

Andrzej S. SWINAREW^{1*}, Marta ŁĘŻNIAK¹, Jadwiga GABOR¹, Tomasz FLAK¹, Klaudia KUBIK¹, Hubert OKŁA¹, Anna BIELICKA², Anna KWAŚNIEWSKA², Antonio GUIA¹, Beata SWINAREW³

¹Instytut Nauki o Materiałach, Wydział informatyki i Nauki o materiałach, ul. 75 Pułku Piechoty 1a, 41-500 Chorzów

²Wydział Radiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny, Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny im. Andrzeja Mielęckiego Śląskiego Uniwersytetu w Katowicach

³Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, ul. M. Skłodowskiej-Curie, 87-100 Toruń

Gwieździsty poli(tlenek propylenu) jako materiał czuły na promieniowanie rentgenowskie

Streszczenie: Aparatura wykorzystywana w teleradioterapii oraz obrazowaniu, wraz z postępem technologicznym, staje się coraz bardziej precyzyjna, jednak niezależnie od stopnia zaawansowania aparatury pomiarowej, przed napromienianiem obszarów nowotworowych pacjenta dokonuje się szeregu symulacji rozkładu dawki promieniowania. Nowe generacje dozymetrów żelowych pozwalają na coraz dokładniejszą ocenę zaabsorbowanych dawek oraz przestrzennego rozkładu promieniowania, co jest bardzo ważnym etapem w radioterapii, gdyż pozwala na efektywniejsze naświetlenie obszarów nowotworowych promieniowaniem jonizującym, minimalizując jednocześnie obszar naświetlania zdrowych tkanek.

Celem pracy było otrzymanie poli(tlenku propylenu) jako dozymetru żelowego, jego charakterystyka pod kątem procesów sieciowania oraz degradacji i analiza jakościowa powstałych produktów reakcji chemicznych wywołanych promieniowaniem jonizującym. Do badań wykorzystano gwiaździsty poli(tlenek propylenu) przed oraz po napromienianiu. Próbką referencyjną był poli(tlenek propylenu) nie poddany ekspozycji na żaden rodzaj promieniowania w tym promieniowania rentgenowskiego. W celu określenia stopnia usieciowania, degradacji polimeru wykorzystano technikę chromatografii żelowej, na podstawie której określono średnie masy cząsteczkowe. Do jakościowej analizy produktów wytworzonych w skutek napromieniania wykorzystano technikę FTIR/ATR. Określenie grup funkcyjnych badanego polimeru pozwoliło na ocenę zmian chemicznych jakie wystąpiły poprzez napromienianie.

Słowa kluczowe: dozymetria, poliole, FTIR, chromatografia żelowa, MRI, MALDI ToF

STAR-SHAPED POLY(PROPYLENE OXIDE) AS AN X-RAY SENSITIVE MATERIAL

Abstrakt: Equipment used in teleradiotherapy and imaging along with technological progress becomes more and more precise, however, irrespective of the degree of advancement of the measuring apparatus, before the radiation of the tumor areas of the patient, a series of simulations of the radiation dose distribution is performed. New generations of gel dosimeters allow more accurate assessment of dose absorbed, and the spatial distribution of radiation, which is a very important stage in radiotherapy because it allows effective exposure of the tumor areas with ionizing radiation while minimizing the irradiation of healthy tissue area.

The aim of the study was to obtain polypropylene oxide as a gel dosimeter and to characterize crosslinking and degradation processes, qualitative analysis of chemical reaction products generated by ionizing radiation. The study used a poly (propylene oxide) before and after irradiation. The reference sample was poly (propylene), not exposed to any type of radiation, including X-rays. To determine the degree of crosslinking, degradation of the polymer in the technique of gel permeation chromatography was used, based on which the average molecular weights were determined. FTIR / ATR technique was used for the qualitative analysis of irradiated products. Determination of the functional groups of the examined polymer allowed the assessment of the chemical changes that had occurred by irradiation.

Keywords: dosimetry, polyols, FTIR, gel chromatography, MRI, MALDI ToF.

WSTĘP

Aparatura wykorzystywana w teleradioterapii, jednej z metod radioterapii, gdzie poddaje się naświetleniu obszar zmieniony nowotworowo wiązką promieniowania jonizującego z określonej odległości oraz obrazowaniu wraz z postępowaniem technologicznym staje się coraz bardziej precyzyjna. Jednak niezależnie od stopnia zaawansowania aparatury pomiarowej, przed napromieniowaniem obszarów nowotworowych pacjenta dokonuje się szeregu symulacji rozkładu dawki promieniowania. Stosowana w teleradioterapii dawka promieniowania przy naświetlaniu obszaru nowotworowego wynosi zazwyczaj 60 Gy. Dozymetry żelowe wykonane są z materiałów, które w skutek oddziaływania z promieniowaniem jonizującym ulegają zasadniczej zmianie pod względem ich właściwości chemicznych jak i fizycznych w zależności od pochłoniętej dawki promieniowania [1]. Nowe generacje dozymetrów żelowych pozwalają na coraz dokładniejszą ocenę zaabsorbowanych dawek oraz przestrzennego rozkładu promieniowania, co jest bardzo ważnym etapem w radioterapii, gdyż pozwala na efektywniejsze naświetlenie obszarów nowotworowych promieniowaniem rentgenowskim minimalizując jednocześnie obszar naświetlania zdrowych tkanek. Celem pracy było otrzymanie żelu polimerowego, który pod wpływem promieniowania jonizującego ulegnie procesowi sieciowania w funkcji przyjętej dawki. Do badań wykorzystano otrzymany wcześniej, gwiazdzisty poli(tlenek propylenu) który, poddano różnym testom przed i po napromieniowaniu. [2-5]. W celu określenia stopnia usieciowania i degradacji polimeru wykorzystano technikę chromatografii żelowej (GPC). Do jakościowej analizy produktów wytworzonych w skutek napromieniowania wykorzystano technikę FTIR/ATR. Określenie grup funkcyjnych badanego polimeru pozwoliło na ocenę zmian chemicznych, jakie wystąpiły poprzez napromieniowanie.

W celu oceny poprawności przeprowadzonej syntezy wykonano badania z wykorzystaniem spektrometru masowego MALDI-ToF.

