 3, 2016, 105, 5-9
- [7] W. Głuszewski, R. Kubacki, M. Rajkiewicz, Polimerowe kompozyty barierowe dla promieniowań mikrofalowych, Tworzywa Sztuczne w Przemysle, 2, 2017, 36-37
- [8] W. Głuszewski, Khôi Tran, L. Cortella, D. Abbasova, Radiacyjna modyfikacja celulozy i konsolidacja radiacyjna, Tworzywa Sztuczne w Przemysle, 3, 2016, 98-99



W dniach od 26 do 31 sierpnia 2018 r. w Moskwie odbędzie się 13 konferencja na temat chemii radiacyjnej polimerów - IRaP 2018 (Ionizing Radiation and Polymers). Tematami spotkania będą między innymi: Podstawowe zjawiska oddziaływania promieniowania jonizującego z polimerami; Radiacyjna degradacja polimerów; Polimery do zastosowań kosmicznych, medycznych i biotechnologicznych; Tworzenie nanostruktur i nanokompozytów; Modyfikacja polimerów za pomocą szybkich elektronów i ciężkich jonów; Sieciowanie i tworzenie hydrożelów; Polimerizacja i obróbka powierzchni; Radioliza naturalnych polimerów; Nowe technologie i rozwój zastosowań przemysłowych; Instalacje do napromieniowania polimerów. (<http://irap2018.chem.msu.ru>)