

IDENTYFIKACJA POLIMERÓW

1. Wiadomości wstępne

POLIMERY to związki wielkocząsteczkowe o makrocząsteczkach zbudowanych z powtarzających się elementów struktury, zwanych merami (inne nazwy meru to jednostka strukturalna, powtarzalna, konstytucyjna lub monomeryczna). Nazwa pochodzi od greckich słów *poly* – wiele oraz *mer* – cząsteczka.

Polimery mogą być klasyfikowane w różny sposób – w zależności od rodzaju przyjętego kryterium, np. ze względu na:

1. pochodzenie:

- a) polimery naturalne, tzw. biopolimery, np. białka, kwasy nukleinowe, kauczuki naturalne, kwas hialuronowy, celuloza
- b) polimery syntetyczne, np. poli(chlorek winylu)
- c) polimery modyfikowane, czyli polimery naturalne lub syntetyczne, modyfikowane chemicznie lub fizycznie celem poprawy ich właściwości użytkowych, np. octan celulozy

2. zachowanie się podczas ogrzewania (kryterium budowy fizycznej polimerów):

a) polimery termoplastyczne

Są to materiały, które:

- mają budowę liniową lub rozgałęzioną
- są zwykle rozpuszczalne w rozpuszczalnikach organicznych
- topią się i płyną
- mogą być ogrzewane (poniżej temperatury termodegradacji) i chłodzone (zmieniają wówczas swoją płynność i plastyczność)
- można je w łatwy sposób formować

b) polimery termoutwardzalne i chemoutwardzalne (tzw. duroplasty)

Są to polimery, które:

- wykazują duży stopień usieciowania
- nie rozpuszczają się w rozpuszczalnikach organicznych
- podczas ogrzewania nie ulegają uplastycznieniu, nie topią się, nie płyną
- ostateczny proces formowania duroplastów jest nieodwracalny (można je formować tylko raz)

3. budowę chemiczną

a) z uwzględnieniem łańcucha głównego

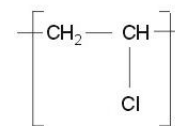
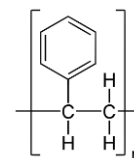
- polimery o łańcuchach homogenicznych, np. -C-C-C-C-C-

- polimery o łańcuchach heterogenicznych, np. -C-O-C-N-

b) z uwzględnieniem grup bocznych

- polimery z grupami bocznymi zbudowanymi z atomów węgla, np. polistyren

- polimery z heteroatomami w grupie bocznej, np. poli(chlorek winylu)



4. kryterium właściwości reologicznych (reologia – nauka o odkształcaniu ciał pod wpływem siły zewnętrznej):

a) plastomery – pod wpływem naprężeń wykazują małe odkształcenie (termoplasty i duroplasty)

b) elastomery – przy małych naprężeniach wykazują duże odkształcenia, np. kauczuk

5. kinetykę i mechanizm reakcji otrzymywania:

a) polimery addycyjne

b) polimery kondensacyjne

HOMOPOLIMERY są to polimery zbudowane z jednego typu merów (-A-A-A-A-A-).

KOPOLIMERY to makrocząsteczki zbudowane z dwóch lub więcej różnych merów (-A-B-)

TWORZYWA SZTUCZNE są to materiały użytkowe otrzymane z polimerów, zawierające w swoim składzie także różne dodatki, takie jak np. napelniacze, zmiękczacze (plastyfikatory), stabilizatory, barwniki, pigmenty, przeciwutleniacze i inne.

2. Rys historyczny oraz podstawowe dane gospodarcze dotyczące tworzyw sztucznych

Początek historii polimerów może być właściwie datowany na rok 1839, kiedy to niemiecki aptekarz Simon wyizolował styren. W 1862 r angielski chemik Alexander Parkens opatentował tworzywo sztuczne otrzymane z celulozy, a w 1868 r., Alfred Nobel zsyntetyzował nitrocelulozę. Prawdziwy rozwój przemysłu tworzyw sztucznych nastąpił jednak wraz z opracowaniem przez Leo Baekelanda przemysłowej metody otrzymywania tworzywa zwanego bakelitem. Żywica ta, produkowana z fenolu i formaldehydu w procesie polikondensacji, była doskonałym materiałem do otrzymywania różnych wyrobów metodą odlewania lub prasowania. Po utwardzeniu tworzywo podatne było na obróbkę mechaniczną. Bakelit stał się popularnym tworzywem konstrukcyjnym stosowanym do produkcji radiodbiorników, przyborów kuchennych czy w elektrotechnice) [1,2].