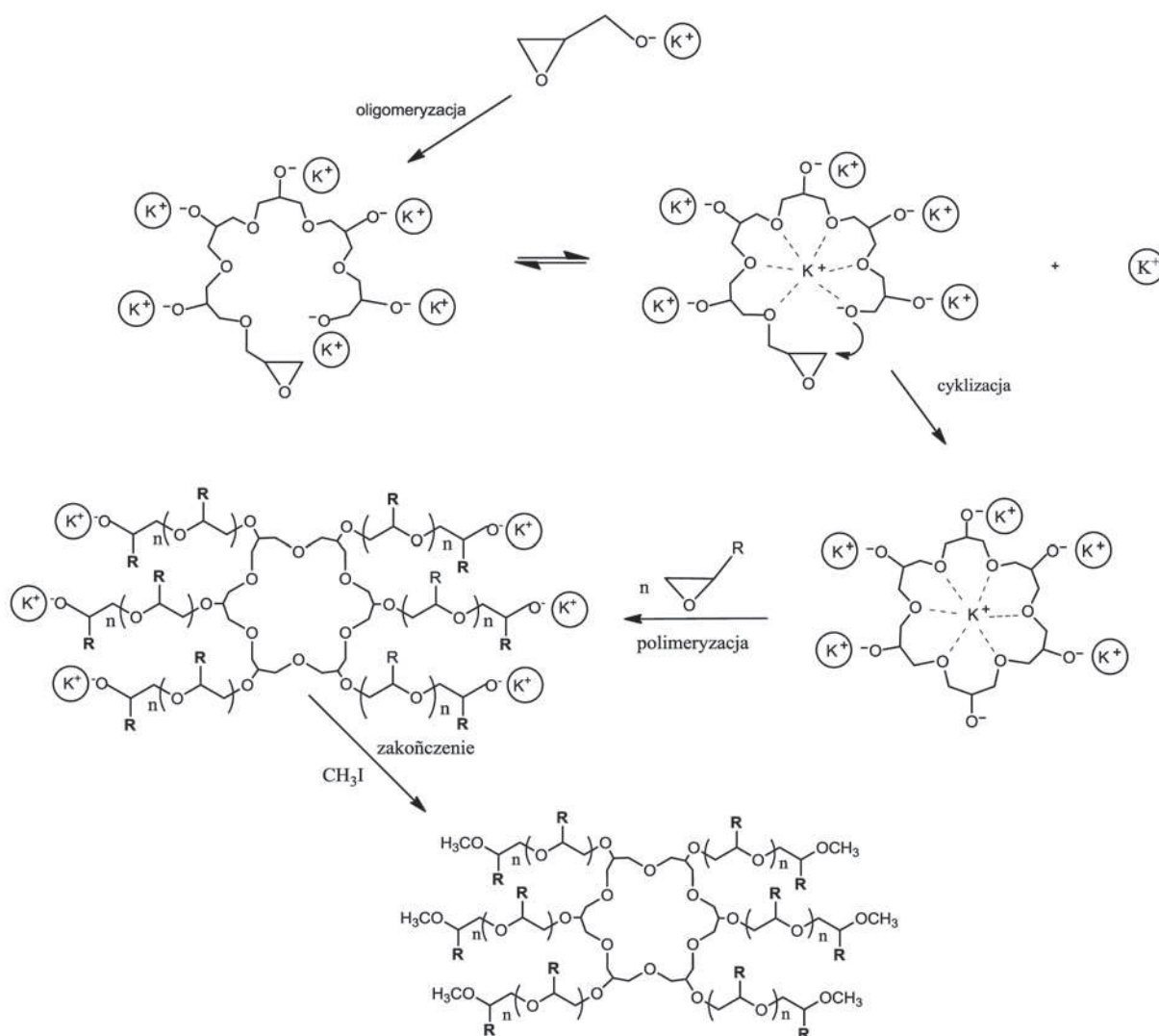
OTRZYMANIE ŻELU POLIMEROWEGO.

Polimeryzację glicydolanu potasu przeprowadzono w obecności eteru koronowego 18C6, (kompleksowanie kationów potasu). W skutek reakcji dochodzi do otrzymania cyklicznego oligo(glicydolanu potasu). Badania wykazały, że zmieszanie w stosunku 1:1 glicydolu z eterem koronowym kompleksującym kation potasu pozwoli na uzyskanie pierścieni w większości składających się z 6 cząsteczek monomeru.

Po połączeniu się kilku cząsteczek glicydolanu potasu ustala się pewna równowaga pomiędzy wzrastającym łańcuchem oligomeru, a jego drugą formą bez cząsteczek eteru koronowego 18C6. Struktura związku otaczającego K^+ jest płaska. Ostatnim etapem oligomeryzacji glicydolanu potasu jest protonowanie [7]. W następnym kroku do powstałego makroinicjatora dodaje się tlenek propylenu w ilości zależnej od planowanej średniej masy cząsteczkowej polimeru. Tak przygotowany polimer poddaje się terminacji za pomocą jodometanu. Następnie usuwa się w procesie oczyszczania pozostałości nieprzereagowanego inicjatora oraz wolnego monomeru. Prowadzona analiza konwersji monomeru nie wykazała obecności wolnego monomeru w mieszaninie. Otrzymany materiał polimerowy charakteryzuje się obecnością głównie sześcioramiennych makrocząsteczek o jednakowej długości ramion z metoksyłowymi grupami końcowymi.

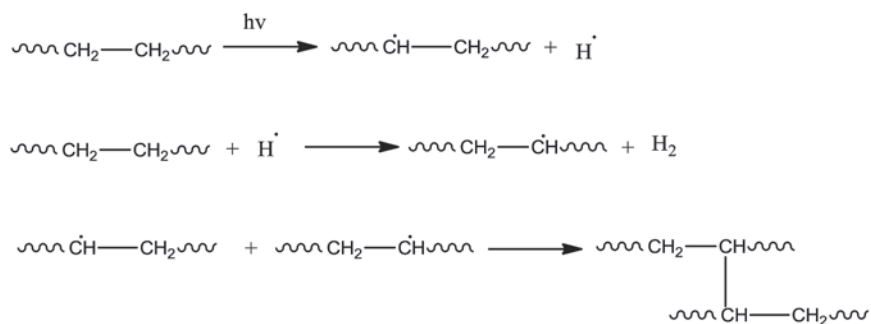
SIECIOWANIE POLIMERÓW

Przeprowadzenie radiolizy może prowadzić nie tylko do usieciowania polimeru, ale także do jego degradacji w przypadku użycia zbyt dużych dawek promieniowania. Radioliza ma charakter wolnorodnikowy i przebiega poprzez wybicie atomu wodoru z utworzeniem makrorodnika [8]



Rys. 1. Polimeryzacja glicydolanu potasu [6]

Fig. 1. Polymerization of potassium glycidolate [6]



Rys. 2. Siecowanie polimeru

Fig. 2. Crosslinking of the polymer



Rys. 3. Otrzymany poli(tlenek propylenu), w postaci żelu do badań dozymetrycznych

Fig. 3. The obtained poly (propylene oxide), in the form of a gel for dosimetry tests

W polimerowych dozymetrach żelowych pochłoniętą dawkę promieniowania ocenia się na podstawie stopnia usieciowania polimeru.[9]

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

METODY BADAWCZE

Badania poli(tlenku propylenu) zostały przeprowadzone pod kątem zastosowań w dozymetrii żelowej. Syntezę polimeru wykonano na podstawie opatentowanej formuły [10]. Następnie wykonano badania z wykorzystaniem MALDI-ToF w celu oceny poprawności przeprowadzonej syntezy. Analiza FTIR pozwoliła na sprawdzenie, czy podczas naświetlania próbki powstają nowe związki w wyniku zmian zachodzących

w polimerze. Wykorzystując technikę chromatografii żelowej zbadano stopień sieciowania oraz depolimeryzacji naświetlonego poli(tlenku propylenu). Strukturę zobrazowano za pomocą rezonansu magnetycznego.

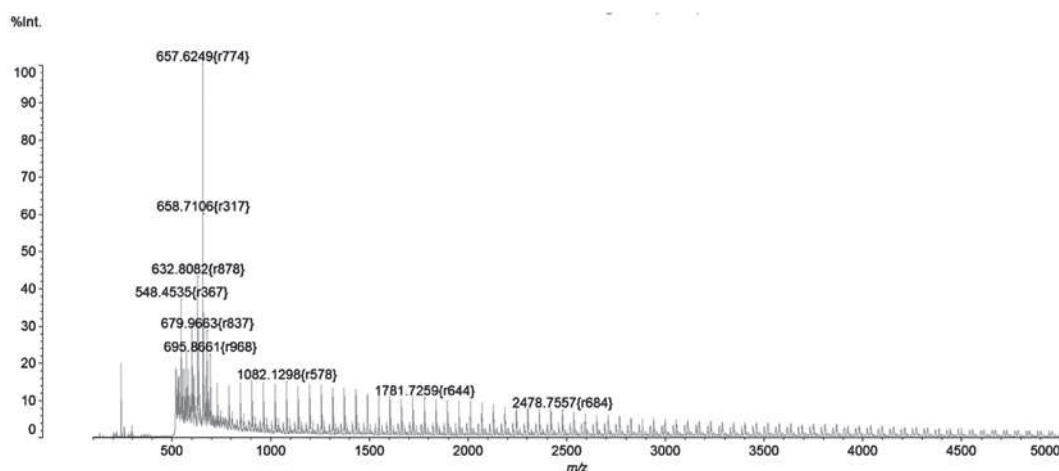
MALDI-ToF² (MALDI jonizacja/desorpcja laserowa wspomagana matrycą, ToF analizator czasu przelotu)

Badanie przy użyciu techniki MALDI-ToF² pozwoliło na określenie mas molowych merów wchodzących w skład otrzymanego polimeru w celu oceny przeprowadzonej syntezy. Badanie przeprowadzono na spektrometrze AXIMA firmy SHIMADZU z podwójnym analizatorem czasu przelotu. Jako matrycę zastosowano ditranol.

