

Marek BIELIŃSKI, Piotr CZYŻEWSKI

e-mail: marek.bielinski@utp.edu.pl

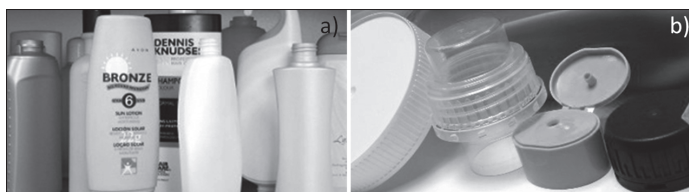
Zakład Przetwórstwa i Recyklingu Tworzyw, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Charakterystyka badań wybranych funkcji ochronnych opakowań polimerowych

Wprowadzenie

Ciągły rozwój branży opakowań polimerowych, charakteryzujący się różnorodnością geometryczną, materiałową i zastosowań, wymusza jednocześnie rozwój maszyn, urządzeń, aparatury badawczo-pomiarowej do oceny opakowań oraz oprogramowań wspomagających projektowanie. Ze względu na szereg zagrożeń, głównie środowiskowych, dotyczy to szczególnie wyznaczania funkcji ochronnych opakowań, a także metodologii prowadzenia badań, wykorzystywania najnowszych technik pomiarowych (pomiarów laserowych, video-rejestracji, systemów wizyjnych, metod nieniszczących, metody elementów skończonych) [Selke i in., 2004; Osswald i in., 2006; Bieliński i Czyżewski, 2010; Bieliński i Czyżewski, 2011; Zwick Roell, 2012].

Obecnie w świecie na wytwarzanie opakowań przeznaczają się ok. 40% całkowitej produkcji tworzyw polimerowych [Plastics – the Facts, 2011; Piecyk, 2008]. Pojemniki polimerowe należą do sztywnych opakowań, spośród których można wyróżnić butelki, kanistry, tuby, fiolki, słoje i inne. Mogą być one wykonywane techniką wtryskiwania, wtryskiwania z rozdmuchiwaniami, wytłaczania z rozdmuchiwaniami, rozciąganie z rozdmuchiwaniami, termoformowania, itp. [Selke i in., 2004; Osswald i in., 2006; Saechling, 2000]. Na rys. 1a przedstawiono przykładowe pojemniki przeznaczone do przechowywania płynnych substancji kosmetycznych, detergentów lub chemii gospodarczej charakteryzujące się różnorodnością geometryczną, materiałową i przeznaczenia.



Rys. 1. Przykłady elementów opakowań polimerowych: a) pojemniki do kosmetyków, detergentów, chemii gospodarczej itp. które są poddawane badaniom, b) zamknięcia (nakrętki, nasadka, *flip-top*) stosowanych w przemyśle kosmetycznym, chemii gospodarczej, chemii motoryzacyjnej [AKSON, 2012]

Istotnym elementem warunkującym skuteczność właściwości ochronnych opakowań są ich zamknięcia. Najczęściej stosowanymi zamknięciami (często wieloelementowe i wielomateriałowe) w opakowaniach polimerowych są nakrętki, nasadki, pokrywy, korki, wieczka, nakrętki lub nasadki z klapką tzw. *flip-top* i inne (Rys. 1b). Często w konstrukcji zamknięć stosowane są dodatkowe elementy takie jak uszczelki, płomby gwarancyjne, elementy zabezpieczające przez odkręceniem lub podrobieniem [Czerniawski i Michniewicz, 1998; Selke i in., 2004].

Charakterystyka badań pojemników polimerowych

Badania pojemników można podzielić na trzy grupy [Broniewski i in., 2000; Selke i in., 2004; Campo, 2006, Sikora, 2006]:

- badania próbek otrzymanych z materiału polimerowego; najczęściej są to próbki do badań wytrzymałościowych),
- badania próbek przygotowanych z pojemników,
- badania gotowych pojemników

