

Symposium

Historia i Perspektywy

(HiP-2024)

z okazji 55-lecia Oddziału Łódzkiego
Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych
im. Marii Skłodowskiej-Curie



Materiały Konferencyjne

Łódź, 11 maja 2024 r.





Komitet Organizacyjny



Przewodnicząca: Dorota Światła-Wójcik

Komitet historyczno-naukowy:

**Jerzy Lech Gębicki
Marcin Kozanecki
Anita Krokosz
Jerzy Olszewski
Ewa Szajdzińska-Piętek
Piotr Ulański
Radosław Wach**

Komitet organizacyjny:

**Renata Czechowska-Biskup
Justyna Komasa
Anna Konarska
Alicja Olejnik
Bożena Rokita**

Patronat honorowy:



**JM Rektor Politechniki Łódzkiej
prof. dr hab. inż. Krzysztof Józwik**

**Dziekan Wydziału Chemicznego PŁ
prof. dr hab. inż. Małgorzata I. Szykowska-Józwik**





Tytułem wstępu

Polskie Towarzystwo Badań Radiacyjnych (PTBR) im. Marii Skłodowskiej-Curie jest stowarzyszeniem mającym na celu popieranie rozwoju oraz popularyzację badań dotyczących działania promieniowania jonizującego i niejonizującego na materię żywą i nieożywioną. Oddział Łódzki (OŁ) należy do głównych i jednocześnie najstarszych oddziałów regionalnych Towarzystwa. Został utworzony w pierwszej kadencji istnienia PTBR, 8 maja 1969 roku. Siedzibą OŁ jest Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej Wydziału Chemicznego Politechniki Łódzkiej (MITR PŁ). Obecnie OŁ skupia około 70 osób reprezentujących Politechnikę Łódzką, Instytut Medycyny Pracy, Uniwersytet Łódzki, Krajowe Centrum Ochrony Radiologicznej, Wojewódzką Stację Sanitarno-Epidemiologiczną oraz Uniwersytet Medyczny w Łodzi. Tak zróżnicowane środowisko stanowi platformę, która tworzy pomost między teorią badań radiacyjnych, a ich zastosowaniem w praktyce.

Celem Sympozjum HiP-2024 jest podsumowanie 55 lat aktywności Oddziału, pochylenie się nad współczesnymi problemami oraz nakreślenie kierunków przyszłych wyzwań. Sympozjum, to także okazja do uczczenia setnej rocznicy urodzin Profesora Jerzego Kroh, jednego z inicjatorów i członków założycieli oraz pierwszego Prezesa Towarzystwa, wieloletniego dyrektora MITR PŁ, a także Rektora Politechniki Łódzkiej w latach 1981-1987.

Program Obchodów 55-lecia obejmuje dwie części: historyczno-wspomnieniową oraz poświęconą przedstawieniu aktualnych i przyszłych kierunków działań. Ważnym uzupełnieniem części drugiej jest sesja plakatowa młodych członków OŁ oraz dyplomantów i doktorantów, realizujących pracę badawczą pod opieką naukową doświadczonych członków Oddziału. Streszczenia doniesień plakatowych zostały zebrane w Materiałach Konferencyjnych.

Dziękujemy JM Rektorowi Politechniki Łódzkiej oraz Pani Dziekan Wydziału Chemicznego PŁ za objęcie Sympozjum Patronatem Honorowym, co bez wątpienia zaowocuje promocją badań radiacyjnych w środowisku akademickim. Organizacja Sympozjum nie byłaby możliwa bez wsparcia finansowego udzielonego przez Zarząd Główny PTBR, za które bardzo dziękujemy. Jesteśmy wdzięczni Dyrekcji Instytutu za udostępnienie budynku MITR. Szczególnie serdeczne podziękowania kierujemy do tych wszystkich, którzy czynnie wsparli inicjatywę obchodów 55-lecia Oddziału Łódzkiego.

Zarząd XIX Kadencji OŁ PTBR
<https://mitr.p.lodz.pl/PTBR-LODZ>

Program



09.15 – 09.30	Rejestracja
09.30 - 10.00	Otwarcie Pamiątkowe zdjęcie
10.00 – 10.30	55 lat działalności OŁ PTBR
10.30 – 11.00	Wspomnienie o Profesorze Kroh
11.00 - 11.30	Kącik wspomnień przy kawie
11.30 - 12.30	Prezentacje członków reprezentujących Instytucje OŁ PTBR cz. 1
12.30 - 13.30	Lunch
13.30 - 14.30	Prezentacje członków reprezentujących Instytucje OŁ PTBR cz. 2
14.30 – 15.30	Sesja plakatowa
15.30 - 16.00	Zakończenie



Streszczenia wystąpień plakatowych





Lista abstraktów

P1. Celowane nanoosiłniki doksorubicyny oparte na poli(kwasie akrylowym) z potencjałem wykorzystania w leczeniu raka piersi – czy podejście ma znaczenie?

Małgorzata Bukowczyk, Natalia Gibka, Beata P. Rurarz, Kinga A. Urbanek, Dominika E. Habrowska-Górczyńska, Marta J. Kozieł, Karolina Kowalska, Sławomir Kadłubowski, Agnieszka W. Piastowska-Ciesielska, Piotr Ułański

P2. Zawartość Am-241 w powietrzu miejskim – wyniki monitoringu i symulacji.

Magdalena Długosz-Lisiecka, Agnieszka Adamus-Włodarczyk, Krzysztof Isajenko

P3. Synteza hydrożeli z grupy POEGMA przy użyciu promieniowania gamma oraz szybkich elektronów – analiza porównawcza

Masza Góralczyk, Marcin Kozanecki, Sławomir Kadłubowski

P4. Zastosowanie techniki radiolizy impulsowej do badania wpływu stężenia NaClO₄ na kinetykę konwersji HO[•] do Cl₂⁻ w rozcieńczonych wodnych roztworach HCl.

Maria Grapow, Marian Wolszczak, Dorota Świątła-Wójcik

P5. Kinetyka reakcji metalofulerenoli z produktami radiolizy wody: Implikacje dla radiofarmaceutyków

Jacek Grębowski, Anna Konarska, Piotr Piotrowski, Marian Wolszczak, Grzegorz Litwinienko

P6. Dozymetria żelowa 3D do zastosowania w radioterapii

Malwina Jaszczak-Kuligowska, Piotr Maras, Marek Kozicki

P7. Amfifilowe kopolimery POEGMA z "regulowanymi" właściwościami termicznymi - synteza i ogólna charakterystyka.

Jakub Józiewicz, Marcin Kozanecki, Markéta Ilčíková, Sławomir Kadłubowski, Paulina Filipczak



P8. Ocena skuteczności pochodnych stilbenu w uwrażliwianiu komórek raka piersi na działanie promieniowania jonizującego

Dominika Komorowska, Sebastian Kalenik, Agnieszka Zaczek, Aleksandra Rodacka

P9. Radiation sterilisation of PLA/PCL based bone scaffolds

Wiktoria Kowalczyk, Krzysztof Andrzejewski, Bożena Rokita

P10. Analiza stabilności termicznej kolagenu pochodzenia rybiego poddanego działaniu promieniowania jonizującego

Malwina Olejniczak, Bożena Rokita, Alicja K. Olejnik, Radosław Wach

P11. Wstępna charakterystyka układu do badania szybkich reakcji metodą rozpraszania światła laserowego

Karolina Pietrucha, Sławomir Kadłubowski

P12. Żelowy dozymetr 2D Fricke pełniący rolę bolusa

Michał Piotrowski, Piotr Maras, Marek Kozicki

P13. Detekcja nadtlenoazotynu powstającego w reakcji dinitrozylowych kompleksów żelaza z anionorodnikiem ponadtlenkowym

Monika Rola, Angelika Artelska, Jacek Zielonka, Adam Sikora

P14. Promieniowanie jonizujące jako narzędzie w nanoteranostyce raka prostaty

Beata Paulina Rurarz, Kinga Anna Urbanek, Urszula Karczmarczyk, Joanna Raczkowska, Karolina Kowalska, Sławomir Kadłubowski, Agnieszka Sawicka, Michał Maurin, Agnieszka Wanda Piastowska-Ciesielska, Piotr Ulański

P15. Dozymetry tekstylne do pomiarów 2D promieniowania jonizującego i ultrafioletowego

Elżbieta Sasiadek-Andrzejczak, Marek Kozicki

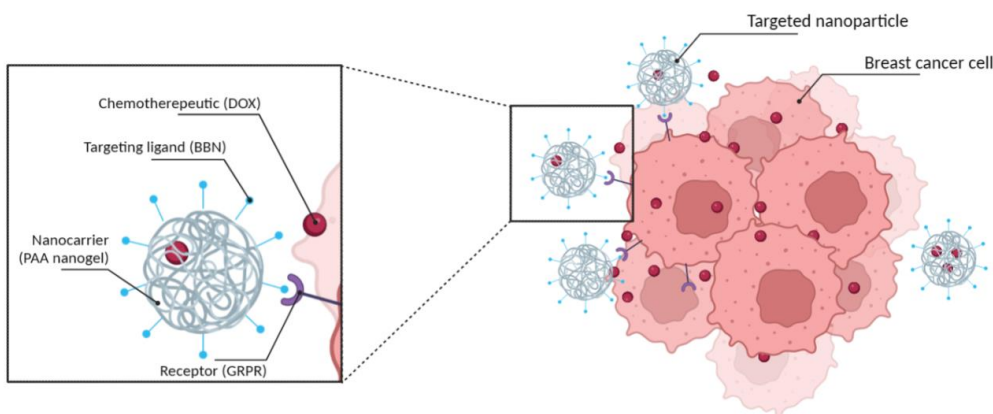
Celowane nanonośniki doksorubicyny oparte na poli(kwasie akrylowym) z potencjałem wykorzystania w leczeniu raka piersi – czy podejście ma znaczenie?

Małgorzata Bukowczyk^{1,2}, Natalia Gibka^{1,2}, Beata P. Rurarz^{1,2}, Kinga A. Urbanek², Dominika E. Habrowska-Górczyńska², Marta J. Kozieł², Karolina Kowalska², Sławomir Kadłubowski¹, Agnieszka W. Piastowska-Ciesielska², Piotr Ulański¹
e-mail: malgorzata.bukowczyk@gmail.com

¹Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka, Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź

²Zakładu Hodowli Komórkowych i Analiz Genomowych, Wydział Medyczny, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Żeligowskiego 7/9, 90-752 Łódź

Rak piersi jest najczęściej występującym typem nowotworu i odpowiada za ponad dwa miliony przypadków rocznie[1]. Choć chemioterapia jest najczęściej stosowaną metodą leczenia, jej skutki uboczne skłoniły naukowców do poszukiwania alternatyw. Jedną z wielu badanych strategii jest ukierunkowana nanoterapia, pod kątem której różne materiały, w tym biokompatybilne polimery, są wykorzystywane w celu uzyskania struktur o najkorzystniejszych właściwościach i zdolności zabijania komórek nowotworowych, a przy tym minimalizujących skutki uboczne obecnie stosowanych rozwiązań.



Schemat 1: Reprezentatywne przedstawienie założeń eksperymentu; schematyczna konstrukcja terapeutycznych nanocząstek celowanych do komórek nowotworowych.