Niemal wszystkie produkowane obecnie na skalę przemysłową polimery zostały odkryte w pierwszej połowie XX w., np. polistyren, poli(metakrylan metylu) – lata 30-te, silikon – lata 40-te [1,2].

Od lat 60-tych XX w. odnotowuje się dynamiczny wzrost światowej produkcji i zużycia tworzyw sztucznych. Ma to związek z ich właściwościami, takimi jak np.: stosunkowo niewielka gęstość, łatwość formowania zróżnicowanych kształtów i łączenia z innymi materiałami, możliwość modyfikacji przez dodatek wypełniaczy, pigmentów, środków spieniających, plastyfikatorów itp., przezroczystość, odporność mechaniczna itd. W 2020 r. wyprodukowano na świecie ok. 367 mln ton tworzyw sztucznych, w samej Europie natomiast ok. 49 mln ton. Największym globalnym producentem tworzyw są Chiny, które już kilka lat temu wyprzedziły w tej klasyfikacji Europę i kraje bloku NAFTA.

Rys. 1 przedstawia wielkość zużycia tworzyw sztucznych w Europie przez poszczególne kraje.



Rys. 1. Zużycie tworzyw sztucznych w Europie [3]

W Europie największe zapotrzebowanie na konkretne typy tworzyw dotyczy polipropylenu, polietylenu niskiej i wysokiej gęstości, poli(chlorku winylu), poliuretanów i poli(tereftalanu etylenu) (w tej kolejności) [3].

3. Identyfikacja tworzyw sztucznych

3.1 Oznaczenia tworzyw sztucznych

Tworzywa sztuczne są obecnie wykorzystywane niemalże w każdej dziedzinie (przykładowe zastosowania zostały zaprezentowane w Tabeli 1).

Tabela 1. Przykładowe zastosowania polimerów

<p>PE (polietylen) – folia opakowaniowa, pojemniki na kosmetyki, folia termokurczliwa, worki na śmieci</p>	
<p>PP (polipropylen) – pojemniki do żywności, artykuły gospodarstwa domowego – wiadra, miski, opakowania kosmetyków</p>	
<p>PA (poliamid) – nici syntetyczne</p>	
<p>PC (poliwęglan) – płyty CD, płyty konstrukcyjne</p>	
<p>PS (polistyrem) – ocieplanie budynków, pudełka płyt CD</p>	
<p>PVC (poli(chlorek winylu)) – instalacje kanalizacyjne, powłoka zewnętrzna kabli, wykładziny</p>	
<p>PET (poli(tereftalan etylenu)) – butelki</p>	

Znajomość rodzaju tworzywa, które się wykorzystuje jest podstawą jego efektywnego oraz bezpiecznego stosowania, np. typ tworzywa determinuje to, jakiego kleju można użyć do łączenia powierzchni.

W trakcie eksploatacji tworzywa sztuczne mogą ulegać uszkodzeniom czy zniszczeniom. Ewentualne prace naprawczo-konserwacyjne wymagają w pierwszej kolejności rozpoznania rodzaju materiału, z jakim ma się do czynienia. Ma to ogromne znaczenie przy wyborze kleju, lakieru czy rozpuszczalnika, który będzie można użyć.

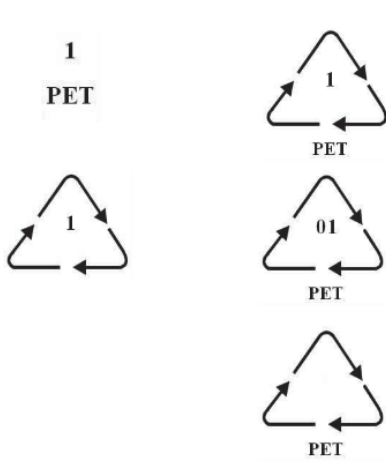
Kolejna istotna kwestia to problem utylizacji tworzyw sztucznych. Materiały te bardzo trudno podlegają procesom rozkładu, a miejsca składowania mają ograniczoną pojemność. Stąd bardzo ważne jest zagadnienie wykorzystania tworzyw w postaci surowców wtórnych. Tworzywa trzeba jednak wcześniej posegregować wg typu. Ponownie, pierwszym krokiem jest identyfikacja.

