WPŁYW PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI OPTYCZNE FOLII CELULOZOWYCH Z NADRUKIEM

Wanda Nowak[1], Halina Podsiadło

1. CZĘŚĆ TEORETYCZNA

1.1. POLIMERY BIODEGRADOWALNE

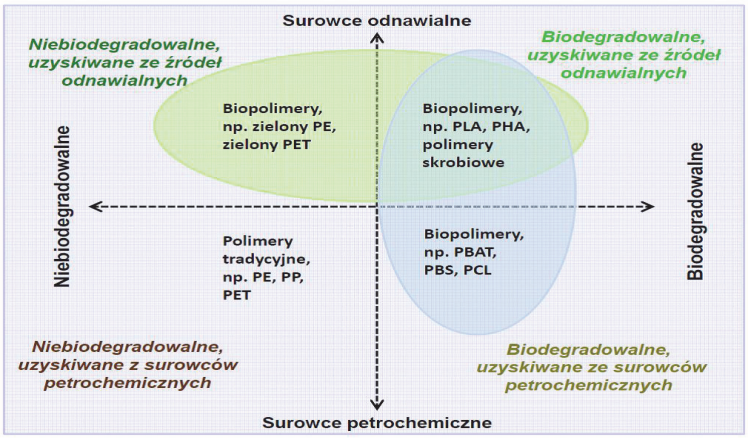
W terminologii chemicznej polimery to zbudowane z wielu prostych cząsteczek – merów – substancje chemiczne o bardzo dużej masie cząsteczkowej. Polimery naturalne są jednym z podstawowych budulców organizmów żywych [Rojek 2011].

Polimery można dzielić według różnych kryteriów, m.in. ze względu na:

- właściwości fizykochemiczne,
- źródła surowców, z których je wytworzono,
- oddziaływania nań enzymów,
- pochodzenie,
- zastosowanie [Kržan 2012, Bukowska-Śluz].

Na rysunku 1 przedstawiono podział polimerów **ze względu na źródła surowców**, z których zostały wytworzone; jest on następujący:

- pochodzące ze źródeł odnawialnych, tzn. surowce roślinne i zwierzęce,
- pochodzące ze źródeł nieodnawialnych, takich jak: ropa naftowa, gaz ziemny i węgiel kamienny [Klecan i Rymarz 1997, Kowalczuk 2003, Malinowski 2008, Bukowska-Śluz].



Rys. 1. Podział polimerów ze względu na pochodzenie [www.cobro.org.pl]

[1] Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji, Zakład Technologii Poligraficznych, e-mail: wandanowak@10g.pl

Na schemacie przedstawionym na rysunku 1 znalazły się cztery charakterystyczne grupy tworzyw polimerowych. Oś horyzontalna określa biodegradowalność tworzyw, oś wertykalna – pochodzenie, czyli surowce petrochemiczne lub surowce odnawialne. Do pierwszej grupy należą tworzywa uzyskane w wyniku polireakcji merów, pochodzące głównie ze źródeł petrochemicznych, tzw. klasyczne tworzywa sztuczne, które stanowią 90% światowej produkcji. Do drugiej grupy należą biodegradowalne tworzywa polimerowe pochodzące ze źródeł odnawialnych. Trzecią stanowią natomiast biodegradowalne tworzywa polimerowe pochodzące ze źródeł kopalnych. Czwarta grupa obejmuje niebiodegradowalne tworzywa polimerowe, pochodzące ze źródeł odnawialnych [Malinowski 2008].

Klasyczne tworzywa polimerowe uzyskiwane z ropy naftowej, tzw. tworzywa sztuczne, znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach życia. Stosunkowo niewielka gęstość większości tworzyw sztucznych powoduje, że wyroby z nich wykonane są bardzo lekkie. Ponadto większość powszechnie stosowanych tworzyw wykazuje doskonałe właściwości termo- i elektroizolacyjne. Niektóre polimery można także stosować jako przewodniki elektryczne. Polimery są odporne na działanie różnych czynników powodujących korozję wobec wielu innych materiałów [Gołębiewski i in. 2008, Malinowski 2008, Bukowska-Śluz].

Sześć klasycznych tworzyw o największym udziale rynkowym to:

- polietylen, PE,
- polipropylen, PP,
- polichlorek winylu, PVC,
- polistyren PS/spieniony polistyren, EPS,
- politereftalan etylenu, PET,
- poliuretan, PUR [Malinowski 2008, Bukowska-Śluz].

Duże znaczenie w przemyśle mają również takie tworzywa, jak:

- akrylonitryl/butadien/styren, ABS,
- poliwęglan, PC,
- polimetakrylan metylu, PMMA,
- żywice epoksydowe, EP,
- żywice fenolowo-formaldehydowe, PF,
- politetrafluoroetylen, PTFE [Bodzek 2006, Malinowski 2008, Bukowska-Śluz].