Pomimo tego, że powszechnie stosowane leki przeciwnowotworowe, takie jak doksorubicyna, wykazują dużą skuteczność w walce z rakiem piersi, są one często silnie toksyczne dla zdrowych tkanek i narządów z powodu braku specyficzności w wiązaniu się z komórkami. Problem ten można jednak przezwyciężyć, łącząc lek z nośnikiem ukierunkowanym na komórki nowotworowe, co sprzyja dostarczeniu substancji w sposób znacznie bardziej precyzyjny. Ponadto, taki chemoterapeutyk może dużo zyskać dzięki biokompatybilnemu nanonośnikowi, który będzie w stanie efektywnie dostarczyć wiele cząsteczek leku do nowotworu, minimalizując przy tym ogólnoustrojowe skutki uboczne. Nanożele są przykładem materiału spełniającego powyższe wymagania. Pozwalają one uzyskać konstrukt o korzystnym profilu cytotoksyczności i znacznie poprawionej zdolności ukierunkowanego docierania do nowotworu; synteza radiacyjna bez użycia odczynników organicznych pozwala zaś na uzyskanie materiału o dużej czystości i bezpieczeństwie dla pacjenta.

Celem przedstawionych prac było połączenie leku przeciwnowotworowego: doksorubicyny (DOX), ligandu celującego: pochodnej bombezyny (BBN) oraz nośnika: nanożeli z poli(kwasu akrylowego) (PAA). Zbadano dwie główne metody, w których doksorubicyna została połączona z nanożelami – chemicznie za pomocą trwałych wiązań amidowych, bądź fizycznie poprzez uwięzienie cząsteczek leku w usieciowanej strukturze polimeru. W toku badań, aby zoptymalizować wydajność wytwarzania nanocząstek z DOX, przetestowano szeroką gamę parametrów eksperymentalnych, takich jak pH, warunki prowadzenia procesów (m.in. rodzaj buforu), metody sprzęgania/ładowania doksorubicyny, metody oczyszczania gotowego produktu. Otrzymane nanotransportery zostały następnie poddane charakteryzacji fizykochemicznej, a cytotoksyczność obu konstruktów została porównana w badaniach *in vitro* na linii komórek nowotworowych raka piersi MDA-MB-231.

Ten eksperyment został zrealizowany w ramach projektu „Nowatorskie nanonośniki polimerowe jako transportery radioizotopów do teranostyki onkologicznej” (UMO-2019/33/B/ST5/02125) finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, Polska.

Literatura:

[1] World Health Organization, ‘Cancer’. www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer



Zawartość Am-241 w powietrzu miejskim – wyniki monitoringu i symulacji.

Magdalena Długosz-Lisiecka¹, Agnieszka Adamus-Włodarczyk¹, Krzysztof Isajenko²
e-mail: magdalena.dlugosz@p.lodz.pl, agnieszka.adamus@p.lodz.pl

¹Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej,
Wróblewskiego 15, 90-924 Łódź, Polska,

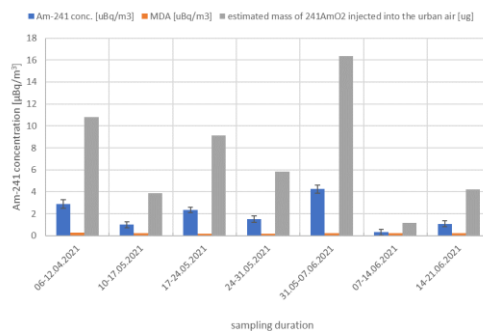
²Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa

Ameryk jest jednym z najbardziej radiotoksycznych izotopów stosowanych w technice nuklearnej [1] oraz w postaci źródeł zamkniętych w precyzyjnych urządzeniach pomiarowych (np. przepływomierze przemysłowe, mierniki paliwa lotniczego, grubościomierze) oraz w czujnikach dymu [2]. Czujki dymu zostały w dużej mierze rozpowszechnione na całym świecie jako małe i bardzo skuteczne urządzenia do wykrywania pożarów w budynkach. Ze względu na wysokie koszty legalnego przechowywania zdemontowanych czujek dymu oraz brak świadomości właścicieli budynków, duża liczba czujek bez żadnej kontroli jest wyrzucana wraz ze zwykłymi odpadami komunalnymi lub przetwarzana jako zwykłe e-odpady.

Przetwarzanie odpadów elektrycznych, zwłaszcza izotopowych czujek dymu, zostało zbadane jako możliwa przyczyna uwolnienia ²⁴¹Am do atmosfery, prawdopodobnie w wysokotemperaturowej fazie separacji metali. Zbadano i opisano możliwe okoliczności rozmieszczenia promieniotwórczego izotopu ²⁴¹Am w powietrzu miejskim w centralnej Polsce przy użyciu stacji do pobierania próbek aerozoli ASS500 o dużej objętości oraz za pomocą modelu HYSPLIT do symulacji dyspersji i transportu izotopów. Stężenie ²⁴¹Am zostało zidentyfikowane i zbadane w ciągu siedmiu tygodni między kwietniem a czerwcem 2021 r. w centralnej Polsce.

Regularna analiza ²⁴¹Am w powietrzu dostarcza informacji o występowaniu procesów powtarzających się, bez żadnego szczytu, jedynie z fluktuacjami. Wyniki zmieniały się w zakresie od 0,305 na 4,241 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ i przedstawione zostały na Rysunku 1. Obserwacje wskazują na stosunkowo szybkie wprowadzenie zanieczyszczeń do atmosfery i ich rozmieszczenie w regionie centralnej Polski w mierzalnych stężeniach. We wspomnianych dniach obecność ²⁴¹Am potwierdziła jedynie stacja ASS 500 zlokalizowana w Łodzi, żadna inna stacja wczesnego monitoringu nie potwierdziła obecności tego izotopu, dodatkowo brak innych, powiązanych sztucznych izotopów na filtrach.

W niniejszej pracy podjęto również próbę oceny rozprzestrzeniania się skażenia z wykorzystaniem modelowania HYPPLIT, w oparciu o archiwalne mapy pogodowe dla danego obszaru oraz na podstawie szeregu wstępnych założeń. Oprogramowanie symulacyjne pozwoliło na ocenę odsłoniętego obszaru, opadu izotopu na powierzchnię gruntu oraz zachowania się cząstek w powietrzu w profilu wysokościowym.



Rysunek 1: Wyniki stężeń izotopów ^{241}Am [$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$] mierzonych metodą spektrometrii gamma, MDA [$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$] oraz szacowanej masy emitowanego pyłu [μg].

Uzyskane w tej pracy wyniki eksperymentalne i symulacyjne wskazywały na podobne wartości stężenia promieniotwórczego ^{241}Am w powietrzu. Spójność i kompatybilność wyników potwierdza przydatność obu podejść w zarządzaniu sytuacjami zagrożenia radiacyjnego i wykrywaniu źródeł zwiększonych stężeń radioizotopów w powietrzu. Zmierzone stężenia ^{241}Am nie miały wpływu radiologicznego na efektywną dawkę w populacji, a uwolnienie izotopu nie wymagało podjęcia żadnych działań nadzwyczajnych. Jednak w przypadku ewentualnego przyszłego występowania sztucznych izotopów w powietrzu miejskim w znacznie bardziej rozpowszechnionej formie i w wyższym stężeniu, może być potrzebna procedura awaryjna i pełne wyjaśnienie okoliczności.

Podziękowania dla NOAA Laboratorium Zasobów Powietrznych (ARL) za udostępnienie urządzenia HYSPLIT do symulacji dyspersji i transportu cząstek izotopu.

Literatura:

- [1] J. Eakins, C. Huet, H. Brkić, K. Capello, L. Desorgher, L. Epstein, J.G. Hunt, H.S. Kim, D. Krstic, Y.-K. Lee, M. Manohari, D. Nikezic, R.H. Shukrun, D.Souza-Santos, K. Tymińska, 2021., *Radiation Measurements*, 2021, **148**, 106649.
- [2] M. Rozmaric, E. Chamizo, D.C. Louw, M. López-Lora, O. Blinova, I. Levy, B. Mudumbi, A.K.van der Plas, R.Garcia Tenorio, P.McGinnity, I. Osvath, *Chemosphere*, 2022, **286**, 131514.



Synteza hydrożeli z grupy POEGMA przy użyciu promieniowania gamma oraz szybkich elektronów – analiza porównawcza

Masza Góralczyk¹, Marcin Kozanecki¹, Sławomir Kadłubowski²
e-mail: 242177@edu.p.lodz.pl (Masza Góralczyk)

¹*Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka,
ul. Żeromskiego 116, 90-543 Łódź, Polska*

²*Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka,
ul. Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź, Polska*

Hydrożele polimerowe są materiałami powszechnie stosowanymi, między innymi w medycynie, przemyśle spożywczym, agrotechnice, ze względu na ich zdolność do pochłaniania i zatrzymywania znacznych ilości wody. Obecnie, coraz większe znaczenie zyskują hydrożele czułe na bodźce, np. temperaturę lub pH. Czułość na bodźce czyni z nich atrakcyjne materiały przydatne do produkcji m.in. nośników leków, nawozów lub innych substancji.

Hydrożele polimerowe to usieciowane układy wielkocząsteczkowe, które można uzyskiwać różnymi metodami, w tym metodami radiacyjnymi [1]. W tym ostatnim przypadku stosuje się zazwyczaj promieniowanie z zakresu ultrafioletu, mikrofal, promieniowanie gamma lub wiązkę wysokoenergetycznych elektronów. Synteza żeli przy użyciu promieniowania jest atrakcyjna ze względu na szybkość procesu, możliwość syntezy w masie, tj. bez użycia rozpuszczalnika oraz często brak konieczności stosowania toksycznych inicjatorów. Dodatkowo, przy zastosowaniu odpowiednio dużej dawki promieniowania jonizującego do inicjowania procesu tworzenia żeli (standardowo przyjmuje się, że jest to graniczną dawką jest dawka 25 kGy), finalny produkt uważany jest za sterylne [2]. Hydrożele polimerowe można uzyskiwać zarówno z czystych monomerów, ich roztworów, jak i poprzez sieciowania już istniejących makrocząsteczek.

Celem prowadzonych prac było porównanie właściwości termoczulych hydrożeli z grupy poli(metakrylanów oligoeterów) POEGMA syntezowanych za pomocą szybkich elektronów oraz promieniowania gamma [3]. Materiały te, jako nałogi poli(glikolu etylenowego) postrzegane są jako atrakcyjne biomateriały o modulowanej temperaturze tzw. objętościowego przejścia fazowego (z ang. Volume Phase Transition, VPT). Temperatura VPT jest m.in. zależna od składu chemicznego żelu, jego stopnia uwodnienia i obecności dodatkowych substancji (szczególnie jonowych).



Zaobserwowano, że w zależności od rodzaju wykorzystanego do syntezy promieniowania, widoczne są istotne różnice między innymi w dawce żelowania (minimalnej dawce potrzebnej do wytworzenia makroskopowego żelu), gęstości oraz szybkości sieciowania, a także właściwości sorpcyjnych uzyskanych żeli. Źródła obserwowanych różnic można doszukiwać się w energii, a przede wszystkim w sposobie dawkowania promieniowania – impulsowym w przypadku wysokoenergetycznych elektronów lub ciągłym w przypadku promieniowania gamma.