W celu umożliwienia i ułatwienia identyfikacji tworzywa, materiały te są najczęściej oznaczone za pomocą skrótów/kodów. Do najczęściej spotykanych należą:

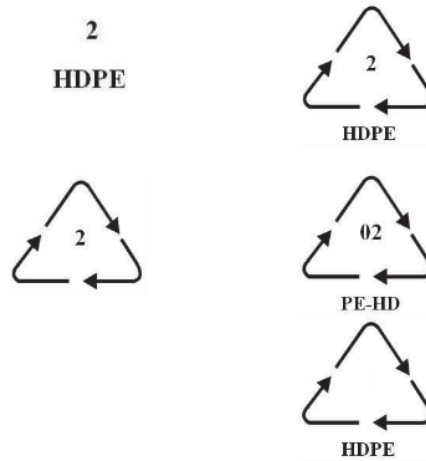
Tabela 2. Oznaczenia ważniejszych polimerów

Oznaczenie	Polimer
CA	octan celulozy
PA	poliamid
PAN	poliakrylonitryl
PC	poliwęglan
PE	polietylen
PF	żywica fenolowo-formaldehydowa
PIB	poliizobutylen
PMM	poli(metakrylan metylu)
PP	polipropylen
PET	poli(tereftalan etylenu)
PS	polistyren
PUR	poliuretan
PVC	poli(chlorek winylu)
SI	silikon
PTFE	poli(tetrafluoroetylen)

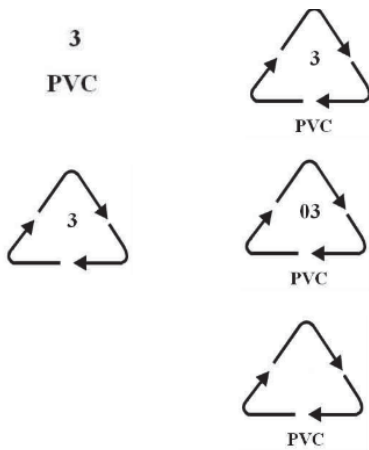
Wg obowiązującego rozporządzenia opakowania powinny być oznaczone w następującej formie [4]:



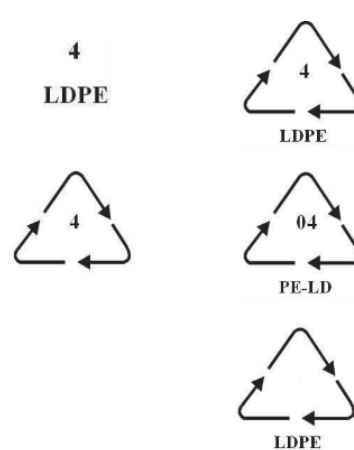
poli(tereftalan etylenu)



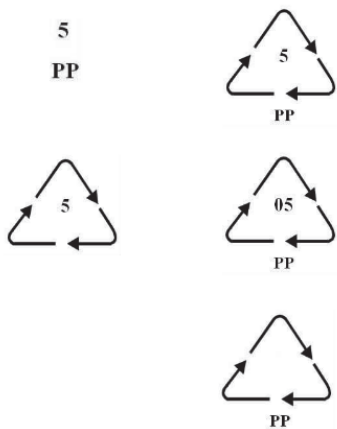
polietylen dużej gęstości



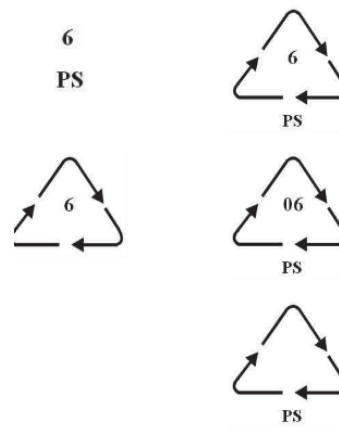
poli(chlorek winylu)