Badanie MALDI-ToF pozwoliło na ocenę poprawności wykonanej syntezy poli(tlenku propylenu). Na podstawie widma masowego (Rysunek 5) stwierdzono, że masa molowa meru wynosi średnio 57,11 g/mol, natomiast wg danych tablicowych 58,08 g/mol. Sytuacja ta może mieć miejsce ze względu na deprotonację w trakcie procesu jonizacji laserem.

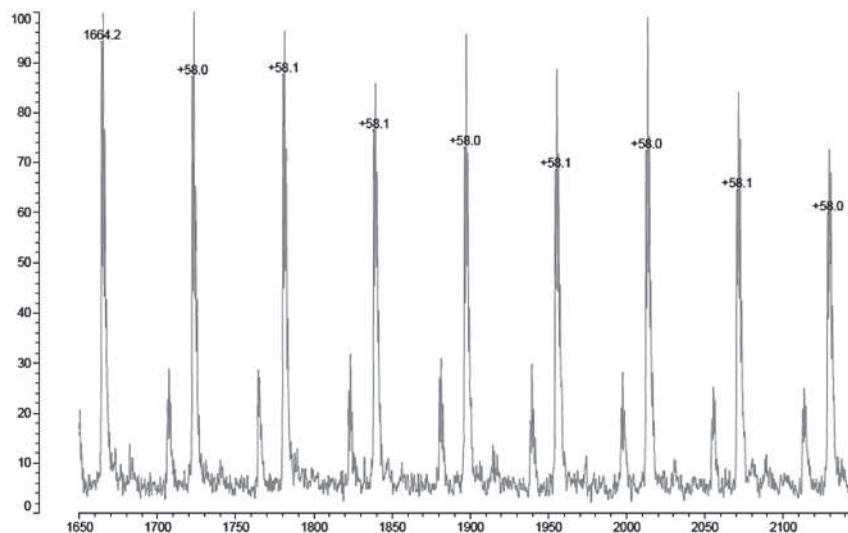
EKSPOZYCJA POLI(TLENKU PROPYLENU) NA PROMIENIOWANIE RENTGENOWSKIE

Badania przeprowadzono dla 8 próbek o różnych czasach naświetlania względem próbki re-



Rys. 4. Widmo masowe poli(tlenku propylenu)

Fig. 4. Mass spectrum of poly (propylene oxide)



Rys. 5. Widmo masowe poli(tlenku propylenu)

Fig. 5. Mass spectrum of poly (propylene oxide)

Tab. 1. Czasy naświetlenia próbek polimerowych

Tab. 1. Exposition times of polymer samples

Numer próbki	Czas naświetlenia [min]	Pochłonięta dawka [Gy]
1	1	0,25
2	5	1,25
3	10	2,5
4	30	7,5
5	120	30
6	240	60
7	360	90
8	480	120

ferencyjnej. Pochłonięta dawka promieniowania podczas 1-minutowego naświetlania wynosiła 250 mGy/cm². Polimer naświetlano przy użyciu medycznego tomografu komputerowego – Toshiba AQUILION 64.

FTIR (Spektroskopia w podczerwieni)

Metoda spektroskopii w podczerwieni pozwoliła na określenie grup funkcyjnych badanego związku. Wykonano pomiar dla naświetlonych próbek względem próbki referencyjnej

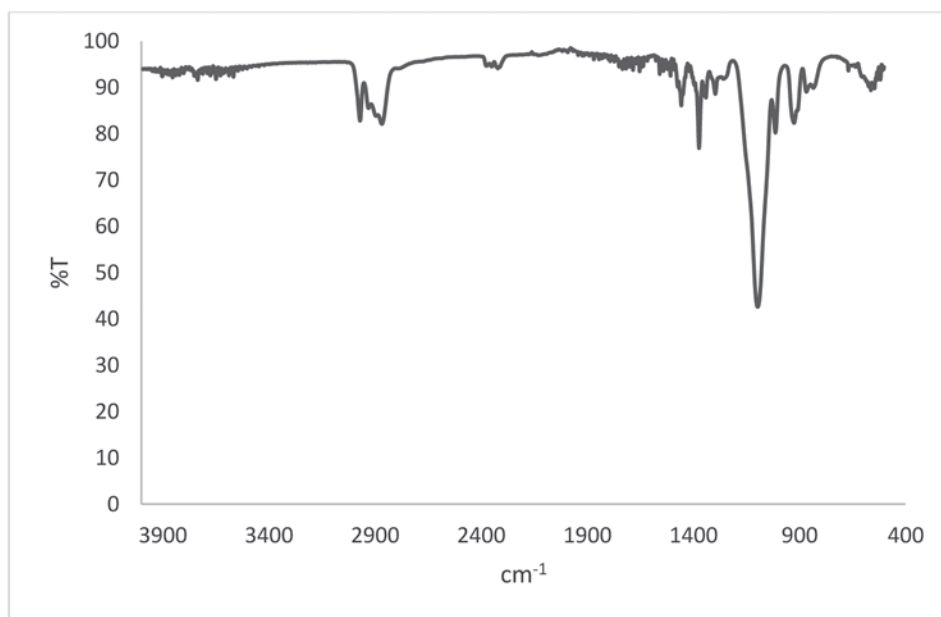


Rys. 6. Próbki naświetlone promieniowaniem rentgenowskim

Fig. 6. Samples exposed to X-rays

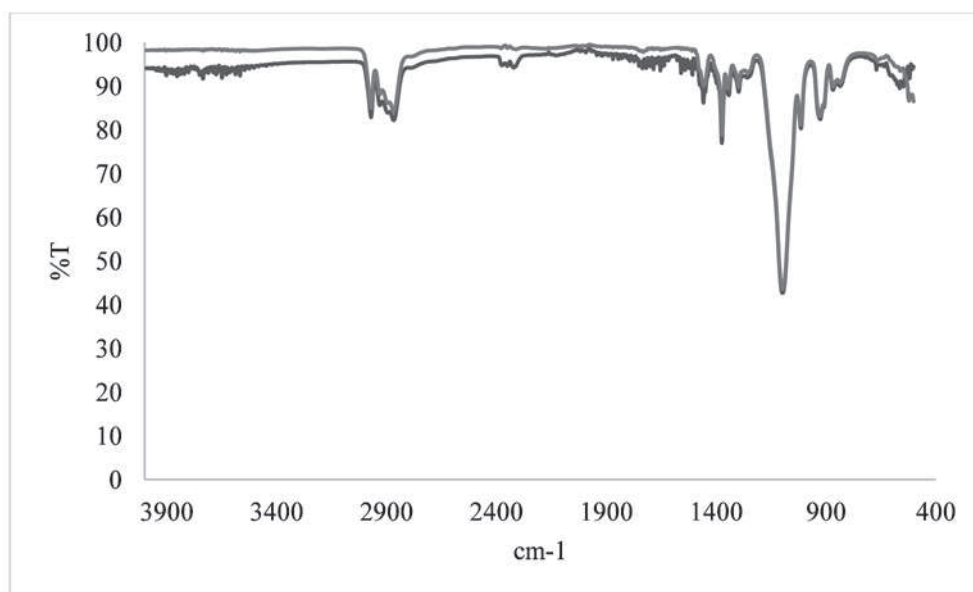
w celu sprawdzenia potencjalnego pojawienia się w roztworze polimeru nowych związków w skutek działania promieniowania rentgenowskiego. Analizę próbek wykonano w podczerwieni na spektrometrze z transformacją Fourierską IRTracer-100 firmy SHIMADZU.