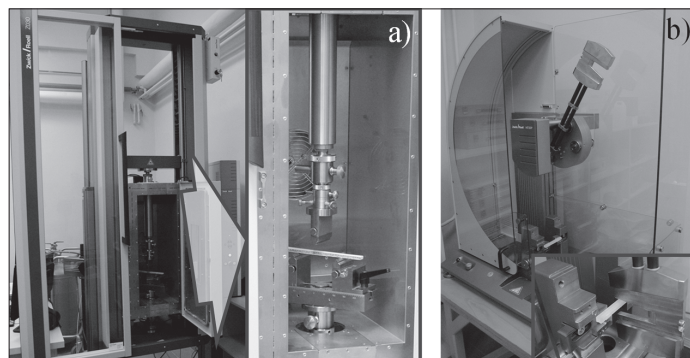
Obiekty przeznaczone do badań zostały wykonane z następujących materiałów:

- nakrętka – z polietylenu wysokiej gęstości (HDPE) *Hostalen GC7260* (gęstość 0,960 g/cm³, wskaźnik szybkości płynięcia 8 g/10 min (190°C/2,16 kg)),
- kanister – z polietylenu wysokiej gęstości (HDPE) *Hostalen ACP5331A* (gęstość 0,952 g/cm³, wskaźnik szybkości płynięcia 6,5 g/10 min (190°C/2,16 kg)).

Tworzywa stosowane w badaniach wyprodukowano w firmie *Basell Orlen Polyolefins*.

Badania próbek z materiału polimerowego (przygotowanych i przeprowadzonych wg norm) mogą obejmować badania wytrzymałościowe (rozciąganie, ściskanie, zginanie) i udarowe, a także inne specjalistyczne badania realizowane w celu oznaczenia właściwości ochronnych (np. odporność na UV, antystatyka) przeprowadzane w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych. Na rys. 2a przedstawiono uniwersalną maszynę wytrzymałościową wyposażoną w komorę termiczną, w której można przeprowadzać badania wytrzymałościowe w zakresie -80° ÷ +260°.

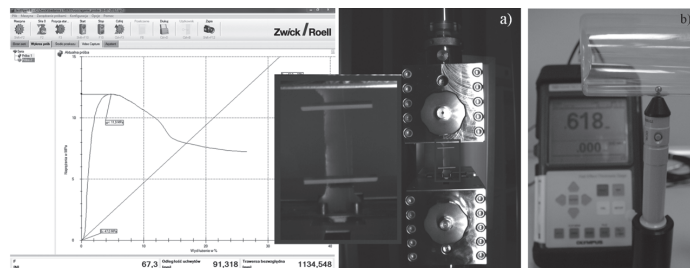
Podczas badań pojemników często istnieje potrzeba przeprowadzenia prób udarowych (metody: *Charpy'ego*, *Izoda*, udarowe rozciąganie). Odpowiednie stanowisko do przeprowadzania takich badań zaprezentowano na rys. 2b.



Rys. 2. Aparatura firmy Zwick/Roell stosowana do badań wytrzymałościowych i udarowych materiałów polimerowych w UTP Bydgoszcz: a) uniwersalna maszyna wytrzymałościowa Z030 z komorą termiczną (w powiększeniu próbka poddana 3-punktowemu zginaniu w komorze termicznej), b) uniwersalne stanowisko do badań udarowych HIT50P (w powiększeniu próbka poddana badaniu)

Pojemniki badane są również pod kątem barierowości, starzenia, ścieralności, twardości, tarcia, skurezu, wpływu środowiska, właściwości termicznych, optycznych i inne [Selke i in., 2004; Campo, 2006; Osswald i in., 2006]

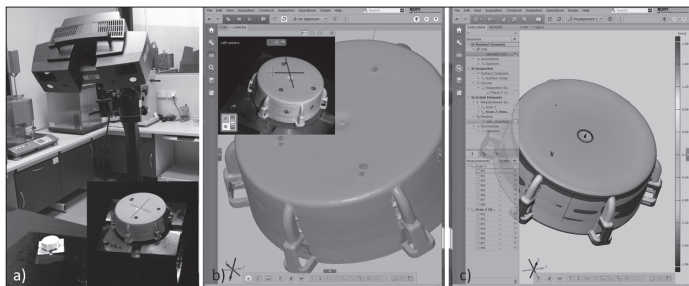
Przygotowanie próbek z gotowych pojemników jest złożone ze względu na konieczność zapewnienia powtarzalności badań. Często do wyznaczenia właściwości użytkowych wykorzystywane są najnowsze osiągnięcia techniki pomiarowej. Przykładem jest zastosowanie systemu *VideoXtens* firmy Zwick/Roell (Rys. 3a) w badaniach wytrzymałościowych próbek wyciętych z newralgicznych części pojemnika (np. zgrzeiny dna pojemnika) do przechowywania płynnych substancji chemicznych.