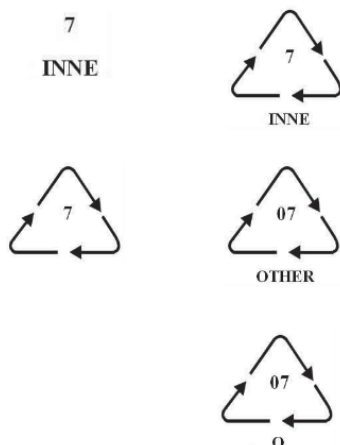
polietylen małej gęstości



polipropylen



polistyren



tworzywa inne niż wymienione wcześniej

3.2. Metody identyfikacji tworzyw sztucznych

Celem identyfikacji tworzywa sztucznego jest odpowiedź na pytanie, jaki polimer stanowi główny składnik tworzywa. Jednocześnie należy sobie zdawać sprawę z tego, że rozpoznanie nieznanego tworzywa nie zawsze jest proste i wymaga dużego doświadczenia laboratoryjnego. Po pierwsze, tworzywa sztuczne to „mieszanka” polimeru/ów i substancji pomocniczych (nie zawsze badanie dwóch tworzyw zawierających taki sam polimer podstawowy musi prowadzić do identycznych wyników – różnice mogą być spowodowane występowaniem dodatków modyfikujących). Po drugie, wyniki mogą być dość wyraźnie uzależnione od subiektywnej oceny eksperymentatora (np. kwestia zapachu).

W przypadku typowych tworzyw sztucznych identyfikacja rodzaju polimeru, z którego został otrzymany dany produkt, może zostać przeprowadzona na podstawie względnie prostych metod, takich jak, np.:

- ogrzewanie i badanie w płomieniu
- badanie rozpuszczalności

Identyfikacja na podstawie zachowania się w płomieniu palnika

Próbkę tworzywa umieszcza się na łopatkę do spalań lub chwyta szczypcami i utrzymuje się w płomieniu palnika aż do zapalenia (ogrzewanie nie powinno być zbyt szybkie, gwałtowne). Zwraca się uwagę na następujące elementy: łatwość zapalenia próbki, zachowanie próbki po wyjęciu jej z płomienia, kopcenie, występowanie lub nie stopionych, kapiących części (palących się lub nie), zdolność do gaśnięcia, barwę płomienia (w środku i na krawędziach), zapach wydzielających się par, dymów, odczyn pH oparów po zgaszeniu ognia.

Polimery, które rozkładają się w czasie palenia na węglowodory aromatyczne, palą się żółtym kopcącym płomieniem, a te, które rozkładają się na węglowodory alifatyczne palą się z niewielkim kopceniem.

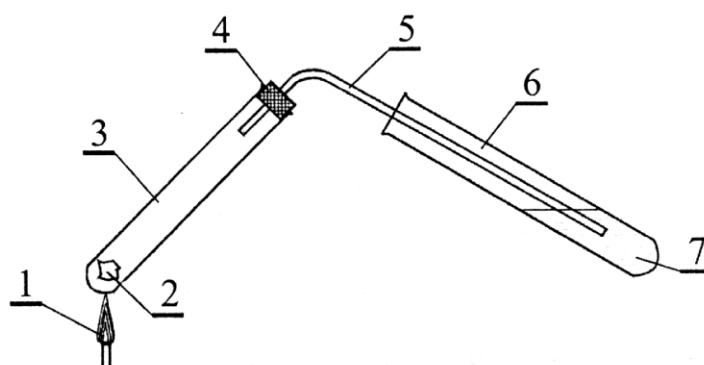
Kwaśny lub zasadowy charakter wydzielających się gazów może być zbadany za pomocą zwilżonego wodą destylowaną papierka wskaźnikowego umieszczonego w badanych gazach.

W celu określenia zapachu, próbkę po kilku sekundach utrzymywania w płomieniu wyjmuje się i określa zapach. Jeśli próbka po wyjęciu z płomienia pali się, należy płomień zgasić i dopiero potem określić zapach.