Po przeanalizowaniu widm IR nie odnotowano powstających nowych sygnałów, co pozwala stwierdzić, że w wyniku działania promieniowania rentgenowskiego na poli(tlenek propylenu) nie powstały żadne nowe związki, które mogłyby być potencjalnie szkodliwe.



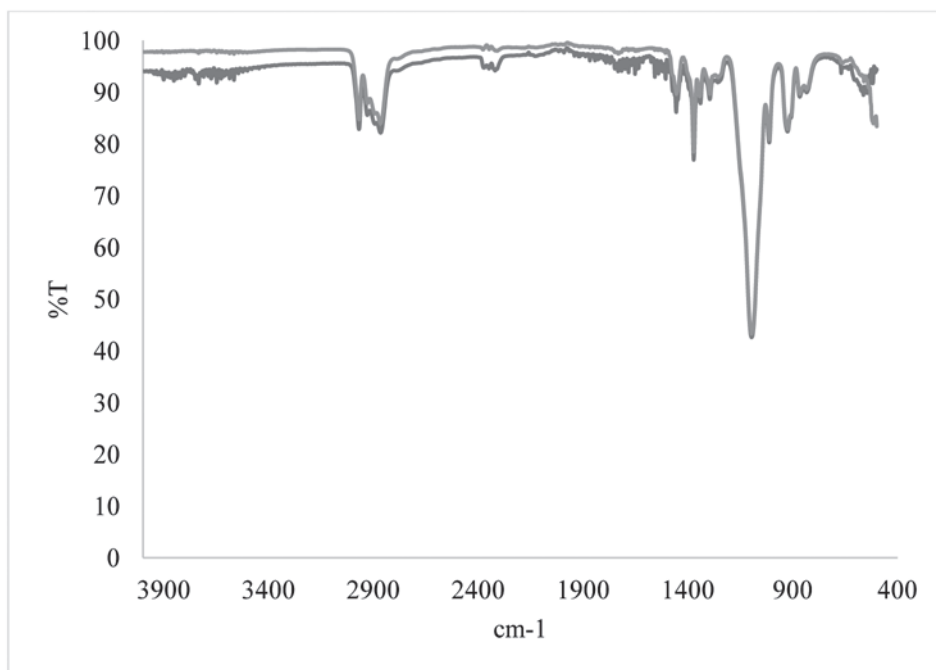
Rys. 7. Widmo IR próbki referencyjnej

Fig. 7. IR spectrum of the reference sample



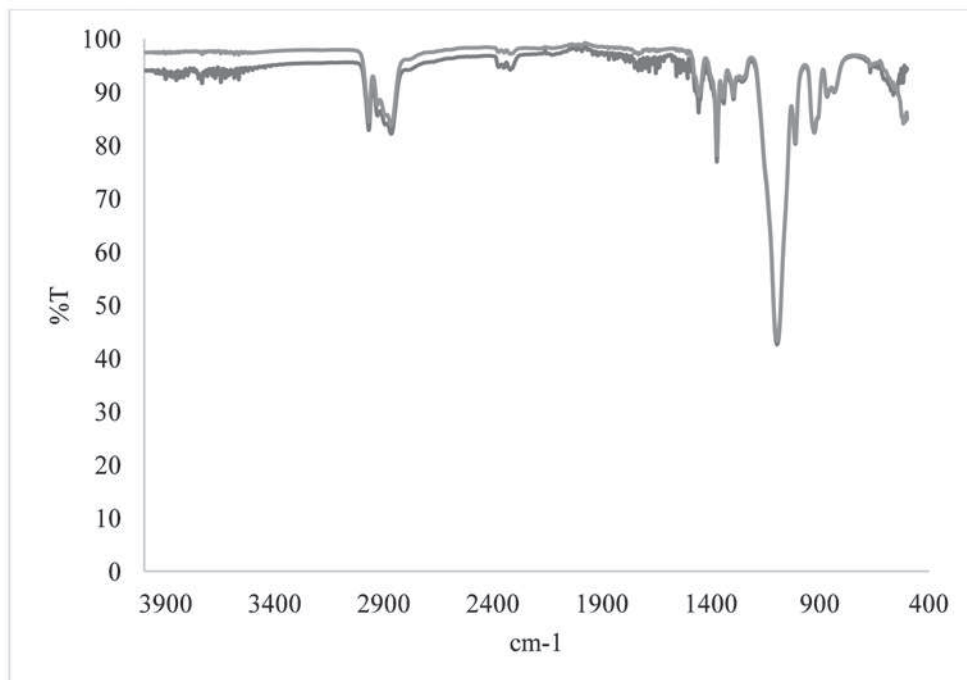
Rys. 8. Porównawcze widmo IR próbki referencyjnej z próbką 1 po 1 min naświetlania

Fig. 8. Comparative IR spectrum of the reference sample with sample 1 after 1 min of exposure



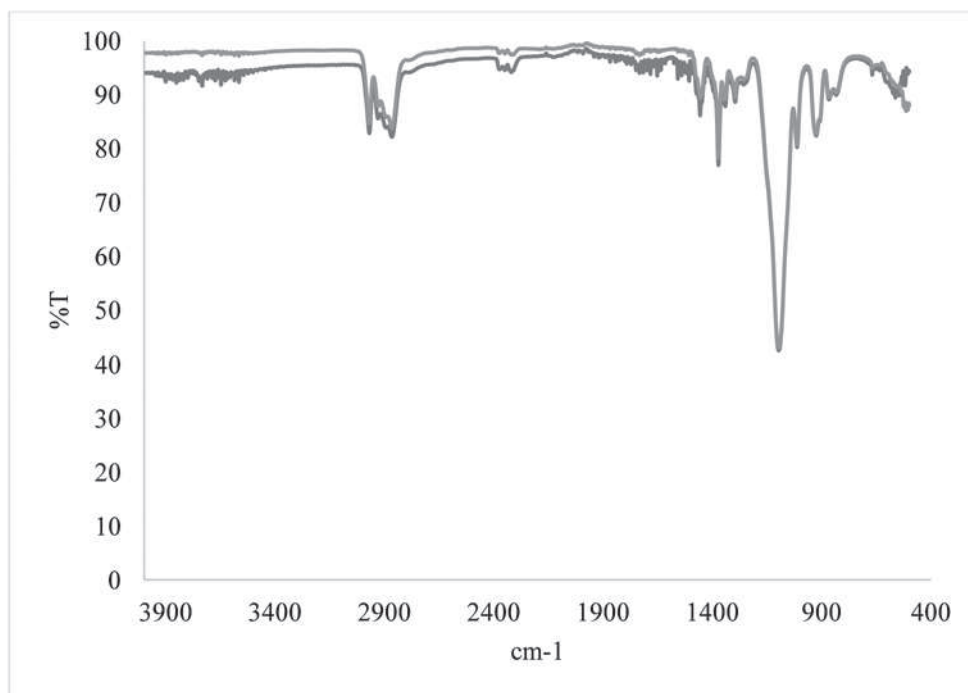
Rys. 9. Porównawcze widmo IR próbki referencyjnej próbką 2 po 5 min naświetlania

Fig. 9. Comparative IR spectrum of the reference sample with sample 2 after 5 minutes of irradiation