Badania wykonano w ramach projektu E²TOP – Excellence in Engineering: Talents in Research with Opportunities Programme

Literatura:

- [1] K. Matyjaszewski, *Macromolecules*, 2012, 45(10), 4015–4039.
- [2] V. Malisic, V. Gajic, S. Porobic, A. Pataric, S. Putic, I. Vujcic, *Radiation Physics and Chemistry*, 2023, 207(110846), 1-7.
- [3] K. Piechocki, M. Kozanecki, S. Kadłubowski, B. Pacholczyk-Sienicka, P. Ulański, T. Biela, *Polymer*, 2018, 150, 275–288.



Zastosowanie techniki radiolizy impulsowej do badania wpływu stężenia NaClO_4 na kinetykę konwersji HO^\cdot do Cl_2^- w rozcieńczonych wodnych roztworach HCl .

Maria Grapow¹, Marian Wolszczak¹, Dorota Światła-Wójcik¹
e-mail: 243106@edu.p.lodz.pl (Maria Grapow)

¹Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnych, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka, ul. Żeromskiego 114, 90-543, Łódź, Polska

Badania kinetyki konwersji rodnika hydroksylowego w rozcieńczonych wodnych roztworach zawierających jony chlorkowe są ważne ze względu na ich znaczenie w procesach chlorowania wody oraz oczyszczania ścieków. Ponadto, produkt przejściowy tej reakcji, rodnik chlorkowy, jest odpowiedzialny za tworzenie toksycznych chlorowcopochodnych w wodzie morskiej i jej aerozoluach [1].

Celem pracy było zbadanie wpływu stężenia NaClO_4 na kinetykę konwersji HO^\cdot do Cl_2^- w rozcieńczonych wodnych roztworach HCl . Wykorzystaną przeze mnie metodą była technika radiolizy impulsowej umożliwiająca śledzenie krótkożyjących, reaktywnych produktów. Pomiary wykonałam w pracowni liniowego akceleratora elektronów ELU-6 w Międzyresortowym Instytucie Techniki Radiacyjnej. Rejestrowałam wzrost absorbancji dla długości fali 340 nm, co odpowiada maksimum absorpcji Cl_2^- . Badania wykonałam w zakresie siły jonowej 0,01-3,10 mol·kg⁻¹ dla ustalonych dwóch stężeń kwasu solnego 0,01 oraz 0,05 M. Obserwowany wzrost absorbancji wykazuje dobrą zgodność z kinetyką pierwszorzędową ($R^2=0,94-1,00$). Wartości wyznaczonych stałych szybkości maleją wraz ze wzrostem stężenia NaClO_4 . Otrzymane wyniki potwierdzają mechanizm tworzenia Cl_2^- zaproponowany w pracy [2].

Literatura:

- [1] Fangyuan Cheng, Jiale He, Chao Li, Ying Lu, Ya-nan Zhang, Jiao Qu, *Photo-induced degradation and toxicity change of decabromobiphenyl ethers (BDE-209) in water: Effects of dissolved organic matter and halide ions*, Journal of Hazardous Materials, Volume 416, 2021, 125842.
- [2] Kazmierczak, L.; Wolszczak, M.; Światła-Wójcik, D. *Ionic-Equilibrium-Based Mechanism of •OH Conversion to Dichloride Radical Anion in Aqueous Acidic Solutions by Kinetic and Theoretical Studies*. J. Phys. Chem. B 2019, 123, 528–533.



Kinetyka reakcji metalofulerenoli z produktami radiolizy wody: Implikacje dla radiofarmaceutyków

Jacek Grębowski^{1,2}, Anna Konarska³, Piotr Piotrowski⁴, Marian Wolszczak³,
Grzegorz Litwinienko⁴
e-mail: jacek.grebowski@biol.uni.lodz.pl

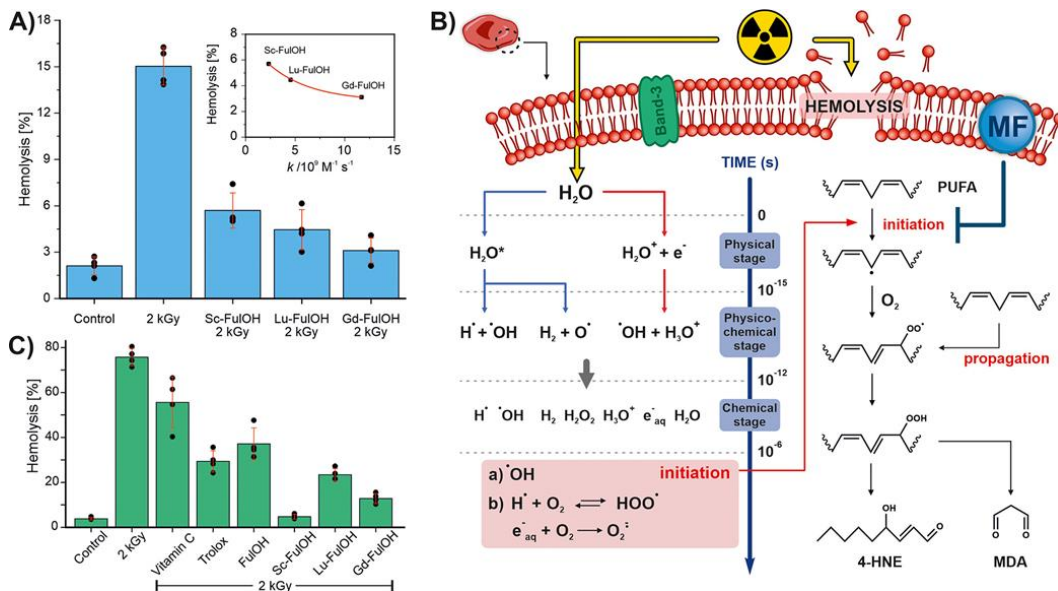
¹*Katedra Biologii Nowotworów i Epigenetyki, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska,
Uniwersytet Łódzki, Pomorska 141/143, 90-236, Łódź, Polska*

²*Wojskowy Instytut Medyczny - Państwowy Instytut Badawczy,
Szaserów 128, 04-141, Warszawa, Polska*

³*Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemii,
Politechnika Łódzka, Gen. Walerego Wróblewskiego 15, 93-590, Łódź, Polska*

⁴*Wydział Chemii, Uniwersytet Warszawski, Ludwika Pasteura 1, 02-093 Warszawa, Polska*

Radioterapia jest jednym z podstawowych sposobów leczenia raka, opartym na uszkodzeniu komórek nowotworowych spowodowanym przez reaktywne formy tlenu generowane podczas promieniowania jonizującego. Ponieważ promieniowanie powoduje uszkodzenia oksydacyjne, które mogą dotyczyć również komórek normalnych, nowoczesne terapie obejmują stosowanie skutecznych radioprotektorów w celu zminimalizowania skutków ubocznych radioterapii. W niniejszym badaniu wykorzystano radiolizę impulsową do kinetycznej oceny właściwości antyoksydacyjnych trzech metalofulerenoli rozpuszczalnych w wodzie (MFs), tj. $\text{Sc}_3\text{N}@\text{C}_{80}(\text{OH})_{18}$, $\text{Lu}_3\text{N}@\text{C}_{80}(\text{OH})_{18}$ i $\text{Gd}@\text{C}_{82}(\text{OH})_{22}$, jako potencjalnych kandydatów na radioprotektory. Stałe szybkości reakcji tych związków z rodnikami hydroksylowymi (HO^\bullet) wynoszą odpowiednio 2.24×10^9 , 4.32×10^9 i $1.11 \times 10^{10} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Zdolność MFs do uwięzienia HO^\bullet jest dobrze skorelowana z ich efektem ochronnym przed hemolizą erytrocytów ludzkich (czerwonych krwinek, RBC), wywołaną radiolizą w warunkach beztlenowych, sugerując, że MFs skutecznie pochłaniają rodniki HO^\bullet przed atakiem na błony biologiczne. Ta korelacja przestaje być ważna w warunkach tlenowych, gdy HO^\bullet atakuje lipidy błonowe, a proces staje się peroksydacją pośredniczoną przez rodniki peroksyłowe. Jednak wszystkie trzy MFs wykazują znacznie lepszą radioprotekcję niż witamina C lub Trolox (rozpuszczalny w wodzie analog tokoferolu). Wysoka polarność (bioaktywność) MFs i ich zdolność do skutecznego uwięzienia rodników czynią je potencjalnie dobrymi inhibitorami uszkodzeń oksydacyjnych, które mogą wystąpić jako skutek uboczny radioterapii [1].



Schemat 1: (A) Stopień hemolizy RBC wywołanej rodnikami HO[•] po napromieniowaniu (system eksperymentalny 1). Control = próbka niepoddana napromieniowaniu. Drugi słupek przedstawia wyniki dla erytrocytów napromieniowanych, ale bez metalofulerenoli, a kolejne słupki to próbki napromieniowane w obecności 25 μM MFs. Wstawka: Stopień hemolizy przedstawiony w zależności od stałych szybkości reakcji MFs z HO[•] (B) Chemiczne i biologiczne skutki oddziaływania promieniowania jonizującego na erythrocyty (część biomembrany jest pokazana). Przedstawione są dwa tryby działania: bezpośrednie działanie na docelowe lipidy błonowe (komponenty komórkowe) oraz pośrednie działanie wynikające z pobudzenia i rozpadu cząsteczek wody. Reaktywne formy tlenu (ROS) są odpowiedzialne za uszkodzenia oksydacyjne lipidów i innych biomolekuł. MFs mogą działać jako przeciwdziałające antyoksydanty (redukcja pewnej frakcji HO[•] przed inicjacją peroksydacji) lub interweniujące antyoksydanty (tj. skuteczne zmiatanie rodników lipidowych). (C) Hemoliza erythrocytów narażonych na promieniowanie γ w atmosferze powietrza (system eksperymentalny 2). Pierwsze dwa słupki to próbka kontrolna i próbka napromieniowana, ale bez metalofulerenoli; kolejne słupki przedstawiają wynik dla próbek zawierających stężenie 25 μM witaminy C, Troloxu, fulerenu C₆₀(OH)₃₆ i trzech MFs.

Literatura:

[1] J. Grebowski, A. Konarska, P. Piotrowski, M. Wolszczak, G. Litwinienko, *ACS Appl. Nano Mater.* 2024, **7** (1), 539–549.

Finansowanie:

Praca została wsparta przez Narodowe Centrum Nauki (NCN), Polska (grant NCN nr 2019/35/D/ST4/02627) przyznany J.G.