Główne rodzaje tworzyw biodegradowalnych produkowanych ze źródeł odnawialnych – w tym produkty chemicznej syntezy monomerów pochodzenia naturalnego, produkty wytworzone przez mikroorganizmy lub zmodyfikowane bakterie – to przede wszystkim:

- poli(kwas mlekowy), PLA,
- skrobia termoplastyczna, TPS oraz mieszanki skrobi z poliestrami alifatycznymi i kopoliestrami, estry skrobi, mieszanki skrobi z surowcami naturalnymi,
- poliestry pochodzenia mikrobiologicznego: polihydroksyalkaniany, PHA, w tym kopolimery kwasu masłowego, walerianowego i heksanowego, PHBV, PHBH,
- estry celulozy i celuloza regenerowana,
- drewno i inne materiały naturalne [Bodzek 2006, Gołębiewski i in. 2008, Stachurek 2012, Pogorzelska 2013, Bukowska-Śluz].

1.2. BIODEGRADACJA

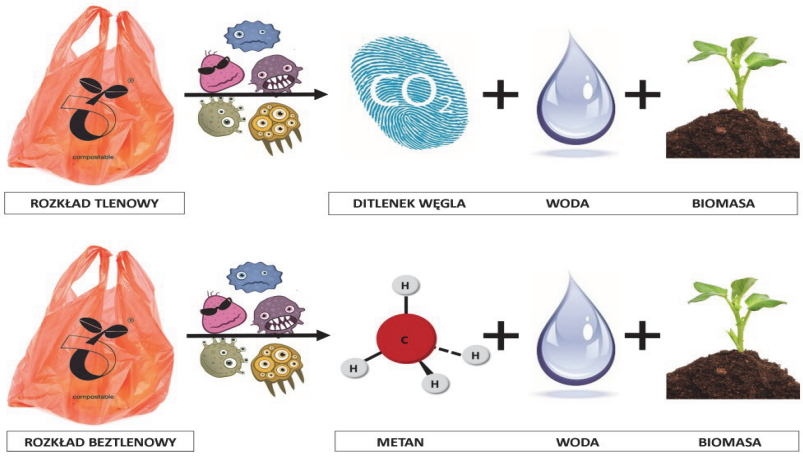
Biodegradacja, odgrywająca ważną rolę w procesie samooczyszczania, zachodzi na ogół bardzo wolno, niekiedy może trwać nawet setki lat. Zgodnie z definicją zawartą w normie [PN-EN 2005]: „biodegradacja to degradacja wywołana czynnikami biologicznymi, szczególnie działaniem enzymów, prowadząca do znacznych zmian w strukturze chemicznej materiału". Jest ona uzależniona od wielu czynników, takich jak: właściwości fizykochemiczne gleby, stężenie i struktura chemiczna zanieczyszczeń ropopochodnych, stężenie związków biogennych: azotu i fosforu, temperatura, zawartość tlenu, wilgotność, odczyn gleby, zawartość związków organicznych oraz skład ilościowy i jakościowy mikroorganizmów obecnych w glebie [Bodzek 2006, Bohdan 2010, Stachurek 2012].

Na ogół zdolność do biodegradacji jest pożądaną cechą materiałów, gdyż dzięki temu materiały te w mniejszym stopniu zanieczyszczają środowisko, ponieważ po znalezieniu się w postaci śmieci nie są składowane na wysypiskach, stopniowo natomiast rozkładają się przez wiele lat.

Biodegradacja może być:

- beztlenowa, zachodząca bez dostępu powietrza, mniej efektywna i mniej powszechna w przyrodzie, prowadząca do powstawania metanu i innych prostych węglowodorów,
- tlenowa, przy dostępie powietrza [Bohdan 2010].

Końcowe produkty biodegradacji tlenowej to ditlenek węgla i woda oraz niekiedy sole mineralne. Substancje podatne na taki rozkład nie stanowią zagrożenia dla środowiska, ponieważ CO_2, woda i sole mineralne nie są szkodliwe. Biodegradacja to proces całkowitego rozłożenia związków organicznych przez mikroorganizmy na ditlenek węgla, wodę i sole mineralne. Proces biodegradacji w warunkach tlenowych/beztlenowych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Efekty procesu biodegradacji zachodzącej w różnych warunkach [www.cobro.org.pl]

Biodegradacja, inaczej zwana degradacją biotyczną, to przede wszystkim specyficzna właściwość niektórych polimerów, z których wykonane są tworzywa. Jest to proces, w którym materiał polimerowy rozkłada się pod wpływem organizmów żywych. Mikroorganizmy, tj. bakterie, grzyby, glony, rozpoznają polimery jako źródło związków organicznych, które przetwarzają na energię potrzebną do ich życia. Pod wpływem enzymów wewnątrz- i zewnątrzkomórkowych polimer ulega reakcjom chemicznym i degraduje w procesie skracania łańcucha polimerowego, utleniania itp.