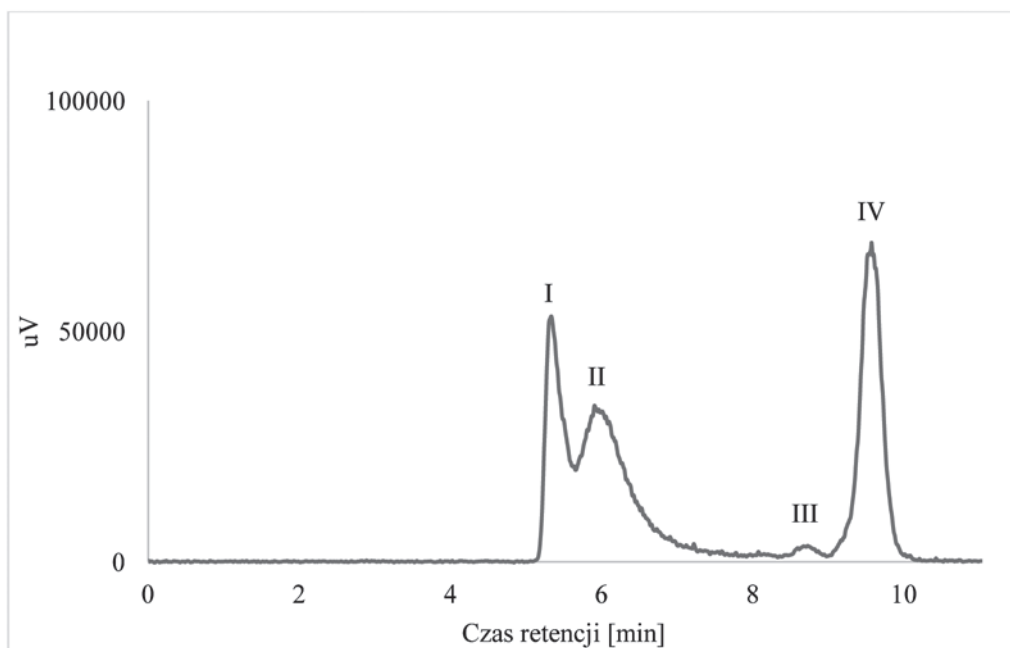
Rys. 10. Porównawcze widmo IR próbki referencyjnej z próbką 3 po 10 min naświetlania

Fig. 10. Comparative IR spectrum of the reference sample with sample 3 after 10 min irradiation



Rys. 11. Porównawcze widmo IR próbki referencyjnej z próbką 4 po 30 min naświetlania

Fig. 11. Comparative IR spectrum of a reference sample with a sample 4 after half hour of irradiation



Rys. 12. Chromatogram próbki referencyjnej

Fig. 12. Chromatogram of the reference sample

GPC (Chromatografia żelowa)

Technika chromatografii żelowej ze spektrometrią mas pozwala na określenie średnio wagowo oraz liczbowo mas cząsteczkowych badanego polimeru na podstawie czasu retencji. W tym celu analizie poddano próbki polimeru przed oraz po naświetleniu promieniowaniem rentgenowskim, aby sprawdzić stopień usieciowania oraz depolimeryzacji. Badania wykonano stosując kolumnę SHODEX GPC na chromatografie żelowym firmy SHIMADZU. Zastosowanym standardem były modyfikowane polistyreny przeznaczone do oznaczania mas cząsteczkowych polieterów i politioeterów gwiaździstych. Wszystkie poniższe chromatogramy przedstawiono w tej samej skali oraz porównano z próbką referencyjną.

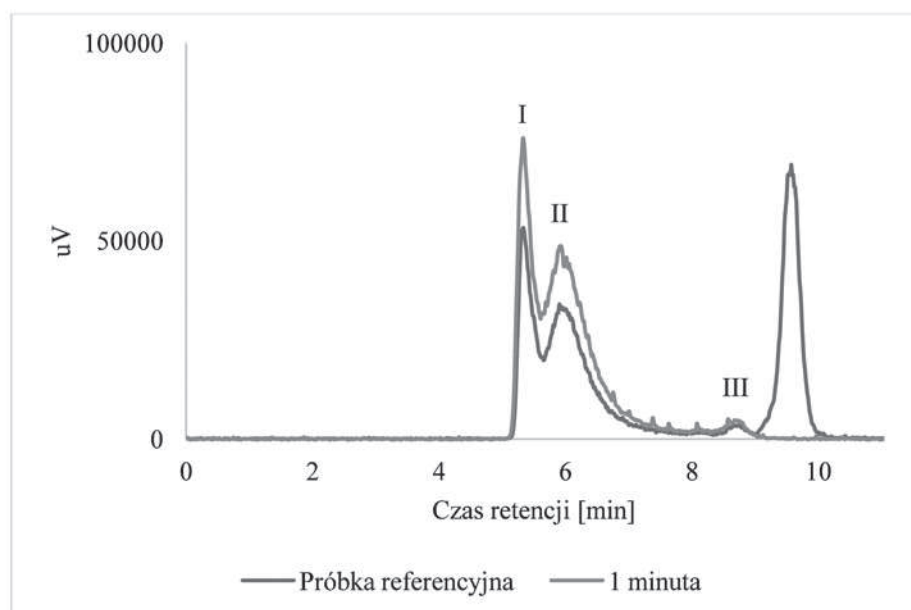
Po przeanalizowaniu otrzymanych wyników sporządzono zestawienia przedstawiające zmiany wagowo średnich mas cząsteczkowych (Mw) w zależności od czasu naświetlenia próbki dla poszczególnych pików zaobserwowanych na chromatogramach. Na ich podstawie możliwa była analiza stopnia usieciowania polimeru oraz depolimeryzacji.

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabeli 7 zauważono, że pochłonięta dawka wynosząca 1,25 Gy powoduje wzrost Mw w ba-

danym polimerze, co świadczy o jego sieciowaniu. Natomiast dostarczenie większej dawki powoduje, że Mw zaczyna maleć. Po dostarczeniu dawki wynoszącej 60 Gy, zauważono ponowny wzrost Mw, co może oznaczać, że materiał ulega repolimeryzacji. Dostarczone dawki powyżej 60 Gy powodowały depolimeryzację materiału.

Wyniki w Tabeli 8 pokazują, że w skutek pochłoniętej dawki wynoszącej 0,25 Gy Mw wzrasta, natomiast przy dostarczonej dawce promieniowania równej 1,25 Gy odnotowano jej spadek. W zakresie dawek 2,5 – 60 Gy Mw zwiększała się, powyżej tej dawki wagowo średnia masa cząsteczkowa zaczęła maleć. W skutek dostarczonej dawki (Tabela 9) wynoszącej 0,25 Gy do poli(tlenku propylenu) spowodowała wzrost Mw. Dla dawki wynoszącej 1,25 Gy nie odnotowano sygnału w postaci pików dla próbki nr 2. W zakresie dostarczonych dawek promieniowania wynoszących 2,5 – 7,5 Gy nastąpił wzrost Mw natomiast przy większych dawkach Mw zaczęło maleć.

Zauważono, że dostarczona dawka promieniowania wynosząca 2,5 Gy do materiału spowodowała wzrost Mw. Po dostarczeniu większych dawek Mw stopniowo zaczęło maleć (Tabela 10).

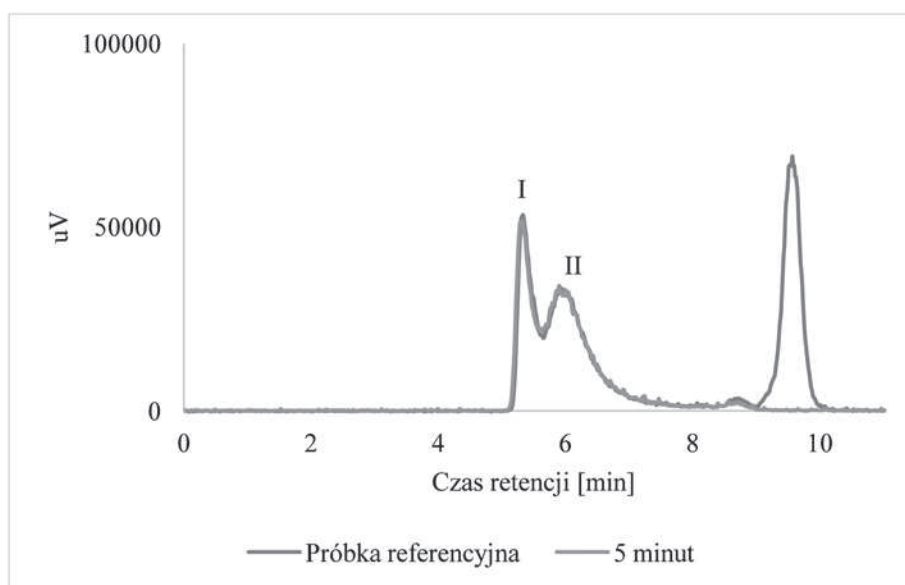


Rys. 13. Chromatogram próbki referencyjnej oraz próbki 1

Fig. 13. Chromatogram of the reference sample and sample 1

Tab. 2. Liczbowo średnie i wagowo średnie masy cząsteczkowe próbki referencyjnej**Tab. 2. Average numerical and average weight molecular mass of reference sample**