- a. Jeśli polimer nie pali się i próbka zachowuje swój kształt oraz czuje się zapach:
 - formaldehydu - jest to żywica mocznikowo-formaldehydowa
 - ryby - jest to żywica melaminowo-formaldehydowa
 - fenolu - jest to żywica fenolowo-formaldehydowa
 - gdy polimer nie pali się, wydziela się biały dym, a na krawędziach próbki tworzy się biały proszek mamy do czynienia z silikonami
 - gdy próbka nie pali się i nie zwęгла jest to PTFE
- b. Jeśli polimer pali się w płomieniu, ale po wyjęciu z płomienia gaśnie, to w przypadku: gdy płomień ma zielone zabarwienie i czuje się:
 - zapach ostry, lecz nie taki jak przy palonej gumie - jest to poli(chlorek winylu)
 - zapach słodki i czarny popiół - jest to poli(chlorek winylidenu)
 - gdy płomień jest świecący, kopcąc próbka zwęгла się, a zapach jest zbliżony do fenolu - mamy do czynienia z PC
- c. Jeśli polimer pali się po wyjęciu z płomienia, to w przypadku, gdy:
 - płomień posiada barwę niebieską i czuje się:
 - bardzo słodki owocowy zapach - jest to poli(metakrylan metylu)
 - zapach palonych włosów - jest to poliamid
 - zapach zjełczałego masła i płomień iskrzący - jest to octanomaślan celulozy
 - zapach zjełczałego masła i brak iskier - jest to poliwinylbutyral
 - płomień otoczony czerwoną obwódką, iskrzący i czuje się zapach kwasu octowego - jest to poliwinylacetat
 - płomień żółty, luminescencja i czuje się:
 - zapach kwasu masłowego - jest to octanomaślan celulozy
 - zapach słodki kwiatowy, płomień kopcący - jest to polistyren
 - płomień z żółto-zieloną obwódką, iskrzący, trudno się pali i czuje się zapach kwasu octowego - jest to octan celulozy

Identyfikacja oparta na pirolizie tworzywa

W celu przeprowadzenia pirolizy polimer umieszcza się w próbówce z trudno topliwego szkła, probówkę zatyka się korkiem ze zgiętą rurką do odprowadzania gazów, a koniec rurki zanurza w wodzie destylowanej znajdującej się w drugiej próbówce (Rys. 2). Probówkę z próbką badaną stopniowo ogrzewa się nad palnikiem i obserwuje jakie zachodzą zmiany. Wydzielające się w czasie pirolizy gazy rozpuszczają się w wodzie i nadają jej, zależnie od swojego charakteru chemicznego, odczyn kwaśny lub zasadowy.



Rys. 2. Schemat prowadzenia pirolizy: 1 - Palnik Bunsena, 2 - próbka tworzywa, 3 i 6 - próbówki, 4 - korek, 5 - rurka szklana, 7 - woda destylowana

Porównanie wyników analizy z danymi zestawionymi w Tabeli 3 stanowi kolejny etap analizy chemicznej próbek polimeru.

Tabela 3. Identyfikacja polimerów na podstawie wydzielających się gazów

Wydzielające się gazy i pary wykazują następujące reakcje:	Polimer
Reakcja kwaśna; osad lub mętnienie z AgNO_3	poli(chlorek winylu), poli(chlorek winylidenu)
Osad lub zmętnienie z BaCl_2	zwulkanizowany syntetyczny kauczuk
Obecność kwasu octowego	poli(octan winylu), octan celulozy
Obecność innych organicznych kwasów	estry poliwinylowe, estry celulozy, politetrafluoroetylen, polichlorotrifluoroetylen
Reakcja alkaliczna	poliamidy, poliuretany, żywica melaminowo-formaldehydowa, żywica mocznikowo-formaldehydowa, żywica fenolowo-formaldehydowa

Zaprezentowane powyżej metody, przy pewnym doświadczeniu, mogą doprowadzić do sformułowania kluczowych wniosków i przynajmniej wstępnie pomóc zidentyfikować

nieznane tworzywo sztuczne.

Badanie rozpuszczalności polimeru

Badanie odporności tworzywa na rozpuszczanie może być czasochłonne, dlatego metodę tę stosuje się, gdy poprzednio wykonane oznaczenia nie przyniosły jednoznacznego rozstrzygnięcia.

Tabela 4. Rozpuszczalność polimerów

Nazwa polimeru	Rozpuszczalnik									
	woda	aceton	alkohol etylowy	benzen	octan etylu	cykloheksanon	tetrachlorek węgla	dioksan	kwasy octowe	chloroform
Poli(chlorek winylu)	-	-	-	X	-	+	+	-	-	-
Polistyren	-	X	-	+	X	-	+	+	-	+
Polietylen	-	-	-	(+)	+	-	(+)	-	-	(+)
Poli(octan winylu)	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Poli(metakrylan metylu)	-	+	+	+	-	+	-	+	+	
Poli(tetrafluoroetylen)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azotan celulozy	-	+	-	-	(+)	+	-	+	+	
Octan celulozy	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-
Żywica fenolowo-formaldehydowa	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
Żywica mocznikowo-formaldehydowa	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Żywica melaminowo-formaldehydowa	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Poliamidy	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Żywice epoksydowe	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Metyloceluloza	+	-	-	X	-				X	
Poliuretany	-	-		-	-		-	-	+	-
Poli(alkohol winylowy)	+	-	-	-	-		-			-