1.3. KOMPOSTOWANIE

Kompostowanie, inaczej recykling organiczny, to tlenowy proces obróbki biologicznej odpadów. Jest on prowadzony w warunkach kontrolowanych przy udziale mikroorganizmów, które czerpią energię z przekształcenia węgla w ditlenek węgla. W wyniku tego procesu uzyskuje się materię organiczną, zwaną kompostem. W związku z tym tworzywa kompostowalne stanowią podgrupę tworzyw biodegradowalnych [Żakowska 2003, 2008a, b, 2009, 2010, 2012, 2013]. Na rysunku 3 przedstawiono cykl życia tworzywa kompostowalnego.

Rys. 3. Cykl życia tworzywa kompostowalnego [imodog.pl]

Z uwagi na złożoność procedur związanych z oceną materiału pod względem biodegradacji, a następnie wykorzystania w procesie kompostowania, w Unii Europejskiej wprowadzono systemy certyfikacji oparte na wymaganiach normy EN-13432:2000. Wymagania dla opakowań kompostowalnych przewidziane w wymienionej normie to:

- badania składu chemicznego,
- badania biodegradowalności,
- badania zdolności do rozpadu w czasie obróbki biologicznej,
- badania ekotoksyczności [PN-EN 2005, PN-EN ISO 2007, Malinowski 2008, de Wilde 2009, PN-EN 2009, PN-EN ISO 2009, PN-EN 2010, Assman 2012, Pogorzelska 2013, Projekt Plastice 2013, DIN EN 13432, DIN V 54900].

Potwierdzenie zgodności z wymaganiami w tym zakresie w wielu państwach jest realizowane w formie certyfikacji.

1.4. FOLIE CELULOZOWE

Folia celulozowa potocznie nazywana jest celofanem [Bohdan 1996]. Nazwa **celofan**, właściwie „cellophane", wzięła się ze złożenia dwóch greckich słów: *kellon* – drzewo i *phaino* – być widzialnym. Przez wiele lat folia celulozowa funkcjonowała pod różnymi nazwami, jak np.: *heliozell*, *cellglass*, *rayophan*, *transparit*, *diophane*, *lozofan*, *transparit*, *cellofilm*.

Obecnie do głównych jej producentów na rynkach światowych zalicza się brytyjskie konsorcjum Innovia Films, rosyjską firmę Cellulozon, amerykański Flexel i japońską Futamora [Bohdan 1996, 2010, Czerniewski i Czerniewski 2007].

Folia celulozowa nie jest tą samą, którą otrzymuje się po procesie regeneracji, gdyż zawiera środki zapobiegające blokingowi i plastyfikatory. Do jej produkcji wykorzystuje się naturalne surowce roślinne, zawierające znaczną ilość celulozy, a więc konopie, len, trawy, jutę. Dzięki postępowi technologicznemu otrzymano wiele odmian folii celulozowych:

- przezroczyste,
- białe,
- metalizowane,
- barwione na etapie wytwarzania masy.

Folia celulozowa wykazuje lepszą sztywność niż większość tworzyw sztucznych. Właściwość ta jest szczególnie pożądana w maszynach pakujących. Ponadto ma bardzo dobrą „skrętność", co znalazło zastosowanie przy pakowaniu cukierków. Istotną cechą jest również wysoka odporność i nieprzepuszczalność tłuszczów, niska przepuszczalność gazów, w tym ditlenku węgla, tlenu, par organicznych i substancji zapachowych. Ponadto celofan umożliwia uzyskanie mocnego, trwałego zgrzewu, bez stosowania nadmiernego nacisku, nawet i na szybkich linach pakujących [Bohdan 2010].

Do bardzo interesujących rozwiązań obecnych na światowym rynku opakowaniowym należy zaliczyć najnowszy asortyment niepowlekanych folii celulozowych, NatureFlex, produkowanych przez brytyjską firmę Innovia Films.

Podczas produkcji folii NatureFlex utrzymywane są wysokie standardy dotyczące ochrony środowiska oraz wysoka jakość otrzymywanych wyrobów głównie dzięki ciągłemu prowadzeniu licznych badań i ulepszaniu ich produkcji.

Przykładowe zastosowanie folii z serii NatureFlex, to przede wszystkim (rys. 4):

- do owinięcia na tackach owoców i warzyw, produktów piekarskich, mięsa i topionych serów w czasie ich wędzenia,
- łatwo otwieralne pokrywki do opakowań termoformowalnych,
- pakowanie produktów higienicznych,
- do produkcji taśm samoprzylepnych i etykiet samoprzylepnych dla opakowań kompostowalnych,
- pakowanie produktów podgrzewanych w kuchenkach mikrofalowych,
- torebki i okienka wierzchnie,
- opakowania słodyczy,
- opakowanie podpałek do grilla,
- kolorowe opakowania dekoracyjne [Bohdan 2010].