Rys. 3. Systemy do badań pojemników stosowane w UTP Bydgoszcz: a) system *VideoXtens* firmy Zwick/Roell do badań wytrzymałościowych (powiększenie przedstawia próbkę z oznaczonymi paskami cechującymi), b) badanie rozkładu grubości ścianki w pojemniku za pomocą precyzyjnego grubościomierza *Magna-Mike® 8500* firmy OLYMPUS

Opakowania (pojemnik/nakrętka), również z zawartością, podlegają badaniom związanym z ich eksploatacją (badania siły zamykania i otwierania zamknięcia, badanie nakręcania i odkręcania nakrętki), badaniom szczelności (badania na stanowisku laboratoryjnym lub w komorze podciśnieniowej), badaniom środowiskowym, badaniom podczas transportu, magazynowania i eksploatacji (np. badania w komorze klimatycznej, badanie sztaplowania), badaniom odporności na uderzenia, upuszczenia lub przewrócenia [Piecyk, 2008].

Część badań stanowią badania nieniszczące. Przykładem może być pomiar rozkładu grubości ścianki w pojemniku (Rys. 3b) grubościomierzem *Magna-Mike*® 8500 firmy *OLYMPUS*. Do nowoczesnych badań pojemników można zaliczyć metody bezkontaktowe z użyciem skanera 3D. Na rys. 4 przedstawiono wykorzystanie mobilnego systemu *ATOS II Triple Scan* firmy *GOM* do oceny deformacji w nakrętkach opakowań polimerowych. System ten oparty jest na metodzie triangulacji optycznej. Ze względu na duże wymiary pojemnika (kanister 25 L) połączenie gwintowe (nakrętka i szyjka) zostało wycięte z całego pojemnika. Badana nakrętka została pokryta preparatem, który niweluje zjawisko odbijania promienia lasera oraz dodatkowo nałożono punkty referencyjne (Rys. 4a), które określają pozycję zeskanowanego modelu w przestrzeni oprogramowania *GOM Inspect Professional V7.5* (Rys. 4b). Zeskanowane powierzchnie nakrętki porównano z zadanym modelem odniesienia (odchyłki prezentowane są w postaci barwnych map) w celu określenia deformacji po nakręceniu zamknięcia na szyjce kanistra z określonym momentem dokręcającym (Rys. 4c). Opisany system dobrze obrazuje zjawisko deformacji pojemników spowodowane działaniem obciążeń zewnętrznych lub ciśnienia wewnętrznego. Podczas badań nakrętek wykonanych z tworzywa HDPE *HOSTALEN GC7260* o średnicy $\varnothing 52$ mm uzyskano maksymalną wartość deformacji dna nakrętki równą 2,5 mm [Bieliński i Czyżewski, 2010].

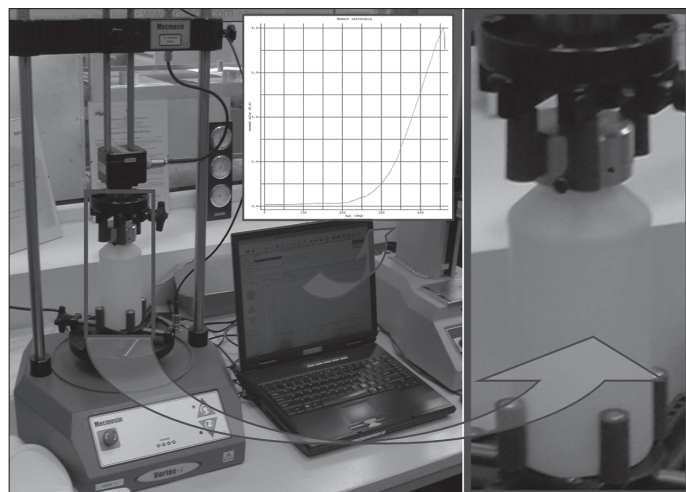


Rys. 4. Wykorzystanie skanera 3D do badań deformacji polimerowych nakrętek pojemników w UTP Bydgoszcz: a) stanowisko do skanowania (skaner *ATOS II Triple Scan* firmy *GOM* i obiekt skanowany), b) widok przestrzeni roboczej oprogramowania *GOM Inspect Professional V7.5*, c) porównanie wyników skanowania z modelem geometrycznym