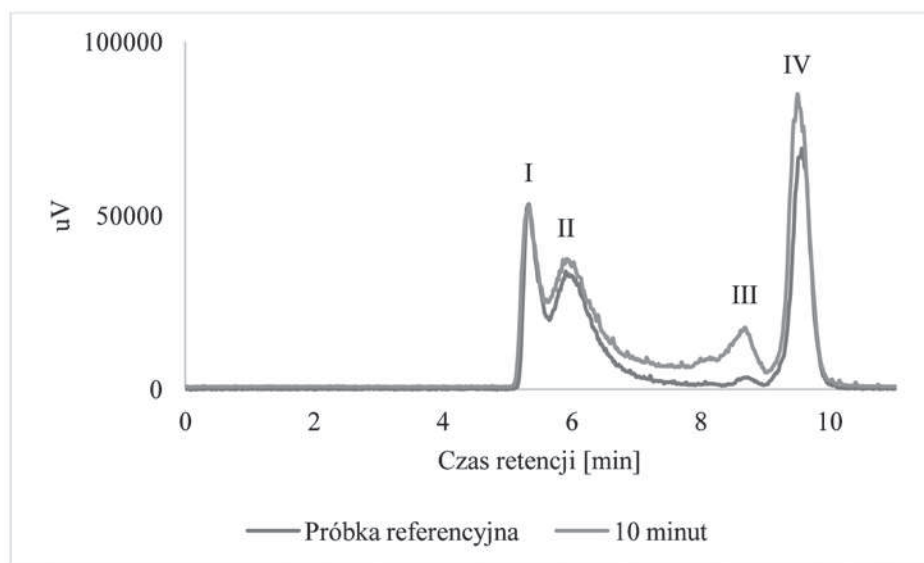
Pik	Czas retencji [min]	Mn	Mw	d
I	5,330	16900	17200	1,02
II	5,906	5200	7500	1,44
III	8,726	448	464	1,04
IV	9,571	179	184	1,03

*Rys. 14. Chromatogram próbki referencyjnej oraz próbki 2**Fig. 14. Chromatogram of reference sample and sample 2***Tab. 3. Liczbowo średnie i wagowo średnie masy cząsteczkowe próbki nr 1****Tab. 3. Average numerical and average weight molecular mass of sample No. 1**

Pik	Czas retencji [min]	Mn	Mw	d
1	5,330	17400	17700	1,02
2	5,927	5400	7700	1,43
3	8,574	459	486	1,06

Tab. 4. Liczbowo średnie i wagowo średnie masy cząsteczkowe próbki nr 2**Tab. 4. Average numerical and average weight molecular mass of sample No. 2**

Pik	Czas retencji [min]	Mn	Mw	d
1	5,323	17500	17800	1,02
2	5,906	3600	7400	2,05

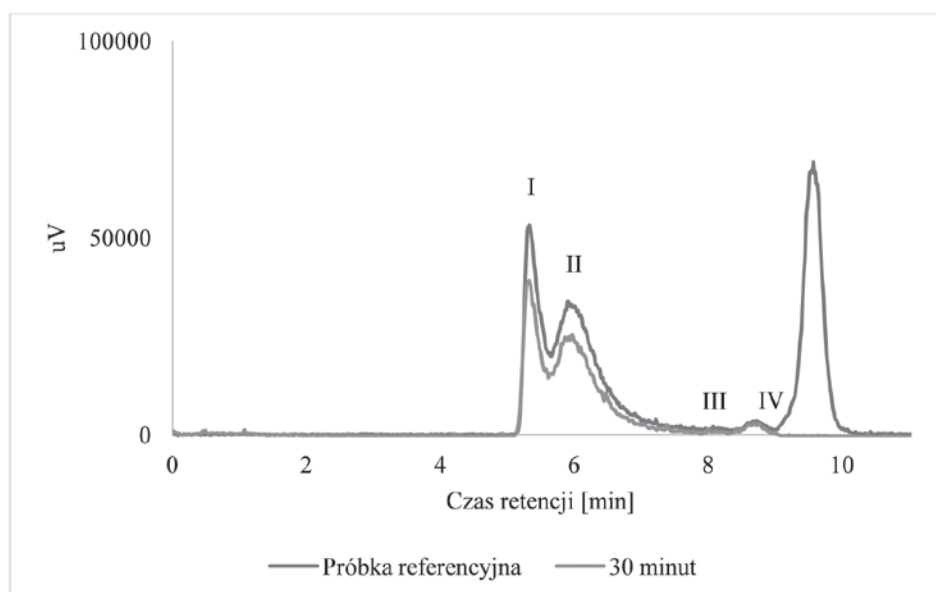


Rys. 15. Chromatogram próbki referencyjnej oraz próbki 3
 Fig. 15. Chromatogram of reference sample and sample 3

Tab. 5. Liczbowo średnie i wagowo średnie masy cząsteczkowe nr 3

Tab. 5. Average numerical and average weight molecular mass of sample No. 3

Pik	Czas retencji [min]	Mn	Mw	d
1	5,332	17400	17700	1,02
2	5,923	5800	7500	1,3
3	8,140	1000	1100	1,1
4	8,689	490	509	1,04
5	9,506	185	191	1,03

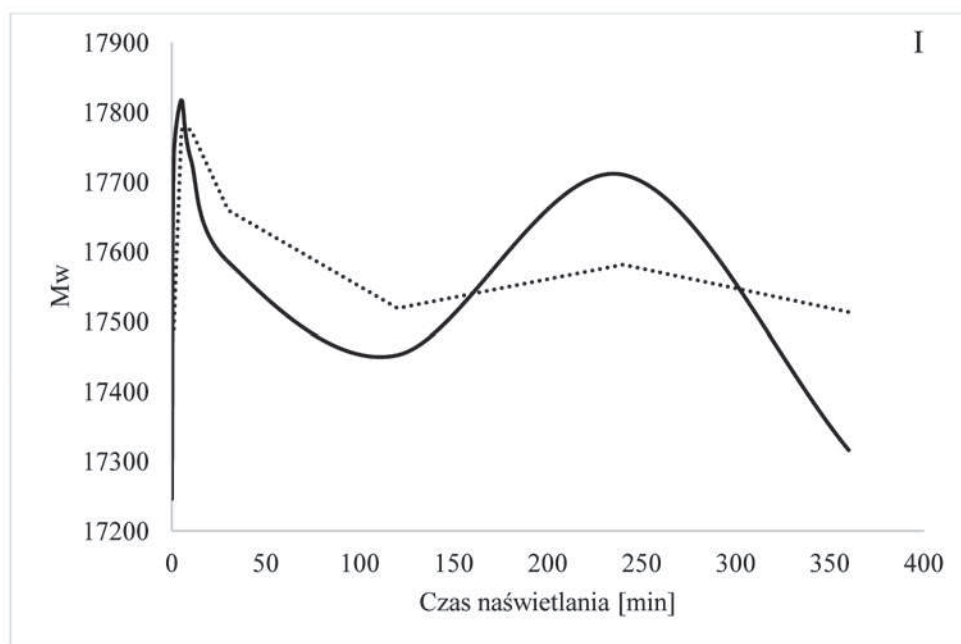


Rys. 16. Chromatogram próbki referencyjnej oraz próbki 4
 Fig. 16. Chromatogram of reference sample and sample 4

Tab. 6. Liczbowo średnie i wagowo średnie masy cząsteczkowe próbki nr 4

Tab. 6. Average numerical and average weight molecular mass of sample No. 4

Pik	Czas retencji [min]	Mn	Mw	d
1	5,327	17300	17600	1,02
2	5,970	6000	7800	1,3
3	8,003	910	919	1,0
4	8,687	475	495	1,04



Rys 17. Zmiana średnio wagowo mas cząsteczkowych w zależności od czasu naświetlania dla piku I.