Rys. 4. Zastosowanie folii NatureFlex
[opakowania.com.pl, tworzywa.com.pl, www.plastech.pl, www.tiii.be]

1.5. STARZENIE PROMIENIOWANIEM

Przez pojęcie **starzenia** produktu rozumie się całokształt przemian fizycznych i chemicznych zachodzących w ich strukturze, wpływających na zmianę jego właściwości oraz warunków przechowywania i użytkowania. Definicja starzenia materiału podawana jest w normie DIN 50035, w której starzenie określono jako: „ogół wszystkich zachodzących z biegiem czasu nieodwracalnych zmian chemicznych i fizycznych" [Akhavan i in. 2001, Materiały informacyjne firmy Klimatest].

Starzenie tworzyw ze względu na przyczynę można podzielić na starzenie naturalne oraz sztuczne, w zależności od źródła zjawisk powodujących proces starzenia oraz rodzaju środowiska, w którym przebiega proces starzenia [Akhavan i in. 2001, Materiały informacyjne firmy Klimatest]. Jako przyczyny starzenia podaje się czynniki zewnętrzne, czyli zmiany temperatury, wilgotności powietrza, stężenie tlenu, obecność promieniowania widzialnego, ultrafioletowego czy jonizującego, a także wpływ czynników chemicznych i wewnętrznych, które mogą być związane z przenoszeniem naprężeń, zmianami fazowymi i strukturalnymi czy zmianami składu chemicznego materiału poddanego starzeniu.

2. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiałem poddanym badaniom były trzy rodzaje folii biodegradowalnych – NatureFlex: NK oraz NVS i Cellotherm T. Dwie spośród badanych folii to materiały kompostowalne, a mianowicie NatureFlex NVS oraz NatureFlex NK, podczas gdy Cellotherm T nie wykazuje takiej właściwości.

Do wykonania nadruku wykorzystano farbę GeckoFrontalEco firmy HuberGroup, która oznaczona jest jako farba kompostowalna.

Wszystkie rodzaje folii celulozowych starzono światłem słonecznym, tzn. poprzez bezpośrednią ich ekspozycję na słońce, bez starzenia w komorze. Natężenie promieniowania słonecznego określone było na 250 $W \cdot m^{-2}$. Czas starzenia wynosił: 30, 60 i 90 h.

W celu przeprowadzenia badań:

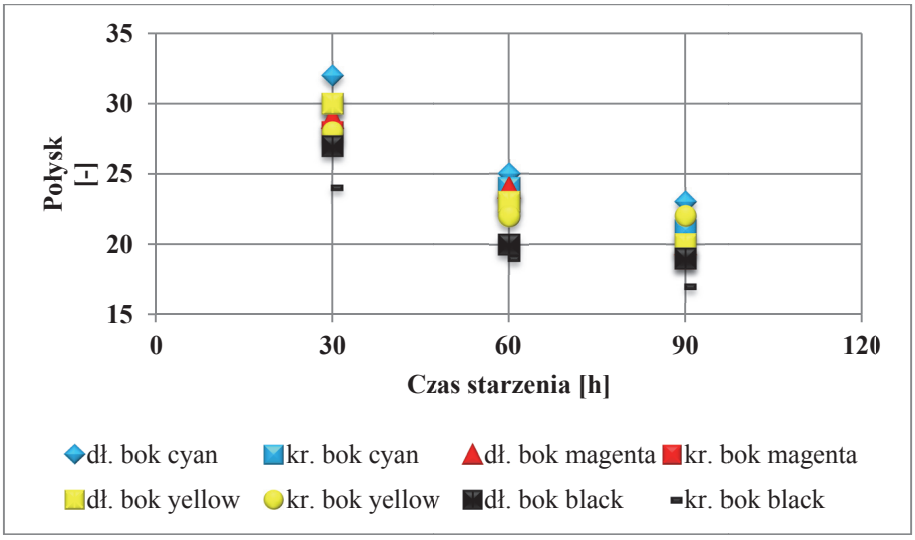
- połysku – użyto połyskomierza Picoglos 503,
- metrycznej różnicy zmiany barwy – wykorzystano spektrofotometr GretagMactbeth.