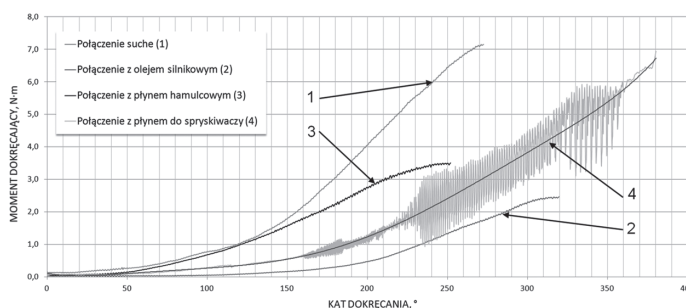
Badania funkcji użytkowych

Przykładowe badania funkcji użytkowych polegało na sprawdzeniu wpływu rodzaju przechowywanych produktów chemii motoryzacyjnej na moment dokręcający oraz kąt obrotu nakrętki (konstrukcja z wkładką uszczelniającą) podczas nakręcania. Pomiary zostały przeprowadzone na stanowisku do badania połączeń gwintowych opakowań z systemem *Vortex-i* (maksymalny moment dokręcający 10 Nm) firmy *Mecmesin* (Rys. 5). Podczas badania na nakrętkę nałożono dopasowaną nasadkę niwelującą problem poślizgu pomiędzy zamknięciem a uchwytem mocującym, które może pojawiać się przy dużych wartościach momentu dokręcającego. Badane połączenia gwintowe o średnicy 38 mm nakręcane były z prędkością 20 obr/min.

Wykorzystanie zautomatyzowanego systemu do badania połączeń gwintowych zapewnia powtarzalne parametry nakręcania, co jest trudne do osiągnięcia w przypadku korzystania z narzędzi ręcznych. Pomiary przeprowadzono na połączeniu suchym będącym odniesieniem w stosunku do połączeń zwilżonych na powierzchni gwintu olejem silnikowym, płynem hamulcowym i płynem do spryskiwaczy. Na rys. 6 przedstawiono zależności między momentem dokręcającym a kątem obrotu nakrętki podczas nakręcania dla czterech badanych stanów w połączeniach gwintowych.



Rys. 5. Stanowisko do badania połączeń gwintowych pojemników z systemem *Vortex-i* firmy *Mecmesin* (w powiększeniu przykładowa rejestracja nakręcania oraz badany pojemnik [AKSON, 2012])



Rys. 6. Wpływ płynów chemii motoryzacyjnej na moment dokręcający i kąt obrotu nakrętki podczas nakręcania dla połączeń gwintowych pojemnika polimerowego

Maksymalną wartość momentu dokręcającego otrzymano dla połączenia suchego i połączenia z płynem do spryskiwaczy.

W przypadku połączeń z płynem hamulcowym i olejem silnikowym zaobserwowano znaczny spadek momentu dokręcającego spowodowany obniżeniem współczynnika tarcia.

W przypadku połączenia gwintowego z płynem do spryskiwaczy zaobserwowano zjawisko znacznych wahań wartości momentu dokręcającego z tendencją wzrostową prezentowaną przez nałożoną linię trendu. Jest to często przyczyną występowania pęknięcia nakrętki, które potwierdzono m.in. w badaniach opisanych w pracy [Bieliński i Czyżewski, 2011].

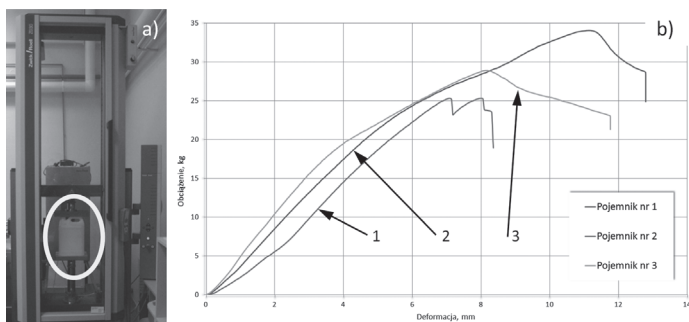
W przypadku płynu do spryskiwaczy otrzymano znacznie większy kąt obrotu nakrętki podczas nakręcania (ok. 100°) co daje przemieszczenie w osi pionowej ok. 0,8 mm (przy grubości uszczelnienia polietylenowego równej 1,5 mm). Przyjmując, że wartość momentu dokręcającego i przemieszczenia kąowego dla połączenia suchego są wartościami granicznymi, powstałe naprężenia powodują znaczne odkształcenia nakrętki (deformacje dna zamknięcia), co stwarza warunki do zniszczenia nakrętki.