Oznaczenia: + rozpuszczalny, (+) rozpuszczalny na gorąco, - nierozpuszczalny, x pęcznieje

Identyfikacja polimerów metodą Liebermanna-Storcha-Morawskiego

Małą próbkę polimeru umieszcza się na szkiełku zegarkowym i wkrapla kilka kropli bezwodnika octowego, następnie wprowadza się jedną kroplę stężonego kwasu siarkowego i po upływie 0,5 h obserwuje zabarwienie roztworu i polimeru.

Tabela 5. Identyfikacja polimerów metodą Liebermanna-Storcha-Morawskiego

Polimer	Barwa polimeru
Poli(chlorek winylu)	niebieska
Poli(chlorek winylidenu)	żółta
Poli(octan winylu)	zielona
Kopolimer chlorek winylu/octan winylu	zielona od niebieskiej do brązu
Poliwinylobutyral	żółta do ciemnobrązowej
Polistyren	bez zabarwienia
Poliamid	bez zabarwienia
Politetrafluoroetylen	bez zabarwienia
Poliizobutylen	bez zabarwienia
Polichloropren	czerwonobrązowa
Chlorowany kauczuk	bez zabarwienia
Kauczuk wulkanizowany	bez zabarwienia
Poli(metakrylan metylu)	bez zabarwienia
Octan celulozy	bez zabarwienia do jasnobrązowej
Azotan celulozy	wydziela się NO ₂
Żywica melaminowo-formaldehydowa	bez zabarwienia
Żywica fenolowo-formaldehydowa	bardzo różowa
Żywica mocznikowo-formaldehydowa	bez zabarwienia

Istnieje wiele modyfikacji metody Liebermanna-Storcha-Morawskiego. Na przykład około 0,5 g polimeru ogrzewa się w probówce z 2 ml bezwodnika octowego. Po ochłodzeniu roztworu dodaje się 3 krople stężonego kwasu siarkowego i obserwuje zabarwienie roztworu oraz przezroczystość roztworu gorącego i po oziębieniu. Wyniki obserwacji porównuje się z zestawieniem barw zapisanym w Tabeli 6.

Tabela 6. Identyfikacja polimerów na podstawie zmodyfikowanej metody Liebermanna-Storcha-Morawskiego

Polimer	Rozpuszczalność		Zabarwienie		
	na gorąco	po oziębieniu	po dodaniu H ₂ SO ₄	po 10 min.	po dodatk. ogrzewaniu
Poli(chlorek winylu)	roztwór przezroczysty	roztwór mętnieje	brak zabarwienia	brak zabarwienia	brunatno żółte przechodzące w brunatne
Poli(octan winylu)	roztwór przezroczysty	roztwór mętnieje	brak zabarwienia	brak zabarwienia	brunatno-niebieskie
Poliamid	całkowita	roztwór przezroczysty	brak zabarwienia	brak zabarwienia	jasnożółte przechodzące w czerwone
Polistyren	roztwór mętnieje	roztwór mętny	brak zabarwienia	brak zabarwienia	żółto-brunatne
Żywica fenolowo-formaldehydowa	całkowita	roztwór mętnieje	czerwono-fioletowe przechodzące w różowe a następnie żółte	brunatne	czerwono-brunatne
Żywica moczniowo-formaldehydowa	roztwór mętny	roztwór mętny	brak zabarwienia	brak zabarwienia	żółtawo pomarańczowe
Żywica melaminowo-formaldehydowa	całkowita	roztwór przezroczysty	brak zabarwienia	brak zabarwienia	brak zabarwienia

4. Wykonanie ćwiczenia

W niniejszym ćwiczeniu wykorzystuje się uproszczoną metodę identyfikacji tworzyw sztucznych bazującą na badaniu zachowania się tworzywa w płomieniu palnika. Wybrane tworzywa poddawane będą również pirolizie. W przypadku wybranych materiałów identyfikacja uzupełniona zostanie badaniem rozpuszczalności w wybranych rozpuszczalnikach. Pomimo swej prostoty, metoda ta pozwala na rozróżnienie najpopularniejszych polimerów. Wg wskazań prowadzącego badania mogą zostać wsparte innymi metodami omówionymi wyżej.