2.1. BADANIE POŁYSKU

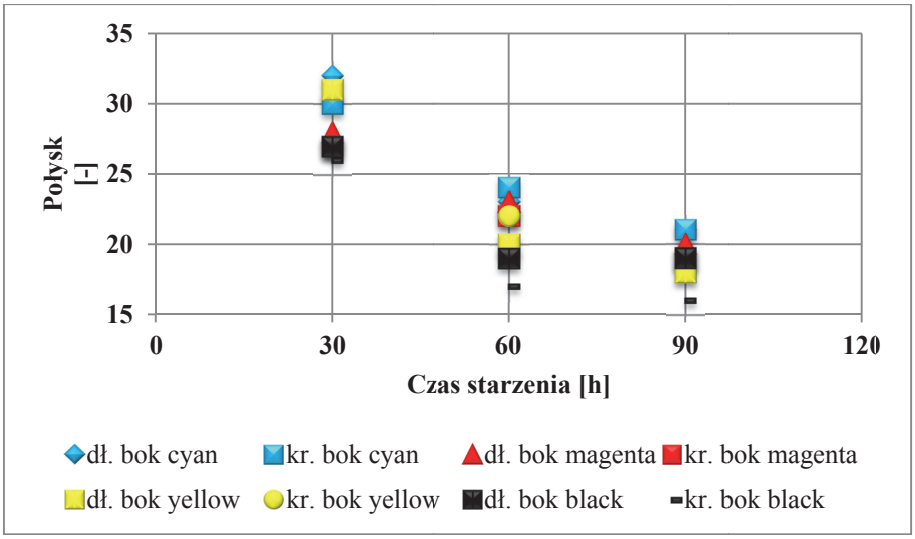
Połyskomierz jest przenośnym urządzeniem pomiarowym, które przeznaczone jest do pomiaru połysku powierzchni [Materiały informacyjne firmy Erichsen]. Zasada jego działania oparta jest na tym, iż połyskomierz emituje strumień białego, niespolaryzowanego światła pod określonym kątem, mierzonym pomiędzy prostą równoległą do strumienia światła a prostą prostopadłą do badanej powierzchni. Rozróżnia się połyskomierze o geometrii: 20°, 45°, 60°, 75°, 85°, która oznacza kąt emisji światła mierzony do badanej powierzchni.

W celu uzyskania powtarzalnych pomiarów dla materiałów o wysokim połysku stosuje się niską geometrię pomiarów, tj. 20°, a dla powierzchni o niskim połysku, matowych – wysoką geometrię, np. 85° [Materiały informacyjne firmy Erichsen].

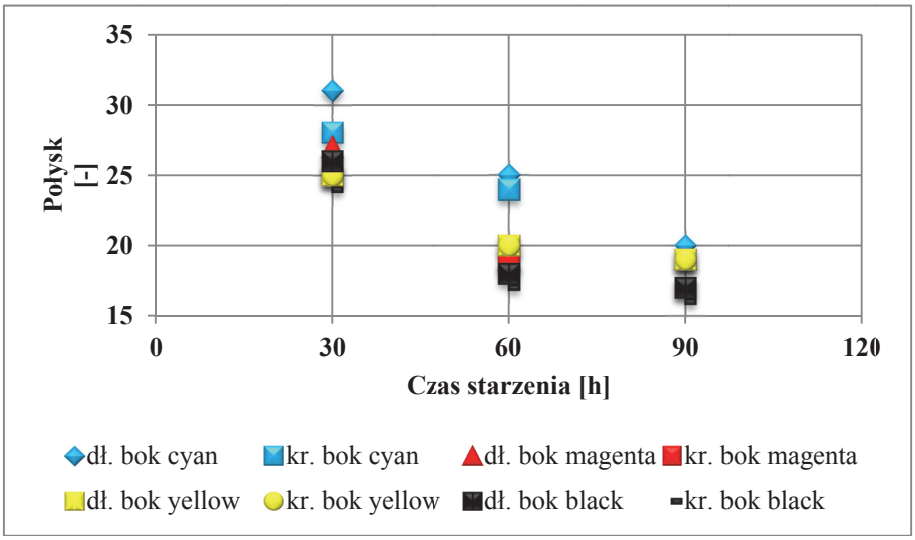
Wyniki badań połysku przestawiono na rysunkach 5-7.



Rys. 5. Wyniki badań połysku z nadrukiem wykonanym farbą kompostowalną przy natężeniu promieniowania słonecznego 250 $W \cdot m^{-2}$ dla folii NatureFlex NVS



Rys. 6. Wyniki badań połysku z nadrukiem wykonanym farbą kompostowalną przy natężeniu promieniowania słonecznego 250 W·m^{-2} dla folii NatureFlex NK



Rys. 7. Wyniki badań połysku z nadrukiem wykonanym farbą kompostowalną przy natężeniu promieniowania słonecznego 250 W·m^{-2} dla folii Cellotherm T