P-6



Dozymetria żelowa 3D do zastosowania w radioterapii

Malwina Jaszczak-Kuligowska¹, Piotr Maras², Marek Kozicki^{1,3}

e-mail: malwina.jaszczak@p.lodz.pl, marek.kozicki@p.lodz.pl

¹*Katedra Inżynierii Mechanicznej, Informatyki Technicznej i Chemii Materiałów Polimerowych, Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów, Politechnika Łódzka, Żeromskiego 116, 90-543, Łódź*

²*Instytut Zakład Planowania Radioterapii, Wojewódzkie Wielospecjalistyczne Centrum Onkologii i Traumatologii im. M. Kopernika w Łodzi, Pabianicka 62, 90-543, Łódź*

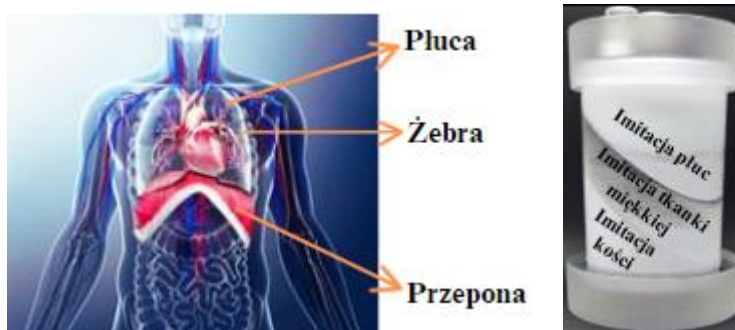
³*GeVero Co., Łódź, Polska (<http://polygevero.com>)*

Radioterapia polega na miejscowym leczeniu zmian nowotworowych z wykorzystaniem energii promieniowania jonizującego. W ostatnich latach nastąpił znaczny rozwój technik napromieniania, dzięki czemu możliwe jest leczenie nowotworów z dużą precyzją. Postęp ten wymaga równoległego rozwoju metod dozymetrycznych, służących do rejestracji rozkładu dawki i weryfikacji opracowanego planu leczenia. Obecnie w zastosowaniu klinicznym wykorzystuje się dozymetry jedno- lub dwuwymiarowe mierzące rozkład dawki odpowiednio w punkcie lub płaszczyźnie (np. komory jonizacyjne, detektory półprzewodnikowe, filmy dozymetryczne). Stosowane są także matryce 3D, umożliwiające rozkład dawki w 2D i konwertowanie go na 3D. W tym przypadku ograniczona jest jednak rozdzielczość przestrzenna wyniku, jaką można uzyskać. Wykonanie pomiaru rozkładu dawki w 3D z wysoką rozdzielczością umożliwiają jedynie dozymetry trójwymiarowe, które jednocześnie imitują tkanki miękkie.

Wyróżnia się kilka rodzajów dozymetrów trójwymiarowych, a mianowicie żelowe dozymetry Fricke, żelowe dozymetry polimerowe, żelowe dozymetry radiochromowe, żelowe dozymetry fluorescencyjne, radiochromowe dozymetry żywicowe oraz radiochromowe dozymetry odkształcalne. Dozymetry 3D składają się z matrycy żelowej (żelatyna, agar, alginian, Pluronic F-127), silikonowej lub żywicowej, w której rozpuszczone są składniki aktywne (jony żelaza, monomery lub barwniki), ulegające przemianom pod wpływem promieniowania jonizującego. Jony żelaza w dozymetrach Fricke ulegają utlenieniu (z Fe^{2+} do Fe^{3+} , które różnią się momentem magnetycznym i promieniem jonu), monomery w dozymetrach polimerowych ulegają polimeryzacji i sieciowaniu, tworząc agregaty usieciowanego polimeru, barwniki radiochromowe w dozymetrach radiochromowych ulegają barwnym przemianom, a barwniki fluorescencyjne w dozymetrach fluorescencyjnych tworzą struktury chemiczne, które fluoryzują w świetle UV. Efekty po napromienieniu są tym bardziej widoczne, im wyższa jest zaabsorbowana

dawka promieniowania jonizującego. Zachodzące w dozymetrach zmiany można rejestrować za pomocą metod obrazowania takich jak rezonans magnetyczny (dozymetry Fricke i dozymetry polimerowe), tomografia komputerowa (dozymetry polimerowe), optyczna tomografia komputerowa (dozymetry polimerowe i radiochromowe), ultrasonografia (dozymetry polimerowe) i tomograficzne obrazowanie fluorescencyjne (dozymetry fluorescencyjne) [1-3].

Grupa DosLab działająca w Politechnice Łódzkiej pod kierownictwem Prof. Marka Kozickiego od lat zajmuje się tematyką dozymetrii 3D promieniowania jonizującego w radioterapii. W zespole opracowano składy chemiczne i metody wytwarzania wielu dozymetrów żelowych polimerowych i radiochromowych. Najnowszą propozycją zespołu są dozymetry wielofazowe 3D, imitujące tkanki miękkie, płuca i/lub kości w jednym fantomie [4]. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest odwzorowanie sytuacji, w której narządy o różnej gęstości (tkanki miękkie, płuca i kości) przylegają do siebie, np. przepona, płuca i żebra (rysunek 1). To przybliżenie dozymetru do rzeczywistej budowy anatomicznej organizmu człowieka zwiększa precyzję weryfikacji planu leczenia.



Rysunek 1: Dozymetr wielofazowy imitujący mięśnie, kości i płuca w jednym fantomie, odwzorowujący elementy ludzkiego ciała.

Literatura:

- [1] C. Baldock, Y. De Deene, S. Doran, G. Ibbot, A. Jirasek, M. Lepage, K. B. McAuley, M. Oldham, L. J. Schreiner, *Phys. Med. Biol.*, 2010, **55**, R1.
- [2] Y. De Deene, *Gels*, 2022, **8**, 599.
- [3] C. P. Karger, A. Elter, S. Dorsch, P. Mann, E. Pappas, M. Oldham, *Phys. Med. Biol.*, 2024, **69**, 06TR01.
- [4] M. Kozicki, M. Bartosiak, P. Maras, R. Wach, S. Kadlubowski, *Adv. Mater. Technol.* 2023, **8**, 2201023.



Amfifilowe kopolimery POEGMA z "regulowanymi" właściwościami termicznymi - synteza i ogólna charakterystyka.

Jakub Józiewicz^{1,2}, Marcin Kozanecki¹, Markéta Ilčíková³, Sławomir Kadłubowski⁴,
Paulina Filipczak¹

e-mail: 244576@edu.p.lodz.pl (Jakub Józiewicz)

¹Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka, Żeromskiego 116,
90-543, Łódź, Polska

²Studenckie Koło Naukowe NANO, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka, Stefanowskiego 16,
90-537, Łódź, Polska

³Centrum polymerních systémů, Univerzita Tomáše Bati, třída Tomáše Bati 5678, 760 01 Zlín,
Česká Republika

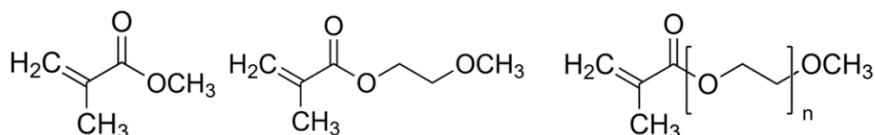
⁴Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka,
Wróblewskiego 15, 93-590, Łódź, Polska

Poli(metakrylany oligoeterów etylenowych), POEGMA, są biokompatybilnymi polimerami, dzięki czemu znajdują one szereg zastosowań biologicznych oraz biomedycznych, takich jak systemy dostarczania leków, biokoniuagaty czy też powierzchnie do hodowli komórkowych [1]. Jednym z powodów tak szerokiego wachlarza zastosowań jest ich termoczulość (jeśli ilość grup etoksylowych w łańcuchu bocznym mieści się w zakresie $2 \leq n \leq 9$, objawiająca się objętościowym przejściem fazowym (z ang. volume phase transition, VPT), w przypadku układów usieciowanych lub przejściem kłębek-globula, w przypadku polimerów liniowych. Polimery z grupy POEGMA o dłuższym łańcuchu bocznym nie wykazują termoczulości.

Temperatura VPT zależy od hydrofilowości polimeru, którą można precyzyjnie sterować poprzez ilość grup etoksylowych w łańcuchu bocznym lub odpowiedni dodatek komonomeru o dłuższym łańcuchu bocznym [2]. Natomiast dodatek komonomerów hydrofobowych do polimerów z grupy POEGMA nie został dotychczas szeroko opisany w literaturze. Należy się jednak spodziewać, że dodatkowe hydrofobowe fragmenty w strukturze POEGMA doprowadzą do obniżenia temperatury VPT [3].

W ramach pracy zbadano wpływ obecności metakrylanu metylu oraz metakrylanu 2-metoksymetylu na termoczulość hydrożeli i polimerów liniowych na bazie POEGMA 500 oraz POEGMA 300 (liczby 300 i 500 odnoszą się do średniego ciężaru cząsteczkowego monomerów i odpowiadają cząsteczkom odpowiednio z sześcioma i dziewięcioma grupami etoksyloowymi). Do syntezy żeli wykorzystano metodę indukowanej radiacyjnie

polimeryzacji i sieciowania (RICP), natomiast do syntezy polimerów liniowych wykorzystano polimeryzację rodnikową z przeniesieniem atomu (ATRP). Zastosowanie tych hydrofobowych komonomerów jest szczególnie interesujące, ze względu na bardzo podobną strukturę chemiczną (zaprezentowaną poniżej), co nie powinno znacząco wpływać na biogodność uzyskanych produktów.



Rysunek 1: Wzory użytych monomerów, metakrylan metylu, metakrylan 2-metoksyetylu oraz OEGMA.

Literatura:

- [1] J.-F. Lutz, *Advanced Materials*, 2011, **23**, 2237-2243.
- [2] J.-F. Lutz, A. Hoth, *Macromolecules*, 2006, **39**, 893-896.
- [3] T. Gelbrich, G. U. Marten, A. M. Schmidt, *Polymer*, 2010, **51**, 2818-2824.



Ocena skuteczności pochodnych stilbenu w uwrażliwianiu komórek raka piersi na działanie promieniowania jonizującego

Dominika Komorowska¹, Sebastian Kalenik¹, Agnieszka Zaczek¹, Aleksandra Rodacka¹
e-mail: dominika.komorowska@edu.uni.lodz.pl

¹*Katedra Biologii Nowotworów i Epigenetyki Instytutu Biofizyki, Uniwersytet Łódzki, ul. Pomorska 141/143, 90-236 Łódź*

Rak piersi jest najczęściej diagnozowanym nowotworem u kobiet. W Polsce rocznie notuje się około 19 tysięcy nowych przypadków zachorowań na ten typ nowotworu [1,2]. Leczenie polega głównie na chirurgicznym usunięciu tkanki zmienionej nowotworowo, a następnie miejscowym zastosowaniu radioterapii. W wielu przypadkach np. gdy nowotwór jest w zbyt zaawansowanym stadium, bądź stan ogólny pacjenta nie pozwala na wdrożenie innego leczenia, radioterapia jest jedyną możliwą do zastosowania metodą. Jednak radioterapia nie zawsze jest wystarczająco efektywna. Wynika to głównie z wrodzonej bądź nabytej radiooporności komórek nowotworowych [3]. Dlatego poszukuje się sposobów, które zwiększałyby wrażliwość komórek nowotworowych na działanie promieniowania jonizującego, a jednocześnie chroniłyby komórki prawidłowe przed jego szkodliwym działaniem. W tym aspekcie dużym zainteresowaniem cieszą się niskocząsteczkowe związki pochodzenia naturalnego. Dane literaturowe wskazują, że niektóre związki z grupy polifenoli mogą zwiększać efekty cytotoksycznego działania promieniowania jonizującego na szereg rodzajów komórek nowotworowych [4-7]. Stąd też **celem prowadzonych badań była ocena i porównanie działania 3 związków, pochodnych stilbenu, w kombinacji z promieniowaniem jonizującym na komórki raka piersi.**

Badania wykonano na komórkach dwóch linii raka piersi: estrogenozależnej linii MCF-7 oraz hormononiezależnej linii HCC38. Badanymi związkami były resweratrol i dwa jego analogi: piceatannol oraz piceidu. Do napromieniowania zastosowano aparat rentgenowski Stabilipan firmy Siemens (195 kV, 18 mA). Zastosowana w badaniach dawka promieniowania wynosiła 6 Gy.