Fig. 17. Change in weight average molecular weights depending on the exposure time for peak I.

Tab. 7. Wagowo średnie masy cząsteczkowe dla piku I

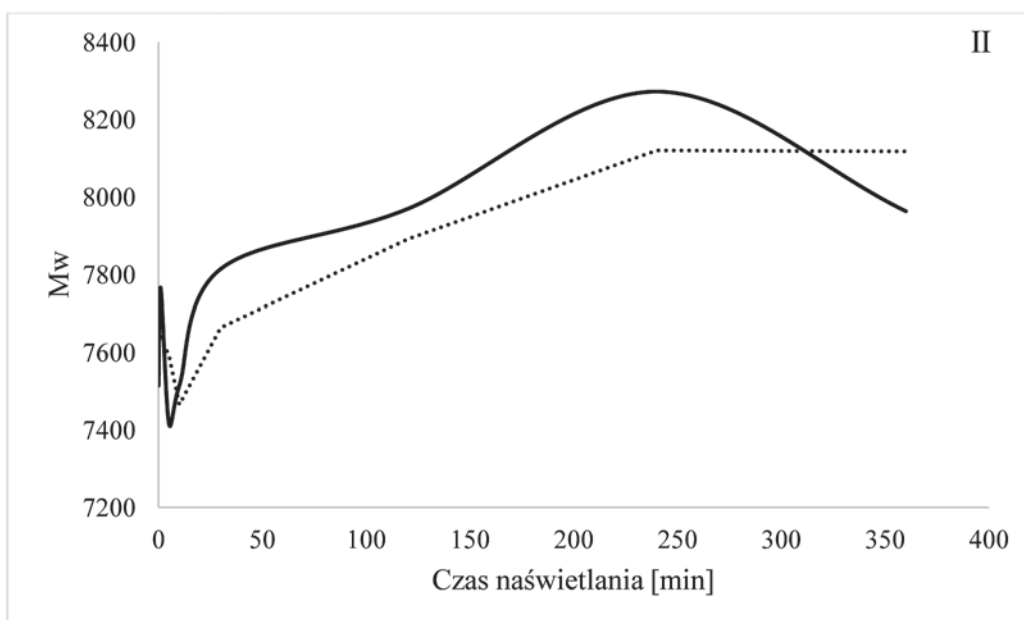
Tab. 7. Mean weight molecular masses for the I peak

Czas naświetlania próbki [min]	Dawka pochłonięta [Gy]	Czas retencji [min]	Mw
0	0	5,393	17246
1	0,25	5,330	17733
5	1,25	5,323	17817
10	2,5	5,332	17733
30	7,5	5,327	17585
120	30	5,370	17452
240	60	5,355	17710
360	90	5,354	17316
480	120	5,983	11338

Tab. 8. Wagowo średnie masy cząsteczkowe dla piku II

Tab. 8. Mean weight molecular masses for the peak II

Czas naświetlania próbki [min]	Dawka pochłonięta [Gy]	Czas retencji [min]	Mw
0	0	5,906	7514
1	0,25	5,927	7765
5	1,25	5,906	7416
10	2,5	5,923	7514
30	7,5	5,970	7814
120	30	5,988	7969
240	60	5,907	8272
360	90	5,354	7963

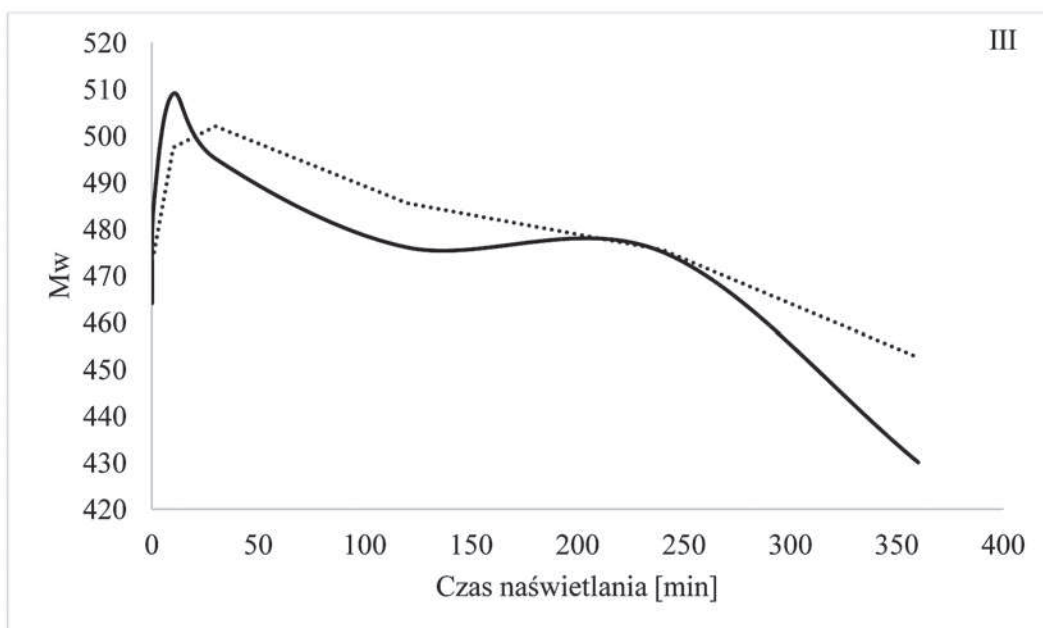


Rys. 18. Zmiana średnio wagowo mas cząsteczkowych w zależności od czasu naświetlania dla piku II
 Fig. 18. Change in mean weight of molecular masses depending on the time of illumination for peak II

Tab. 9. Wagowo średnie masy cząsteczkowe dla piku III

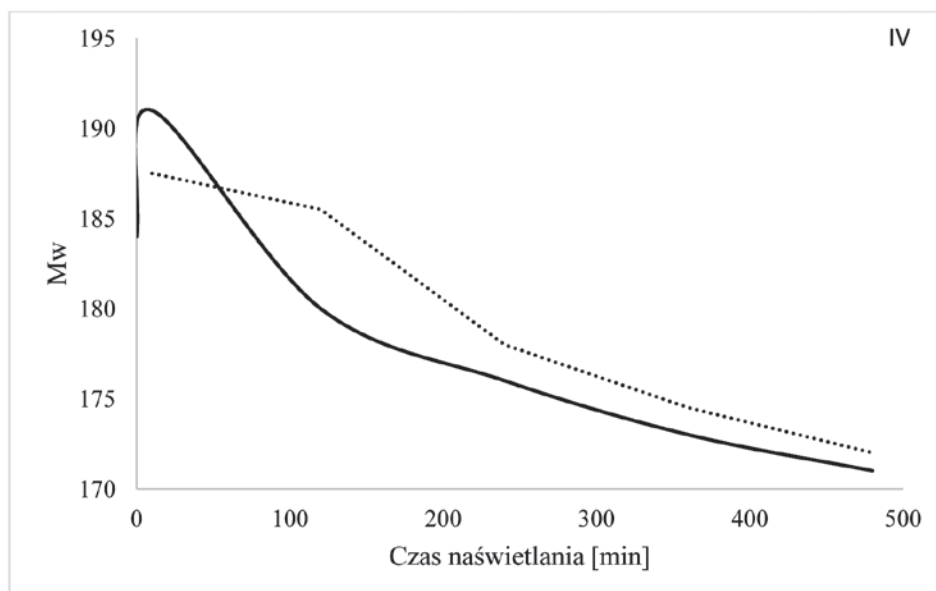
Tab. 9. Mean weight molecular masses for the peak III