Badanie zachowania się polimerów w płomieniu gazowym

Niewielką ilość tworzywa należy umieścić na łyżeczce do spalań lub uchwycić w szczypcach, a następnie umieścić w płomieniu palnika Bunsena. Obserwuje się barwę płomienia, łatwość palenia, samogaśnięcie, występowanie lub nie kopcenia, pozostałość po całkowitym spalaniu, określa się zapach,. Wyniki porównuje się z informacjami podanymi wcześniej w części teoretycznej.

Badanie zachowania się tworzywa podczas pirolizy

W celu przeprowadzenia pirolizy polimeru umieszcza się w probówce z trudno topliwego szkła około 1 g polimeru, probówkę zatyka się korkiem ze zgiętą rurką do odprowadzania gazów, a koniec rurki zanurza w wodzie destylowanej znajdującej się w drugiej probówce (Rys. 1). Probówkę z próbką badaną stopniowo ogrzewa się nad palnikiem i obserwuje jakie zachodzą zmiany. Wydzielające się w czasie pirolizy gazy rozpuszczają się w wodzie i nadają jej, zależnie od swojego charakteru chemicznego, odczyn kwaśny lub zasadowy. Rezultaty należy porównać z danymi zaprezentowanymi w Tabeli 3. Alternatywnie umieszcza się nad probówką zwilżony wodą papierek wskaźnikowy.

Badanie rozpuszczalności tworzywa

W probówce napełnionej ok. 5 cm³ rozpuszczalnika umieszcza się niewielką ilość polimeru i wstrząsa przez kilkanaście minut. W tym czasie obserwuje się zachowanie badanego polimeru, określa się czy nastąpiło jego rozpuszczenie całkowite, częściowe czy też polimer w ogóle nie ulega rozpuszczeniu. W przypadku rozpuszczenia częściowego lub pęcznienia polimeru można przeprowadzić próbę rozpuszczalności na gorąco. W tym celu polimer umieszcza się w kolbie o pojemności 20 cm³, zaopatrzonej w chłodnicę zwrotną, dodaje się rozpuszczalnika i ogrzewa w łaźni wodnej w ciągu 30 minut.

Obserwacje rozpuszczalności danego polimeru w różnych rozpuszczalnikach pozwalają określić rodzaj polimeru na podstawie Tabeli 4.

5. Opracowanie wyników

a) W sprawozdaniu należy przedstawić cel, scharakteryzować badane próbki i opisać szczegółowo wszystkie czynności wykonane w celu identyfikacji tworzywa. Wyniki

badania przedstawić w tabelach.

- b) Dla zidentyfikowanych polimerów podstawowych podać pełne nazwy oraz oznaczenie/kod, a także zaprezentować wzory strukturalne.
- c) Jeden wybrany polimer scharakteryzować dokładnie w przygotowywanym raporcie (ustalić z prowadzącym).

Literatura

- [1] J.F. Rabek, *Współczesna wiedza o polimerach. Wybrane zagadnienia*. PWN, Warszawa 2008.
- [2] K. Borkowski, *Przemysł tworzyw sztucznych – materiałów XXI wieku*, Mechanik 4/2015.
- [3] Raport Plastic Europe 2021 dotyczący produkcji, użycia oraz recyklingu tworzyw sztucznych w 2020 r., dostępny na stronie: <https://plasticseurope.org/pl/wp-content/uploads/sites/7/2022/01/tworzywa-fakty2021.pdf>.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3.09.2014 r. w sprawie wzorów oznakowania opakowań.

A także:

Opracowanie zbiorowe pod redakcją R. Sikory, *Tworzywa polimerowe – ćwiczenia laboratoryjne*, Politechnika Lubelska, Wydawnictwa Uczelniane 2002.

T. Broniewski, J. Kapko, W. Płaczek, J. Thomalla, *Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych*, Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa 2000.

J. Pielichowski, A. Puszyński, *Chemia polimerów*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Kraków 2004.

W. Szlezinger, *Tworzywa sztuczne – chemia, technologia wytwarzania, właściwości, przetwórstwo, zastosowanie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 1996.