Badania wskazują na potrzebę odpowiedniego doboru geometrii połączenia gwintowego, wkładki uszczelniającej oraz parametrów zamykania, aby opakowanie mogło spełniać założone funkcje.

W kolejnych badaniach porównano trzy pojemniki (kanistry) stosowane do ochrony/transportu chemii motoryzacyjnej. Pojemniki wykonane zostały techniką wytłaczania z rodmuchiowaniem z HDPE, posiadały jednakową pojemność (4L) i masę oraz zbliżone wymiary (ok. 30 cm × 20 cm × 14 cm). Różnice dotyczyły cech konstrukcyjnych i polegały na występowaniu w wybranych częściach pojemnika różnych promieni, pochyleń i kątów (cech geometrycznych), które mogą mieć wpływ na wartości przenoszonego obciążenia ściskającego.

Celem badań było wyznaczenie maksymalnego dopuszczalnego obciążenia, jakie działać może na pojemnik podczas ściskania oraz wyznaczenie wartości deformacji (pojawienie się odkształceń) występują-

cej przy tym obciążeniu. Badanie zostało przeprowadzone na maszynie wytrzymałościowej Z030 firmy Zwick/Roell (Rys. 7a). Podczas badań zaprojektowano i wykonano dodatkowy przyrząd pozwalający na przeprowadzenie takiego eksperymentu. Z wartości przedstawionych na wykresie (Rys. 7b) wynika, że w przypadku odpowiednio zaprojektowanego pojemnika (wykres nr 2) uzyskano o prawie 9 kg większe obciążenie dopuszczalne niż w przypadku pojemnika nr 1. Otrzymane wyniki można wykorzystać podczas ustalania liczby ułożonych na sobie pojemników na palecie podczas transportu. W przypadku stosowania pojemnika o geometrii nr 2 można przyjąć, że podczas transportu można ułożyć dodatkowe dwie warstwy wypełnionych pojemników.

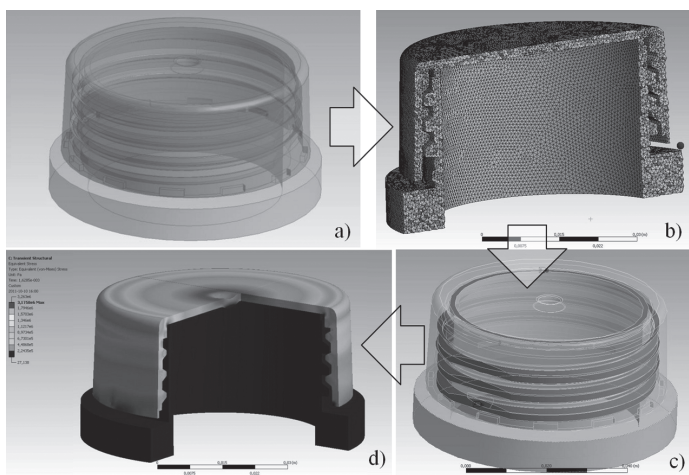


Rys. 7. Badanie wytrzymałości na ściskanie pojemników o trzech różnych geometriach przeznaczonych do transportu płynów chemii motoryzacyjnej (UTP Bydgoszcz): a) badanie na maszynie wytrzymałościowej (w zaznaczeniu badany pojemnik), b) przykładowe wyniki obciążenia dla badanych pojemników

Komputerowe wspomaganie badań pojemników polimerowych

Do badań pojemników często stosuje się narzędzia CAE. Przeprowadzenie badań i/lub symulacji (ANSYS, Abacus, Cadmould, Polyflow) na etapie projektowania opakowania pozwala wykluczyć generowanie dodatkowych kosztów związanych z poprawianiem, a czasem wykonywaniem na nowo narzędzi przetwórczych.