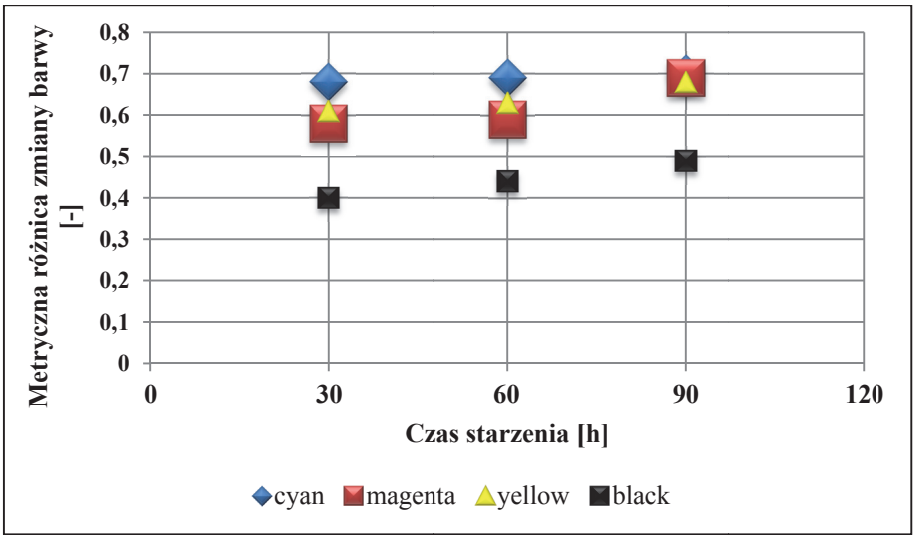
2.2. BADANIE METRYCZNEJ RÓŻNICY ZMIANY BARWY

Spektrofotometr to narzędzie do analizy fizycznej, które dostarcza informacji o całym widmie w zakresie widzialnym. Umożliwia pomiar metameryzmu, siły barwienia oraz analizy szerokiego wachlarza typu próbek [Kikolski i in. 2005, www.letrabit.pl].

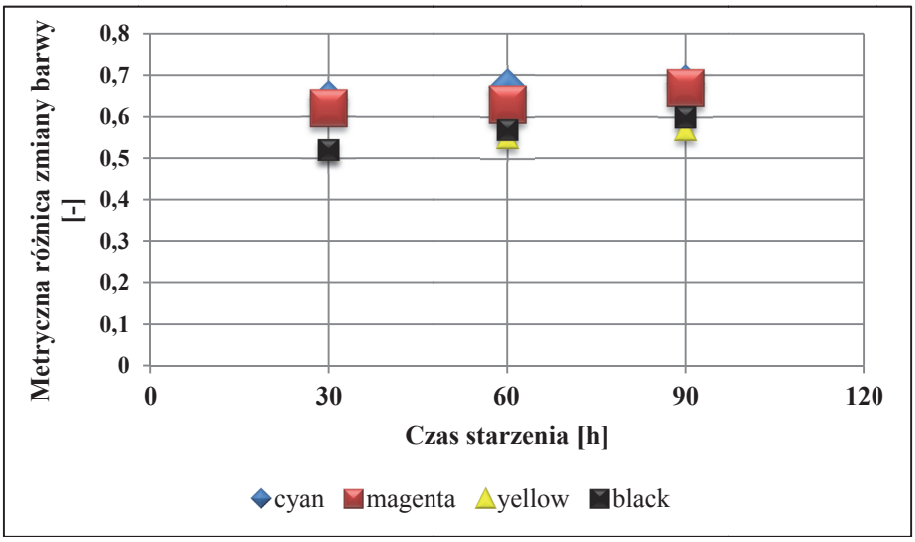
Efekt pomiaru wykonanego za pomocą spektrofotometru to zestaw liczb, opisujących widmo mierzonego światła. Liczby są następnie przeliczane na wartości L*, a*, b*,

ale oprogramowanie spektrofotometru zwykle pozwala zachować także wartości spektralne ze względu na ich przydatność. Za pomocą odpowiedniego oprogramowania dane mogą być konwertowane dla programów typu Excel i tam, zgodnie z potrzebą, odpowiednio obrabiane.

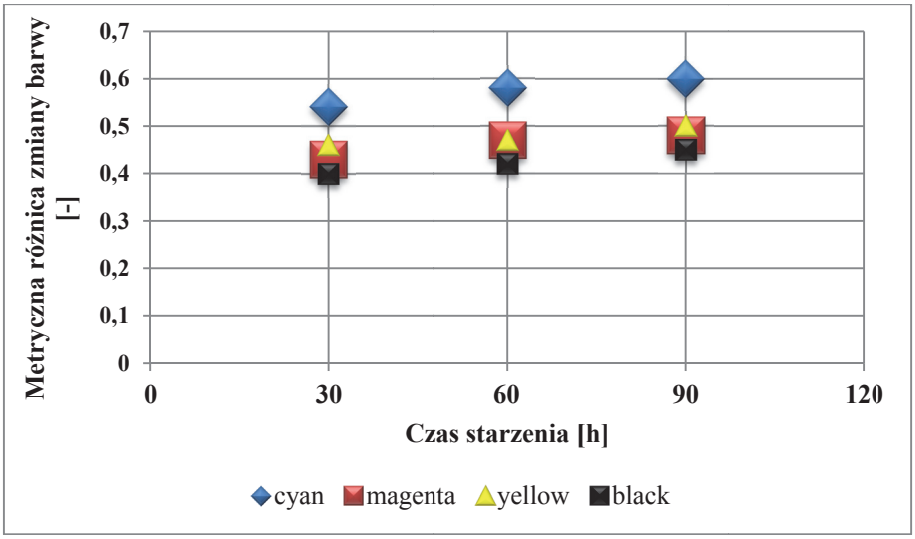
Wyniki badań metrycznej różnicy zmiany barwy przedstawione są na rysunkach 8-10.