Komórki preinkubowano z badanym związkiem (resweratrol, piceatannol lub piceid) przez 3h, a następnie poddawano działaniu promieniowania jonizującego. Po 24h od napromieniowania oceniono poziom apoptozy oraz wskazano szlaki, które uczestniczą w jej indukcji. Sprawdzone także czy dochodzi do aktywacji antyoksydacyjnej odpowiedzi komórek na skutek działania reaktywnych form tlenu generowanych radiacyjnie. Ponadto



na podstawie poziomu ekspresji białka RAD51 i H2AX ustalono czy dochodzi do indukcji napraw radiacyjnie uszkodzonego DNA w badanych komórkach nowotworowych.

Na podstawie badań ustalono, że linia MCF-7 jest ok. 2-krotnie bardziej wrażliwa na działanie resweratrolu zastosowanego w kombinacji z promieniowaniem X niż linia HCC38. W związku z tym wszystkie badania wykonano stosując związki w stężeniu 25 μM dla linii MCF-7 oraz 50 μM dla linii HCC38. Proces apoptozy zarówno w komórkach MCF-7 jak i w komórkach HCC38 aktywowany był z udziałem szlaku zewnętrznego jak i szlaku wewnętrznego. Ponadto uzyskane wyniki wskazują, że w przypadku linii MCF-7 aktywacja programowanej śmierci zachodzi niezależnie od białka p53. Większa promieniowrażliwość komórek MCF-7 w porównaniu do komórek HCC38 związana była ze słabszą antyoksydacyjną odpowiedzią komórek oraz obniżoną intensywnością naprawy radiacyjnie uszkodzonego DNA

Uzyskane w pracy wyniki pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że spośród badanych pochodnych stilbenu, resweratrol jest najskuteczniejszy we wzmacnianiu efektywności działania promieniowania X w indukcji śmierci komórek nowotworowych piersi.

Literatura:

- [1] Ciechanowska, K., Krajewska, K., & Antczak-Komoterska, A. (2018). Nowotwór piersi - problemy i jakość życia kobiet po mastektomii. *Innowacje w Pielęgniarstwie*, 3(4), 91– 99. <https://doi.org/10.21784/iwp.2018.024>
- [2] Kamińska, M., Ciszewski, T., Łopacka-Szatan, K., Miotła, P., & Starosławska, E. (2015). Breast cancer risk factors. W *Przegląd Menopauzalny* (T. 14, Numer 3, s. 196–202). Termedia Publishing House Ltd. <https://doi.org/10.5114/pm.2015.54346>
- [3] Gong, L., Zhang, Y., Liu, C., Zhang, M., & Han, S. (2021). Application of radiosensitizers in cancer radiotherapy. W *International Journal of Nanomedicine* (T. 16, s. 1083– 1102). Dove Medical Press Ltd. <https://doi.org/10.2147/IJN.S290438>
- [4] Komorowska, D., Radzik, T., Kalenik, S., & Rodacka, A. (2022). Natural Radiosensitizers in Radiotherapy: Cancer Treatment by Combining Ionizing Radiation with Resveratrol. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18). <https://doi.org/10.3390/ijms231810627>
- [5] Tan, Y., Wei, X., Zhang, W., Wang, X., Wang, K., Du, B., & Xiao, J. (2017). Resveratrol enhances the radiosensitivity of nasopharyngeal carcinoma cells by downregulating E2F1. *Oncology Reports*, 37(3), 1833–1841. <https://doi.org/10.3892/or.2017.5413>
- [6] Xiong, W., Yin, A., Mao, X., Zhang, W., Huang, H., & Zhang, X. (2016). Resveratrol suppresses human glioblastoma cell migration and invasion via activation of RhoA/Rock signaling pathway. *Oncology Letters*, 11(1), 484–490. <https://doi.org/10.3892/ol.2015.3888>
- [7] Wang, X., Ma, S., Meng, N., Yao, N., Zhang, K., Li, Q., Zhang, Y., Xing, Q., Han, K., Song, J., Yang, B., & Guan, F. (2016). Resveratrol exerts dosage-dependent effects on the self-renewal and neural differentiation of hUC-MSCs. *Molecules and Cells*, 39(5), 418–425. <https://doi.org/10.14348/molcells.2016.2345>



P-9



Radiation sterilisation of PLA/PCL based bone scaffolds

Wiktoria Kowalczyk¹, Krzysztof Andrzejewski², Bożena Rokita¹
e-mail: 234642@edu.p.lodz.pl (Wiktoria Kowalczyk)

¹*Institute of Applied Radiation Chemistry, Faculty of Chemistry, Lodz University of Technology,
Wróblewskiego 15, 93-590 Lodz, Poland*

²*Veteran's Memorial Hospital Medical University of Lodz, Żeromskiego 113, 90-549 Lodz, Poland*

This study investigates the development and sterilisation of novel bone scaffolds designed for promoting bone regeneration in non-union and osteoporosis fractures (fig.1). The scaffold matrix is fabricated from poly(lactic acid) (PLA) and polycaprolactone (PCL), incorporating bioactive additives such as hydroxypropyl cellulose (Klucel JF), poly(vinyl alcohol) (PVA), hydroxyapatite (HA), and hyaluronic acid (HyA) [1]. These scaffolds mimic the structure of cancellous bone, offering a highly porous microarchitecture for cell infiltration and osteoconduction [2]. This research aims to establish Electron Beam (E-beam) sterilisation as a reliable method for these innovative bone scaffolds, paving the way for their clinical application in promoting bone regeneration.

Sterilisation is crucial for biomaterials (bone scaffolds) to prevent infection upon implantation. E-beam sterilisation is chosen due to having several advantages, such as superior dose control and greater material penetration, ensuring sterility throughout the scaffold, even into the closed pores, without damaging the bulk material [3]. In contrast, heat sterilization is unsuitable due to the low melting point of PCL, and chemical sterilization such as ethylene oxide (EO) will not penetrate the entire scaffold (closed pores).

E-beam sterilization utilizes a focused beam of high-energy electrons to eliminate microorganisms. However, prolonged exposure can lead to polymer chain scission, potentially affecting the mechanical properties of the scaffolds. We anticipate a trend of decreasing mechanical strength with increasing E-beam dosage [4].

To comprehensively evaluate the effects of E-beam sterilization, a battery of tests are employed. Mechanical testing (compressive strength) assesses the scaffolds' stiffness and strength. Structural and chemical analyses utilizes techniques such scanning electron microscopy (SEM), and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) to investigate potential changes in morphology and chemical structure [5]. Cell culture experiments will evaluate cell adhesion and proliferation on the scaffolds. Influence of porosity and different porogen incorporation techniques on the property retention of the scaffolds are being explored. Additionally, the swelling behaviour of the scaffolds in response to immersion in NaCl solution, simulated body fluid (SBF), and human blood are also studied [6].

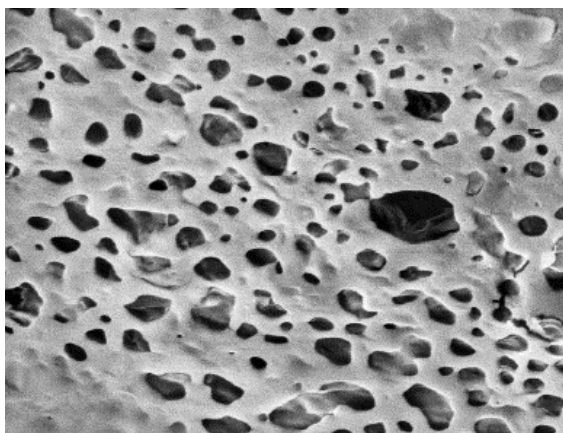


Figure 1: SEM image at magnification of x4000 depicting the inside of the PLA/PCL bone scaffold matrix.

Literature:

- [1] Kroeze RJ, Helder MN, Govaert LE, Smit TH. Biodegradable Polymers in Bone Tissue Engineering. *Materials* (Basel). 2009 Jul 24;2(3):833–56. doi: 10.3390/ma2030833. PMID: PMC5445745.
- [2] Jiang S, Wang M, He J. A review of biomimetic scaffolds for bone regeneration: Toward a cell-free strategy. *Bioeng Transl Med*. 2020 Dec 15;6(2):e10206. doi: 10.1002/btm2.10206. PMID: 34027093; PMID: PMC8126827.
- [3] Kim, S. M., Fan, H. T., Cho, Y. J., Eo, M. Y., Park, J. H., Kim, B. N., Lee, B. C., & Lee, S. K. (2015, April 21). Electron beam effect on biomaterials I: focusing on bone graft materials. *Biomaterials Research/Biomaterials Research*. <https://doi.org/10.1186/s40824-015-0031-5>
- [4] Bruyas, A., Moeinzadeh, S., Kim, S. W., Lowenberg, D. W., & Yang, Y. P. (2019, February 1). Effect of Electron Beam Sterilization on Three-Dimensional-Printed Polycaprolactone/Beta-Tricalcium Phosphate Scaffolds for Bone Tissue Engineering. *Tissue Engineering. Part A*. <https://doi.org/10.1089/ten.tea.2018.0130>
- [5] Baker MJ, Trevisan J, Bassan P, Bhargava R, Butler HJ, Dorling KM, Fielden PR, Fogarty SW, Fullwood NJ, Heys KA, Hughes C, Lasch P, Martin-Hirsch PL, Obinaju B, Sockalingum GD, Sulé-Suso J, Strong RJ, Walsh MJ, Wood BR, Gardner P, Martin FL. Using Fourier transform IR spectroscopy to analyze biological materials. *Nat Protoc*. 2014 Aug;9(8):1771-91. doi: 10.1038/nprot.2014.110. Epub 2014 Jul 3. PMID: 24992094; PMID: PMC4480339.
- [6] Abdelaziz AG, Nageh H, Abdo SM, Abdalla MS, Amer AA, Abdal-Hay A, Barhoum A. A Review of 3D Polymeric Scaffolds for Bone Tissue Engineering: Principles, Fabrication Techniques, Immunomodulatory Roles, and Challenges. *Bioengineering* (Basel). 2023 Feb 3;10(2):204. doi: 10.3390/bioengineering10020204. PMID: 36829698; PMID: PMC9952306.



P-10



Analiza stabilności termicznej kolagenu pochodzenia rybiego poddanego działaniu promieniowania jonizującego

Malwina Olejniczak¹, Bożena Rokita¹, Alicja K. Olejnik¹, Radosław Wach¹
e-mail: 249670@edu.p.lodz.pl (Malwina Olejniczak)

¹Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka,
Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź, Polska

Kolagen pochodzenia rybiego (tołpyga biała *Hypophthalmichthys molitrix*, Sancoll, Polska) jako potencjalny materiał bioaktywny wchłanianego opatrunku na rany poddano napromienianiu w celu określenia zmian zachodzących w nim pod wpływem promieniowania jonizującego wykorzystywanego jako metoda sterylizacji biomateriałów. Zaletami promieniowania jonizującego stosowanego do wyjąławiania wyrobów medycznych są głównie czystość chemiczna procesu, tj. niestosowanie bójczych substancji chemicznych, np. tlenek etylenu oraz prowadzenie sterylizacji w temperaturze pokojowej.

Tropokolagen w postaci hydrożelu (ok. 1,7 % suchej masy) oraz zliofilizowanej („gąbka”) napromieniono wiązką przyspieszonych elektronów (EB) i prom. gamma (γ), a następnie analizowano przy pomocy skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC).