Poszczególne kroki postępowania podczas stosowania narzędzi CAE na przykładzie oprogramowania ANSYS w badaniach połączeń gwintowych pojemników polimerowych pokazano na rys. 8. W pierwszej kolejności upraszcza się model geometryczny połączenia gwintowego,



Rys. 8. Poszczególne etapy symulacji nakręcania w połączeniu gwintowym kanister-nakrętka w środowisku Ansys (pod uwagę brane są tylko naprężenia w nakrętce): a) uproszczona geometria modelu połączenia gwintowego, b) wygenerowana siatka obliczeniowa, c) zdefiniowane obszary kontaktu pomiędzy elementami połączenia gwintowego, d) wyniki symulacji w postaci naprężeń zredukowanych powstających w nakrętce

aby usunąć wybrane elementy poszczególnych cech geometrycznych, które nie mają wpływu na wyniki symulacji a mogą dodatkowo wydłużyć czas obliczeń (Rys. 8a).

Następnie generowana jest siatka obliczeniowa dla poszczególnych elementów połączenia (Rys. 8b).

Kolejny krok to definiowanie kontaktów pomiędzy elementami połączenia, które określają ruch elementów względem siebie (Rys. 8c).

Wyniki obliczeń otrzymuje się w postaci np. naprężenia zredukowanego przy kolejnych stopniach dokręcenia (w tym przypadku dotyczy to tylko nakrętki). Na podstawie symulacji można określić maksymalne naprężenia jakie występują w niewrażliwych miejscach połączenia gwintowego tzn. w miejscach najbardziej narażonych na tworzenie się pęknięcia (Rys. 8d).

Podsumowanie

Rozwój branży opakowań polimerowych związany jest z ciągłą koniecznością magazynowania i transportowania różnorodnych produktów.

Rozwój opakowań polimerowych wymusza potrzebę badania wzajemnego oddziaływania między opakowaniem, zawartością i otoczeniem.

Badania prowadzone nad zastosowaniem nowych materiałów w branży opakowaniowej, doskonalenie techniki pomiarowej, badania nad oceną i zmniejszaniem uciążliwości opakowań dla środowiska, a także planowanie rozwoju opakowań stanowią złożony obszar, w którym w wielu ośrodkach krajowych i zagranicznych realizowane są prace badawcze.

W pracy opisano wybraną część badań polegających na wyznaczeniu charakterystyk użytkowych, w tym szczególnie ochronnych, realizowanych we współpracy z kilkoma producentami opakowań polimerowych.

LITERATURA

- AKSON Sp. z o.o., 2012 – producent form wtryskowych i rozdmuchowych dla przemysłu opakowaniowego (07.2012): <http://www.akson.eu>
- Bieliński M., Czyżewski P., 2010. *The influence of bottom wall thickness on non-dilatational strain of a plastic screw cap*. 14th International Conference on Polymeric Materials, September 15-17, Halle (Saale), Germany
- Bieliński M., Czyżewski P., 2011. *The assessment of plastic packaging performance*. TECHNOMER, 22. Fachtagung über Verarbeitung und Anwendung von Polymeren 10-12 November 2011, Chemnitz, Deutschland.
- Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J. *Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych*. WNT, Warszawa 2000
- Campo E.A., 2006. *The Complete Part Design Handbook*. Hanser Publisher, Munich
- Czerniawski B., Michniewicz J., (Red.), 1998. *Opakowania żywności*. Agro Food Technology, Czeladź
- Osswald T., Baur E., Brickmann S., Oberbach K., Schmachtenberg E., 2006. *International Plastics Handbook*. Hanser Publisher, Munich
- Piecyk L., 2008. *Badanie materiałów opakowaniowych i opakowań*. *Opakowanie*, nr 1, 43-46
- Plastics – the Facts, 2011. *An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2010* (07.2012): http://www.plasticseurope.org/documents/document/20111107101127-final_pe_factsfigures_uk2011_lr_041111.pdf
- Saechtling H., 2000. *Tworzywa Sztuczne. Poradnik*. WNT Warszawa
- Selke S., Culter J., Hernandez R., 2004. *Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications and Regulation*. Hanser Publisher, Munich
- Sikora R., (Red.), 2006. *Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne*. Wyd. Pol. Lubelskiej, Lublin
- Zwick Roell, 2012 – Zwick GmbH & Co. KG – suppliers of materials and component testing systems (07. 2012): <http://www.zwick.de>