Rys. 8. Metryczna różnica zmiany barwy z nadrukiem wykonanym farbą kompostowalną przy natężeniu promieniowania słonecznego 250 W·m^{-2} dla folii NatureFlex NVS



Rys. 9. Metryczna różnica zmiany barwy z nadrukiem wykonanym farbą kompostowalną przy natężeniu promieniowania słonecznego 250 W·m^{-2} dla folii NatureFlex NK



Rys. 10. Metryczna różnica zmiany barwy z nadrukiem wykonanym farbą kompostowalną przy natężeniu promieniowania słonecznego 250 $W \cdot m^{-2}$ dla folii CellothermT

3. WNIOSKI

1. Badanie połysku:
   - największy połysk wykazuje folia NatureFlex NVS, natomiast najmniejszy – CellothermT,
   - największą wartość połysku zaobserwowano dla barwy cyan, natomiast najmniejszą – dla barwy black. Właściwość tę wykazują wszystkie folie.
2. Metryczna różnica zmiany barwy:
   - największą zmianę barwy wykazuje folia NatureFlex NVS, natomiast najmniejszą – CellothermT,
   - największą zmianę barwy zaobserwowano dla barwy cyan, natomiast najmniejszą – dla barwy black (folie: NatureFlex NVS i CellothermT) oraz yellow (folia NatureFlex NK).

LITERATURA

Akhavan J. i in., 2001. Effect of UV and thermal radiation on poly NIMMO. Polymer 42.

Assman K., 2012. Metody badań tworzyw biodegradowalnych w procesie kompostowania. [W:] Odpady i opakowania – nowe regulacje i obowiązki. Praktyczny poradnik dla wytwórców i odbiorców odpadów i opakowań, t. I, Wyd. Forum Poznań.

Bodzek M., 2006. Materiały biodegradowalne stosowane w przemyśle opakowaniowym. Przetwórstwo Tworzyw 5, 158.

Bohdan M., 1996. Folie z celulozy regenerowanej. Naturalny wybór. Opakowanie 10, 45-50.

Bohdan M., 2010. Kierunki rozwojowe materiałów i opakowań giętkich (cz. 2). Przegląd Piekarski i Cukierniczy 10, 62-64.

Bukowska-Śluz I., Polimery biodegradowalne – nowa generacja materiałów polimerowych, http://www.rsi2004.lubelskie.pl/doc/sty7/art/Bukowska_Sluz_Izabela_art.pdf (dostęp: 13.02.2017).

Czerniewski B., Czerniewski J., 2007. Krótka historia celofanu. Plastic Review 6.

de Wilde B., 2009. Biodegradability – compostability: tests and certification. Practical use of compostable packaging. II Konferencja Naukowo-Techniczna Przyszłość opakowań biodegradowalnych, Warszawa.

DIN EN 13432: Wymagania dotyczące opakowań przydatnych do odzysku przez kompostowanie i biodegradację. Program badań i kryteria oceny do ostatecznej akceptacji opakowań.

DIN V 54900: Badanie kompostowalności tworzyw sztucznych.

Gołębiewski J., Gibas E., Malinowski R., 2008. Wybrane polimery biodegradowalne – otrzymywanie, właściwości, zastosowanie. Polimery 11-12, 799-807.

Kikolski P., Dłuska-Smolik E., Bolińska A., 2005. Metodyka oceny biodegradowalności polimerów opakowaniowych w badaniu ich przydatności do odzysku organicznego w wyniku kompostowania. Polimery 3, 208-212.

Klecan T., Rymarz G., 1997. Tendencje rozwojowe w dziedzinie nowych materiałów polimerowych do produkcji folii. Przetwórstwo Tworzyw Sztucznych 8.

Kowalczuk M., 2003. Polimery biodegradowalne. Plastic Review 4, 48.

Kržan A., 2012. Biodegradowalne polimery i tworzywa, http://www.plastice.org/fileadmin/files/PL_Biorazgradljiva_plastika_in_polimeri_Krzan.pdf (dostęp: 03.03.2017).