Napromienienie tropokolagenu w postaci uwodnionej (hydrożel) powoduje całkowite zdenaturowanie białka, tj. rozpad potrójnej helisy, już przy dawce 15 kGy promieniowania EB, dla promieniowania gamma dawka ta jest nawet niższa (10 kGy). W przypadku napromieniania suchej gąbki, uszkodzenie potrójnej helisy jest znacznie mniejsze przy zastosowanej porównywalnej dawce EB, a przy najwyższej analizowanej dawce (100 kGy) struktura tropokolagenu nadal jest częściowo zachowana. Działanie prom. γ na suchy kolagen powoduje większe zmiany w helisie, jednakże nie są one na tyle znaczne, by odrzucać stosowanie prom. γ jako metodę sterylizacji materiału kolagenowego.

Badania wykazały, że sterylizacja wiązką przyspieszonych elektronów oraz prom. gamma bezwodnego tropokolagenu otrzymanego z ryby słodkowodnej, który jest mniej odporny na promieniowanie od kolagenu otrzymywanego ze ssaków, nie powoduje całkowitej denaturacji tego białka, niszczy natomiast uwodniony kolagen.

*Badania finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, POIR.04.01.04-00-0077/20
„Opracowanie opatrunku wchłanianego na bazie aktywnego tropokolagenu egzogenego ze skór rybich z dodatkiem zmodyfikowanych nanoproszków węgla”*



P-11



Wstępna charakterystyka układu do badania szybkich reakcji metodą rozpraszania światła laserowego

Karolina Pietrucha¹, Sławomir Kadłubowski¹
e-mail: 249671@edu.p.lodz.pl (Karolina Pietrucha)

¹Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka, Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź, Polska

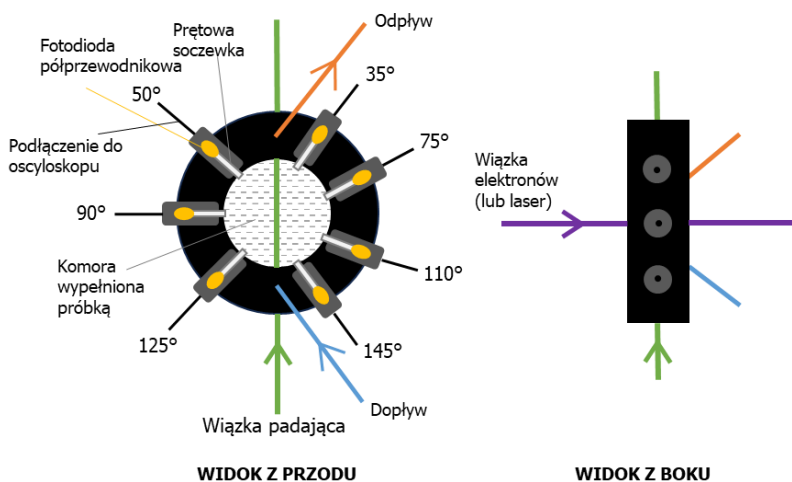
Radioliza impulsowa polega na działaniu na badaną próbkę krótkim impulsem promieniowania jonizującego w postaci wiązki wysokoenergetycznych elektronów, a następnie poddaniu analizie produktów radiolizy przy pomocy czasowo-rozdzielczych metod takich jak np. spektroskopia absorpcyjna UV-VIS.

Badania polimerów wykorzystujące radiolizę impulsową skupiają się wokół śledzenia reakcji polimeryzacji, degradacji oraz sieciowania. Spektroskopia absorpcyjna nie zawsze jest wystarczająco selektywna [1] stąd pojawiła się nowa forma detekcji wykorzystująca pomiar intensywności światła rozproszonego.

Zgodnie z aktualnym stanem wiedzy wiadomo o istnieniu trzech ośrodków dysponujących układami do radiolizy impulsowej połączonej z detektorem SLS o pojedynczym kącie obserwacji: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie w Berlinie [2], Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej w Łodzi [3] oraz Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion w Mülheim an der Ruhr [4].

Ograniczeniem tego typu detektorów jest nieprecyzyjne oszacowanie wagowo-średniego ciężaru cząsteczkowego makrocząsteczek oraz brak możliwości wyznaczenia ich promienia bezwładności. Wprowadzenie zaawansowanego detektora rejestrującego sygnały w funkcji kąta obserwacji pozwoli przezwyciężyć te wady i poszerzyć możliwości o badania nad sieciowaniem wewnątrzcząsteczkowym oraz zmianami konformacyjnymi makrocząsteczek. W 2017 roku przedstawiono pierwszy prototyp wielokątowego detektora, nad którym prowadzone są dalsze badania rozwojowe [7]. Na rysunku 1 przedstawiono schematyczną budowę głowicy optycznej, która stanowi kluczowy element urządzenia.

Zaproponowano metodę normalizacji danych i kalibracji urządzenia opartą na wzorcu o znanej masie cząsteczkowej. Wyznaczono podstawowe parametry sygnału, obliczono czułości poszczególnych fotodetektorów oraz sprawdzono niezależność kątową dla rozpraszaczy izotropowych. Ponadto, wykonano eksperyment o wstępnym charakterze, polegający na śledzeniu zmian zachodzących w roztworze diakrylanu poli(glikolu etylenowego) o stężeniu 20 mg ml⁻¹ po dostarczeniu impulsu promieniowania jonizującego o dawce 200 Gy.



Rysunek 2: Ogólny schemat budowy głowicy optycznej wielokątowego detektora SLS rejestrującego sygnały przy siedmiu kątach obserwacji.

Zarejestrowane przebiegi napięciowe potwierdzają, że detektor ma realny potencjał analityczny i może dostarczyć szeregu cennych informacji na temat kinetyki i dynamiki reakcji chemicznych oraz procesów fizycznych. Uzyskane dane pomiarowe umożliwią dalszy rozwój nad budową urządzenia.

Literatura:

- [1] Kujawa, P., Ulanski, P., & Rosiak, J. M. (1998). Time-resolved investigations of pulse-initiated polymerization. *Radiation Physics and Chemistry*, 52(1-6), 389-393.
- [2] Beck, G., Kiwi, J., Lindenau, D., & Schnabel, W. (1974). On the kinetics of polymer degradation in solution—I. Laser flash photolysis and pulse radiolysis studies using the light scattering detection method. *European Polymer Journal*, 10(11), 1069-1075.
- [3] Rosiak, J., Olejniczak, J., & Pękała, W. (1990). Fast reaction of irradiated polymers—I. Crosslinking and degradation of polyvinylpyrrolidone. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry*, 36(6), 747-755.
- [4] Deeble, D. J., Phillips, G. O., Bothe, E., Schuchmann, H. P., & Von Sonntag, C. (1991). The radiation-induced degradation of hyaluronic acid. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry*, 37(1), 115-118.
- [5] Kadlubowski, S., Sawicki, P., Sowinski, S., Rokita, B., Bures, K. D., Rosiak, J. M., & Ulanski, P. (2018). Novel system for pulse radiolysis with multi-angle light scattering detection (PR-MALLS)—concept, construction and first tests. *Radiation Physics and Chemistry*, 142, 9-13.



Żelowy dozymetr 2D Fricke pełniący rolę bolusa

Michał Piotrowski¹, Piotr Maras², Marek Kozicki¹

e-mail: michal.piotrowski@dokt.p.lodz.pl, marek.kozicki@p.lodz.pl

¹*Katedra Inżynierii Mechanicznej, Informatyki Technicznej i Chemii Materiałów Polimerowych, Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów, Politechnika Łódzka, Żeromskiego 116, 90-543, Łódź, Polska*

²*Zakład Planowania Radioterapii, Szpital im. Mikołaja Kopernika, Pabianicka 62, 93-513, Łódź, Polska*

Radioterapia jest jedną z najskuteczniejszych metod walki z nowotworami. Stale rozwijane są nowe metody napromieniania oraz coraz dokładniejsze medyczne akceleratory. Jednym z najważniejszych etapów w przygotowaniu napromienienia pacjenta jest przeprowadzenie weryfikacji rozkładu dawki promieniowania w ciele pacjenta przy pomocy dozymetrów. Aktualnie stosowane dozymetry, jakimi są komory jonizacyjne, dozymetry półprzewodnikowe oraz filmy i matryce dozymetryczne są w stanie zmierzyć dawkę w jednym lub dwóch wymiarach, a wynik może być konwertowany do 3D. Jedynym sposobem mierzenia rozkładu dawki bezpośrednio w trzech wymiarach jest zastosowanie żelowych dozymetrów 3D [1-2]. Do zapisu dawki dochodzi w wyniku reakcji chemicznych zachodzących pod wpływem promieniowania. Odczyt rozkładu dawki może być wykonany przy pomocy takich technik jak obrazowanie rezonansem magnetycznym, tomografia komputerowa, optyczna tomografia komputerowa, ultrasonografia i tomografia fluorescencyjna.

Do najintensywniej rozwijanych aktualnie dozymetrów żelowych należą układy zawierające zakwaszony roztwór jonów żelaza (II) (roztwór Fricke)[3], które są atrakcyjne z uwagi na ich wysoką czułość oraz prostotę przygotowania. Ponadto dodatek barwnika chelatującego utlenione w wyniku napromienienia jony żelaza pozwala na odczyt rozkładu dawki powszechnie dostępnymi metodami optycznymi. Najistotniejszą wadą żelowych dozymetrów Fricke jest wysoki współczynnik dyfuzji jonów żelaza w matrycy co prowadzi do zaniku zapisanego rozkładu dawki [2]. Większość prób obniżenia wartości współczynnika dyfuzji w dozymetrze polega wykorzystywaniu różnych materiałów matrycowych, jak na przykład żelatyna lub Pluronic F-127 [4], jednakże dotąd nie pozwoliło to osiągnąć istotnej poprawy.

Celem pracy było otrzymanie żelowego dozymetru Fricke 2D pełniącego jednocześnie rolę bolusa. Taki układ otrzymano wykorzystując 8% żelatynę z dodatkiem 25% sorbitolu. Efektem takiego podejścia jest odkształcalny dozymetr o grubości 5mm,



który można dopasować do ciała pacjenta. Zastosowanie sorbitolu pozwoliło na zagęszczenie sieci polimerowej żelu co pozwoliło zredukować współczynnik dyfuzji do wartości bliskiej zero. Dalsze badania będą skupione przede wszystkim na optymalizacji składu chemicznego żelu oraz procesu suszenia, a także na wyznaczeniu parametrów mechanicznych dozymetru.

Literatura:

- [1] C. Baldock, Y. De Deene, S. Doran, G. Ibbott, A. Jirasek, M. Lepage, K. B. McAuley, M. Oldham, J. L. Schreiner, *Phys. Med. Biol.*, 2010, **55**, R1-63.
- [2] Y. De Deene, *Gels*, 2022, **8**, 599.
- [3] H. Ficke, S. Morse, *Am. J. Roentgenol. Radium Ther. Nucl. Med.*, 1927, **18**, 430-2.
- [4] M. Dudek, M. Piotrowski, P. Maras, M. Jaszczak, M. Kozicki, *Phys. Med. Biol.*, 2021, **66**, 155005.