Czas naświetlania próbki [min]	Dawka pochłonięta [Gy]	Czas retencji [min]	Mw
0	0	8,726	464
1	0,25	8,574	486
5	1,25	-	-
10	2,5	8,689	509
30	7,5	8,687	495
120	30	8,721	476
240	60	8,620	475
360	90	8,749	430



Rys. 19. Zmiana średnio wagowo mas cząsteczkowych w zależności od czasu naświetlania dla piku III

Fig. 19. Change in mean weight of molecular masses depending on the illumination time for peak III



Rys 20. Zmiana średnio wagowo mas cząsteczkowych w zależności od czasu naświetlania dla piku IV

Fig. 20. Change in weight average molecular weights depending on the exposure time for peak IV

Za pomocą chromatografii żelowej (GPC-SEC) przebadano próbki pod kątem wielkości wagowo średnich mas cząsteczkowych. Zaobserwowano, że masy cząsteczkowe otrzymanego poli(tlenku propylenu) zwiększają się w skutek dostarczenia dawek promieniowania wynoszących 1,25 Gy, co świadczy o sieciowaniu polimeru. Natomiast po dostarczeniu większych dawek nastąpiło zmniejszenie się mas cząsteczkowych polimeru. Odnotowano także ponowne

sieciowanie poli(tlenku propylenu) w próbce nr 6, gdzie pochłonięta dawka wynosiła 60 Gy. Po dłuższym czasie naświetlania polimer ulegał depolimeryzacji.

MRI (Obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego)

Obrazy naświetlonego polimeru wykonano w sekwencjach T1, T2 oraz FLAIR na rezonansie magnetycznym MRI Vantage ATLAS X MRT-1503 / W3 firmy Toshiba.



Rys. 21. Sekwencja T1. Czas echa 10ms, czas repetycji 485ms
Fig. 21. Sequence T1. Echo time 10ms, repetition time 485ms



Rys. 22. Sekwencja T2. Czas echa 120ms, Czas repetycji 6700ms
Fig. 22. Sequence T2. Echo time 120ms, Repeat time 6700ms



Rys. 23. Sekwencja FLAIR. Czas echa 105ms, Czas repetycji 6100ms
Fig. 23. The FLAIR sequence. Echo time 105ms, Repeat time 6100ms

Tab. 10. Wagowo średnie masy cząsteczkowe dla piksu IV

Tab. 10. Mean weight molecular masses for peak IV

Czas naświetlania próbki [min]	Dawka pochłonięta [Gy]	Czas retencji [min]	Mw
0	0	9,571	184
1	0,25	-	-
5	1,25	-	-
10	2,5	9,506	191
30	7,5	-	-
120	30	9,500	180
240	60	9,529	176
360	90	9,523	173
480	120	9,524	171

Tab. 11. Parametry obrazów MRI

Tab. 11. Parameters of MRI images

Sekwencja	Czas repetycji [ms]	Czas echa [ms]
T1	485	10
T2	6700	120
FLAIR	6100	105

Wykonane obrazy metodą rezonansu magnetycznego napromieniowanego polimeru miały na celu dobranie odpowiednich parametrów pracy rezonansu magnetycznego w tym sekwencji do oceny pochłoniętej dawki promieniowania. Na podstawie otrzymanych wyników przeprowadzono pomiary i zaobserwowano, że najlepszy obraz pod względem ostrości uzyskano w sekwencji T2 (Rysunek 18). Natomiast seria pomiarów wykonana w sekwencji T1 (Rysunek 17) zawierała dużą ilość szumów, co skutkuje jednocześnie mniej precyzyjną analizą obrazu zarówno pod względem wizualizacji badanej próbki jak i zmian w gęstości materiału spowodowanych interakcją pomiędzy promieniowaniem, a łańcuchami gwieżdzistego poli(tlenku propylenu).

WNIOSKI

Analizy z wykorzystaniem chromatografii żelowej wykazały, że do 5 minut naświetlania,

polimer ulega procesom sieciowania, natomiast po tym czasie poli(tlenek propylenu) ulega degradacji. Badania FTIR/ATR wykazały, że nie tworzą się nowe związki chemiczne w skutek oddziaływania polimeru z promieniowaniem rentgenowskim. Na podstawie analizy wyników stwierdzono, że polimer ulega sieciowaniu pod wpływem promieniowania X, oraz nie tworzą się nowe grupy funkcyjne, co wskazuje na brak powstawania substancji toksycznych. Wykonane badania pozwalają stwierdzić, że poli(tlenek propylenu) nadaje się do zastosowań w dozymetrii żelowej.

Obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego pozwoliło na dobranie odpowiedniej sekwencji, w której napromieniowany poli(tlenek propylenu) może zostać poddany ocenie pochłoniętej dawki promieniowania. Na podstawie uzyskanych obrazów stwierdzono, że najkorzystniejsze pod względem ostrości uzyskano obrazy wykonane w sekwencji T2. Może to wy-

nikać z obecności grup hydroksylowych w polimerze. Najgorsza widoczność napromieniowanego polimeru została uzyskana w sekwencji T1.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że:

- Średnia masa cząsteczkowa analizowanego poli(tlenku propylenu) ulega zwiększeniu jednakże ze względu na brak wolnego monomeru oraz zakończenie łańcuchów terminalnymi grupami metoksyłowymi dalsza polimeryzacja na drodze klasycznej polimeryzacji anionowej jest niemożliwa. Najbardziej prawdopodobnym zjawiskiem jest sieciowanie poli(tlenku propylenu) w zakresach dawek 0 – 1,25 Gy.
- W trakcie naświetlania nie powstają żadne nowe niskocząsteczkowe związki pochodne rozpadu łańcucha głównego polimeru.
- Budowa chemiczna łańcuchów badanego polimeru pozwala na obrazowanie zmian w strukturze polimeru metodą rezonansu magnetycznego ze względu na jego czułość na nawet niewielkie (bezpieczne dla człowieka) dawki promieniowania rentgenowskiego.

BIBLIOGRAFIA

1. C. Baldock. *Historical overview of the development of gel dosimetry: a personal perspective. Journal of Physics: Conference Series* 56 14-22. 2006.
2. Z. Hrynkiewicz, E. Rokita. *Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii. Warszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN, 2000.*
3. S. Klewenhagen. *Promienie X i ich zastosowanie w medycynie. Warszawa : Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, 1965.*
4. A. Z. Hrynkiewicz. *Człowiek i promieniowanie jonizujące. [red.] A. Z. Hrynkiewicz. Warszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN, 2001.*
5. B. Pruszyński. *Radiologia diagnostyka obrazowa RTG, TK, USG, MR i radioizotopy. Warszawa : Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 1999.*
6. A. Stolarzewicz, B. Morejko-Buż, Z. Grobelny, W. Pi-sarski. *Spontaneous self-oligomerization of potassium glycidoxide - A simple way to new cyclic polyfunctional macroinitiator. Reactive & Functional Polymers. 2005, Tom 65, 259-266.*
7. A. Stolarzewicz, B. Morejko-Buż, Z. Grobelny, W. Pi-sarski. *Spontaneous self-oligomerization of potassium glycidoxide - A simple way to new cyclic polyfunctional macroinitiator. Reactive & Functional Polymers. 2005, Tom 65, 259-266.*
8. J. Pielichowski, A. Puszyński. *Chemia polimerów. Kraków : Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2004.*
9. B. Swinarew, *Synteza gwiazdzistych polimerów tlenku propylenu i glicydolu oraz określenie ich właściwości, 2012, praca doktorska*
10. A. Stolarzewicz, Z. Grobelny, M. Szczepański, A. Swinarew. *Sposób otrzymywania poli(tlenku propylenu). Opis patentowy. 2014.*

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 12-12-2017
Data akceptacji publikacji do druku: 31-01-2018