Malinowski R., 2008. Polimery biodegradowalne. Teka Kom. Bud. Ekspl. Masz. Elektrotech. Bud. OL PAN, 103-106, http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TBud2/Malinowski.pdf (dostęp:18.02.2017).

Materiały informacyjne firmy Erichsen, https://www.erichsen.de/surfacetesting/gloss/gloss-meter-picogloss-503 (dostęp: 13.02.2017).

Materiały informacyjne firmy Klimatest, http://datasheets.globalspec.com/ds/5004/AtlasMaterialTestingTechnology/1FC1C58E-12DA-4022-B644-0A117CE5DB98 (dostęp: 28.01.2017).

PN-EN 13432:2002: Opakowania. Wymagania dotyczące opakowań przydatnych do odzysku przez kompostowanie i biodegradację. Program badań i kryteria oceny do ostatecznej akceptacji opakowań biodegradacja.

PN-EN 14046:2005: Opakowania. Ocena ostatecznej biodegradowalności w warunkach tlenowych i rozkładu materiałów opakowaniowych w określonych warunkach kompostowania. Metoda analizy uwolnionego ditlenku węgla.

PN-EN 14806:2010: Opakowania. Ocena wstępna rozpadu materiałów opakowaniowych w symulowanych warunkach kompostowania w badaniach w skali laboratoryjnej.

PN-EN 14995:2009: Tworzywa sztuczne. Ocena zdolności do kompostowania. Program badania i specyfikacja.

PN-EN ISO 14855-1:2009: Oznaczanie całkowitej biodegradacji tlenowej tworzyw sztucznych w kontrolowanych warunkach kompostowania. Metoda pomiaru wydzielonego ditlenku węgla. Część 1: Metoda ogólna.

PN-EN ISO 20200:2007: Tworzywa sztuczne. Oznaczanie stopnia rozpadu tworzyw sztucznych w symulowanych warunkach kompostowania w skali laboratoryjnej.

Pogorzelska Z., 2013. Bezpieczeństwo zdrowotne materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością w świetle aktualnych przepisów. Opakowanie 4, 70-82.

Projekt Plastice, 2013. Biotworzywa szansą przyszłości. Wyd. Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Opakowań, Instytut Badawczy w Warszawie.

Rojek M., 2011. Metodologia badań diagnostycznych materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej. Scientific International Journal of the World Academy of Materials and Manufacturing Engineering 2.

Stachurek I., 2012. Problemy z biodegradacją tworzyw sztucznych w środowisku. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach 1, 74-108.

Wolna-Stypka K., 2015. Biodegradowalne poliestry jako materiały opakowaniowe dla przemysłu kosmetycznego. Rozprawa doktorska. Wyd. Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie, Zabrze.

Żakowska H., 2003. Opakowania biodegradowalne. Wyd. COBRO Warszawa.

Żakowska H., 2008a. Opakowania kompostowalne. Perspektywy rozwoju na rynku w Polsce. Opakowanie 5, 14-18.

Żakowska H., 2008b. Przykłady opakowań biodegradowalnych na polskim rynku. Projekt Cornet – opakowanie z PLA. I Konferencja Naukowo-Techniczna Przyszłość opakowań biodegradowalnych, Warszawa.

Żakowska H., 2009. Degradowalne opakowania z klasycznych tworzyw sztucznych a opakowania kompostowalne z polimerów biodegradowalnych. Opakowanie 6, 20-25.

Żakowska H., 2010. Badania materiału opakowaniowego pod kątem recyklingu organicznego-kompostowania. Opakowanie 8, 46-48.

Żakowska H., 2012. Przyszłość opakowań z biotworzyw. Przemysł opakowań w Polsce: stan, perspektywy, oferta. Wyd. Polska Izba Opakowań Warszawa.

Żakowska H., 2013. Zawartość źródeł odnawialnych w materiałach opakowaniowych. Opakowanie 4, 68-69.

http://imodog.pl/strefa-czystosci?sek=technologia (dostęp:13.03.2017).

http://opakowania.com.pl/news/naturalne-przekaski-pakowane-w-wysoko-barierowa-folie-natureflex-44484.html (dostęp: 13.01.2017).

http://tworzywa.com.pl/Wiadomo%C5%9Bci/Biodegradowalna-folia-NatureFlex%E2%84%A2-jako-opakowanie-czekolady-24733.html (dostęp: 15.01.2017).

http://www.cobro.org.pl/nip/images/stories/PORADNIK/bioplastics%20pl_internet. pdf (dostęp: 05.02.2017).

http://www.cobro.org.pl/nip/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=53 (dostęp: 14.02.2017).

http://www.letrabit.pl/jak-mierzymy-kolory/ (dostęp: 11.01.2017).

http://www.plastech.pl/wiadomosci/Nowa-folia-Innovia-Films-2095 (dostęp: 20.02.2017).

http://www.tiii.be/archives/22552 (dostęp: 04.04.2017).