P-13



Detekcja nadtlenoazotynu powstającego w reakcji dinitrozylowych kompleksów żelaza z anionorodnikiem ponadtlenkowym

Monika Rola¹, Angelika Artelska¹, Jacek Zielonka², Adam Sikora¹

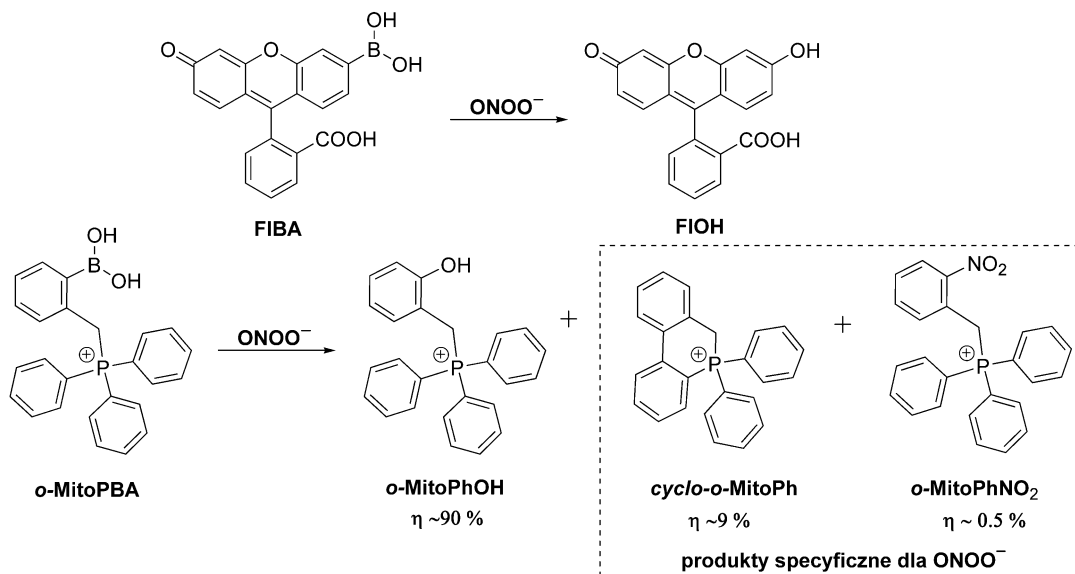
e-mail: monika.rola@dokt.p.lodz.pl

¹Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka, Żeromskiego 116, 90-924, Łódź, Polska

²Department of Biophysics, Medical College of Wisconsin, 8701 W Watertown Plank Rd, WI 53226, Milwaukee, USA

Dinitrozylowe kompleksy żelaza (**DNIC**) stanowią cząsteczki magazynujące i transportujące tlenek azotu (**NO**) w komórkach. **DNIC** powstają w wyniku reakcji tlenku azotu (**NO**) z niehemowym żelazem i tiolami, w tym z najbardziej rozpowszechnionym tiolem wewnątrzkomórkowym glutationem (**GSH**). Dokładne mechanizmy powstawania i degradacji dinitrozylowych kompleksów żelaza oraz ich udział w procesach metabolicznych i szlakach sygnałowych związanych z **NO** wciąż nie są dobrze poznane [1].

DNIC w warunkach fizjologicznych pełnią rolę donorów **NO**, a tym samym, w obecności anionorodnika ponadtlenkowego ($O_2^{\cdot-}$) mogą stanowić źródło nadtlenoazotynu ($ONOO^-$). Zbadaliśmy wydajność powstawania $ONOO^-$ w roztworach wodnych o pH 7,4 zawierających **DNIC** z glutationem $[Fe(NO)_2(GS)_2]$ oraz anionorodnik ponadtlenkowy ($O_2^{\cdot-}$) generowany w układzie enzymatycznym oksydaza ksantynowa/ksantyna (**XO/X**) i porównaliśmy ten układ do analogicznego zawierającego S-nitrozoglutation (**GSNO**). Sprawdziliśmy również wpływ katalazy i dysmutazy ponadtlenkowej (**SOD**). W celu selektywnej detekcji oraz oznaczenia ilościowego nadtlenoazotynu wykorzystaliśmy próbники boronowe – **FIBA** [2] oraz **o-MitPBA** [3].



Rysunek 1: Zasady działania wykorzystanych próbników boronowych do detekcji nadtlenuoazotynu

Literatura:

- [1] D. R. Truzzi, N. M. Medeiros, O. Augusto, P.C. Ford, *Inorganic Chemistry*, 60(21), **2021**, 15835–15845.
- [2] A. Artelska, M. Rola, M. Rostkowski, M. Pięta, J. Pięta, R. Michalski, A. B. Sikora, *International Journal of Molecular Sciences*, **2021**, 22(23).
- [3] J. Zielonka, A. Sikora, J. Adamus, B. Kalyanaraman, *Methods in Molecular Biology*, **2015**, 1264, 171–181.



Promieniowanie jonizujące jako narzędzie w nanoteranostyce raka prostaty

Beata Paulina Rurarz^{1,2}, Kinga Anna Urbanek², Urszula Karczmarczyk³,
Joanna Raczowska¹, Karolina Kowalska², Sławomir Kadłubowski¹, Agnieszka Sawicka³,
Michał Maurin³, Agnieszka Wanda Piastowska-Ciesielska², Piotr Ulański¹
e-mail: beata.rurarz@p.lodz.pl

¹Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka, ul. Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź, Polska

²Zakład Hodowli Komórkowych i Analiz Genomowych, Wydział Lekarski, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, ul. Żeligowskiego 7/9, 90-752 Łódź, Polska

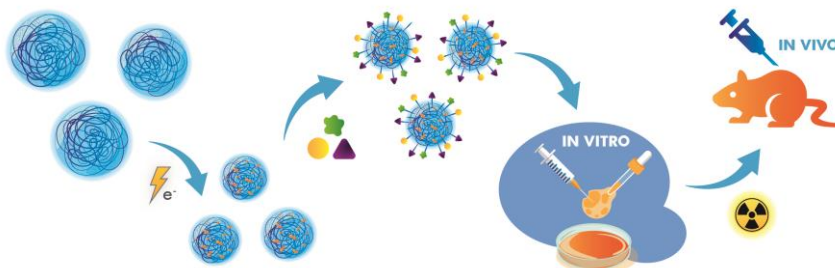
³Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Ośrodek Radioizotopów POLATOM, ul. Sołtana 7, 05-400 Otwock - Świerk, Polska

Istnieją liczne metody syntezy nanocząstek polimerowych. Wśród nich synteza radiacyjna wyróżnia się jako technika wydajna i relatywnie prosta: wykurczone makrocząsteczki rozpuszczalnych w wodzie polimerów, takich jak poli(kwas akrylowy), poddaje się trwałemu sieciowaniu wewnątrzcząsteczkowemu za sprawą reakcji z reaktywnymi produktami radiolizy wody (m.in. rodnikami hydroksylowymi). Otrzymywane w ten sposób materiały charakteryzują się obiecującymi właściwościami fizykochemicznymi i biologicznymi. Podstawowe zjawiska stojące u podstaw syntezy radiacyjnej są dobrze poznane, w związku z tym kolejnym krokiem jest wykorzystanie opracowanych nanomateriałów, np. jako nośników o pożądanym właściwościach, do celowanego dostarczania leków, genów czy radioizotopów.

Rak prostaty jest najbardziej rozpowszechnionym nowotworem dotykającym mężczyzn na całym świecie, dlatego konieczne są dalsze badania w dziedzinie leczenia tego schorzenia. Różne formy promieniowania jonizującego mogą okazać się częścią rozwiązania problemu. Jedną z najbardziej obiecujących koncepcji jest obecnie *nanoradioterapia*, która pozwala wykorzystywać dobrze poznane podstawy medycyny nuklearnej w połączeniu z najnowszymi odkryciami w dziedzinie celowanego dostarczania substancji biologicznie czynnych z wykorzystaniem różnorodnych nanoplateform.

Zaprezentowane badania miały na celu wykorzystanie promieniowania jonizującego jako narzędzia w nanoteranostyce raka prostaty. Promieniowanie pochodzące z akceleratora elektronów w połączeniu z radioizotopami pozwoliło na stworzenie nowatorskiej platformy

biologicznie czynnych nanoosników, które mogą specyficznie odnajdywać i niszczyć komórki nowotworowe. Ogólna koncepcja projektu przedstawiona jest na Rycinie 1.



Rycina 1: Nanożele z poli(kwasu akrylowego) syntezowane były metodą radiacyjną. Po funkcjonalizacji odpowiednim ligandem, otrzymane nanoosniki zostały poddane ocenie in-vitro oraz in-vivo.

Nanożele polimerowe na bazie poli(kwasu akrylowego) zostały zsyntezowane metodą radiacyjną z wykorzystaniem przyspieszonych elektronów z liniowego akceleratora, po czym otrzymany produkt poddano funkcjonalizacji w celu uzyskania aktywnie ukierunkowanych nanoosników radioizotopów. Jako ligand ukierunkowujący wykorzystano pochodną bombezyny połączoną z chelatorem radioizotopów – kwasem 1,4,7,10-tetraazacyklododekano-1,4,7,10-tetraoctowym (DOTA). Dzięki systematycznej optymalizacji procesu modyfikacji nanożeli, udało się uzyskać wysoce stabilne koloidalnie jak i radiochemicznie nanoosniki, z niemal 100% wydajnością sprzęgania. Ocena biologiczna *in-vitro* wykazała, że radionanoosniki wyposażone w pochodną bombezyny są w stanie selektywnie kumulować się w komórkach raka prostaty bogatych w receptor tego peptydu. W badaniach *in-vivo* wykazano, że konieczna jest dalsza optymalizacja opracowanego nośnika w celu uzyskania zadowalającej skuteczności w tym konkretnym zastosowaniu. Istotnym jednak jest, że po raz pierwszy aktywnie ukierunkowywany nanosystem dostarczania radioizotopów na bazie poli(kwasu akrylowego) został przetestowany w warunkach żywego organizmu, co toruje drogę dla dalszych, bardziej zaawansowanych badań przedklinicznych nad systemami dostarczania opartymi na nanożelach wytwarzanych metodą radiacyjną.

Prace realizowane były w ramach projektu „Nowatorskie nanoosniki polimerowe jako transportery radioizotopów do teranostyki onkologicznej”, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w konkursie OPUS 17 (2019/33/B/ST5/02125)



P-15



DOZYMETRY TEKSTYLNE DO POMIARÓW 2D PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO I ULTRAFIOLETOWEGO

Elżbieta Sasiadek-Andrzejczak¹, Marek Kozicki¹
e-mail: elzbieta.sasiadek@p.lodz.pl; marek.kozicki@p.lodz.pl

¹*Katedra Katedra Inżynierii Mechanicznej, Informatyki Technicznej i Chemii Materiałów Polimerowych, Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów, Politechnika Łódzka, ul. Żeromskiego 116, 90-543 Łódź, Polska*

Zespół zajmuje się badaniami chemicznymi m.in. w tematyce dozymetrii 1D, 2D i 3D promieniowania ultrafioletowego (UV) i jonizującego od 1999 roku (powołanie zespołu DosLab, PŁ w 2007 r.). Dotychczas opracowano rozwiązania dotyczące m.in. tabletek polimerowych 1D do pomiarów promieniowania UV, płaskich dozymetrów 2D do pomiarów promieniowania UV i jonizującego na bazie żeli i folii [1,2], wyrobów włókienniczych [3,4], domieszkowanych włókien poliakrylonitrylowych [5,6] oraz barwnikowych i polimerowych dozymetrów 3D do zastosowania w radioterapii [więcej szczegółów na stronie: <http://mkozicki-sci.eu/>]. Opracowane dozymetry tekstylne wytwarzane poprzez napawanie lub drukowanie związkami czułymi na promieniowanie wysokoenergetyczne, m.in. solami tetrazoliny, związkami srebra, polidiacetylenami i/lub leuko barwnikami, w wyniku napromienienia zmieniają swoją barwę w zależności od użytych prekursorów barwy. W zeszłym roku opracowano także unikatowe wielobarwne drukowane układy do pomiarów promieniowania UV [7]. Część rozwiązań chronionych jest patentami.

W ostatnim czasie prace badawcze dotyczyły ekologicznego, elastycznego dozymetru na bazie modyfikowanej tkaniny bawełnianej roztworem nitro błękitu tetrazoliny do pomiarów promieniowania jonizującego [8]. Wykazano, że: (i) odpowiedź układu na dawkę wynosi do ~80 kGy, (ii) jest niezależna od mocy dawki dla 1,1–73,1 kGy/min, (iii) można ją zmierzyć w 2D za pomocą płaskiego skanera biurowego (iv) uzyskane obrazy można filtrować za pomocą filtra średniego (w oprogramowaniu polyGeVero®-CT, GeVero Co., Polska), co poprawia rozdzielczość dawki, (v) rozdzielczość dawki wynosi od -0,07 do -0,4 kGy dla ~0,6 do ~75,7 kGy dla przefiltrowanych obrazów oraz (vi) dwa zakresy pseudo-liniowej odpowiedzi na dawkę: ~0,6 do ~7,5 kGy i ~9,8 do ~61,9 kGy. Dozymetr w połączeniu z odczytem za pomocą skanera płaskiego i przetwarzaniem danych przy użyciu dedykowanych pakietów oprogramowania stanowi kompleksowy system pomiaru rozkładów dawek na powierzchni



obiektów o różnych kształtach. Obecnie trwają także badania dotyczące pomiarów rozkładu dawek promieniowania UV (dla podzakresów UVA, UVB i UVC) z użyciem wyżej opisanych dozymetrów tekstylnych.

Dotychczas opublikowane wyniki potwierdziły, iż zaproponowane dozymetry tekstylne mogą być stosowane do pomiarów rozkładów dawki promieniowania UV oraz jonizującego. Zastosowanie różnych związków czułych na promieniowanie daje możliwość uzyskania szerokiej palety barw i tworzenia efektów wzorniczych. Dozymetry 2D w postaci wyrobów włókienniczych mogą znaleźć zastosowanie jako: elementy o charakterze dekoracyjnym, dozymetry będące elementami odzieży ochronnej, akcesoria dołączane do kosmetyków chroniących przed promieniowaniem UV lub znaczniki oryginalności produktów.

Literatura:

- [1] M. Kozicki, E. Sasiadek, S. Kadłubowski, M. Dudek, P. Maras, A. Nosal, M. Gazicki-Lipman, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2018, **351**, 179–196.
- [2] M. Jaszczak, E. Sasiadek, S. Kadłubowski, M. Dudek, M. Kozicki, *Radiation Physics and Chemistry*, 2021, **185**, 109507.
- [3] M. Kozicki, E. Sasiadek, *Radiation Measurements*, 2012, **47**, 614–621.
- [4] M. Kozicki, E. Sasiadek, *Coloration Technology*, 2012, **128**, 251–260.
- [5] M. Kozicki, E. Sasiadek, I. Karbownik, W. Maniukiewicz, *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 2015, **213**, 234 - 243 (2015).
- [6] M. Kozicki, E. Sasiadek, S. Kadłubowski, M. Dudek, I. Karbownik, *Radiation Physics and Chemistry*, 2020, **169**, 107751.
- [7] E. Sasiadek-Andrzejczak, M. Kozicki, *Materials*, 2023, **16**, 1–25.
- [8] M. Kozicki, E. Sasiadek, R. Wach, P. Maras, *Int. J. Mol. Sci.*, 2024, **25**, 2916.



Lista autorów

(w kolejności alfabetycznej)

Imię i nazwisko	Afiliacja	Poster
Agnieszka Adamus-Włodarczyk	Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka	P2
Krzysztof Andrzejewski	Centralny Szpital Weteranów, Uniwersytet Medyczny w Łodzi	P9
Angelika Artelska	Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka	P13
Małgorzata Bukowczyk	Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka; Zakład Hodowli Komórkowych i Analiz Genomowych, Wydział Medyczny, Uniwersytet Medyczny w Łodzi	P1
Magdalena Długosz-Lisiecka	Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka	P2
Paulina Filipczak	Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka	P7
Natalia Gibka	Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka; Zakład Hodowli Komórkowych i Analiz Genomowych, Wydział Medyczny, Uniwersytet Medyczny w Łodzi	P1
Masza Góralczyk	Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka	P3
Maria Grapow	Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka	P4
Jacek Grębowski	Katedra Biologii Nowotworów i Epigenetyki, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki; Wojskowy Instytut Medyczny - Państwowy Instytut Badawczy	P5
Dominika E. Habrowska-Górczyńska	Zakład Hodowli Komórkowych i Analiz Genomowych, Wydział Medyczny, Uniwersytet Medyczny w Łodzi	P1
Markéta Ilčíková	Centrum polymerních systémů, Univerzita Tomáše Bati, Zlín, Česká Republika	P7
Krzysztof Isajenko	Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej	P2
Malwina Jaszczak-Kuligowska	Katedra Inżynierii Mechanicznej, Informatyki Technicznej i Chemii Materiałów Polimerowych, Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów, Politechnika Łódzka	P6
Jakub Józiewicz	Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka Studenckie Koło Naukowe NANO, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka	P7



Sławomir Kadłubowski	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P1, P3, P7, P11, P14</i>
Sebastian Kalenik	<i>Katedra Biologii Nowotworów i Epigenetyki Instytutu Biofizyki, Uniwersytet Łódzki</i>	<i>P8</i>
Urszula Karczmarczyk	<i>Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Ośrodek Radioizotopów POLATOM, Otwock - Świerk, Polska</i>	<i>P14</i>
Dominika Komorowska	<i>Katedra Biologii Nowotworów i Epigenetyki Instytutu Biofizyki, Uniwersytet Łódzki</i>	<i>P8</i>
Anna Konarska	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P5</i>
Wiktoria Kowalczyk	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P9</i>
Karolina Kowalska	<i>Zakład Hodowli Komórkowych i Analiz Genomowych, Wydział Medyczny, Uniwersytet Medyczny w Łodzi</i>	<i>P1, P14</i>
Marcin Kozanecki	<i>Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P3, P7</i>
Marek Kozicki	<i>Katedra Inżynierii Mechanicznej, Informatyki Technicznej i Chemii Materiałów Polimerowych, Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów, Politechnika Łódzka; GeVero Co., Łódź, Polska</i>	<i>P6, P12, P15</i>
Marta J. Koziół	<i>Zakład Hodowli Komórkowych i Analiz Genomowych, Wydział Medyczny, Uniwersytet Medyczny w Łodzi</i>	<i>P1</i>
Grzegorz Litwinienko	<i>Wydział Chemii, Uniwersytet Warszawski</i>	<i>P5</i>
Piotr Maras	<i>Instytut Zakład Planowania Radioterapii, Wojewódzkie Wielospecjalistyczne Centrum Onkologii i Traumatologii im. M. Kopernika w Łodzi</i>	<i>P6, P12</i>
Michał Maurin	<i>Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Ośrodek Radioizotopów POLATOM, Otwock - Świerk, Polska</i>	<i>P14</i>
Agnieszka W. Piastowska-Ciesielska	<i>Zakład Hodowli Komórkowych i Analiz Genomowych, Wydział Medyczny, Uniwersytet Medyczny w Łodzi</i>	<i>P1, P14</i>
Malwina Olejniczak	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P10</i>
Alicja K. Olejnik	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P10</i>
Karolina Pietrucha	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P11</i>
Michał Piotrowski	<i>Katedra Inżynierii Mechanicznej, Informatyki Technicznej i Chemii Materiałów Polimerowych, Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów, Politechnika Łódzka;</i>	<i>P12</i>
Piotr Piotrowski	<i>Wydział Chemii, Uniwersytet Warszawski</i>	<i>P5</i>
Joanna Raczkowska	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P14</i>
Aleksandra Rodacka	<i>Katedra Biologii Nowotworów i Epigenetyki Instytutu Biofizyki, Uniwersytet Łódzki</i>	<i>P8</i>



Bożena Rokita	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P9, P10</i>
Monika Rola	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P13</i>
Beata P. Rurarz	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka; Zakład Hodowli Komórkowych i Analiz Genomowych, Wydział Medyczny, Uniwersytet Medyczny w Łodzi</i>	<i>P1, P14</i>
Agnieszka Sawicka	<i>Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Ośrodek Radioizotopów POLATOM, Otwock – Świerk</i>	<i>P14</i>
Elżbieta Sasiadek-Andrzejczak	<i>Katedra Inżynierii Mechanicznej, Informatyki Technicznej i Chemii Materiałów Polimerowych, Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów, Politechnika Łódzka</i>	<i>P15</i>
Adam Sikora	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P13</i>
Dorota Świątła-Wójcik	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P4</i>
Piotr Ulański	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P1, P14</i>
Kinga A. Urbanek	<i>Zakład Hodowli Komórkowych i Analiz Genomowych, Wydział Medyczny, Uniwersytet Medyczny w Łodzi</i>	<i>P1, P14</i>
Radosław Wach	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P10</i>
Marian Wolszczak	<i>Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka</i>	<i>P4, P5</i>
Jacek Zielonka	<i>Department of Biophysics, Medical College of Wisconsin, Milwaukee, USA</i>	<i>P13</i>
Agnieszka Zaczek	<i>Katedra Biologii Nowotworów i Epigenetyki Instytutu Biofizyki, Uniwersytet Łódzki</i>	<i>P8</i>



Nagrodzone prezentacje plakatowe:

P14. Promieniowanie jonizujące jako narzędzie w nanoteranostyce raka prostaty Beata Rurarz, Kinga Anna Urbanek, Urszula Karczmarczyk, Joanna Raczkowska, Karolina Kowalska, Sławomir Kałużubowski, Agnieszka Sawicka, Michał Maurin, Agnieszka Wanda Piastowska-Ciesielska, Piotr Ulański

P15. Dozymetry tekstylne do pomiarów 2D promieniowania jonizującego i ultrafioletowego Elżbieta Sasiadek-Andrzejczak, Marek Kozicki

Wyróżnione prezentacje plakatowe:

P5. Kinetyka reakcji metalofulerenoli z produktami radiolizy wody: Implikacje dla radiofarmaceutyków Jacek Grębowski, A. Konarska, P. Piotrowski, M. Wolszczak, G. Litwinienko

P6. Dozymetria żelowa 3D do zastosowania w radioterapii Malwina Jaszczak-Kuligowska, P. Maras, M. Kozicki

P8. Ocena skuteczności pochodnych stilbenu w uwrażliwianiu komórek raka piersi na działanie promieniowania jonizującego Dominika Komorowska, S. Kalenik, A. Zaczek, A. Rodacka

P10. Analiza stabilności termicznej kolagenu pochodzenia rybiego poddanego działaniu promieniowania jonizującego Malwina Olejniczak, B. Rokita, A.K. Olejnik, R. Wach

