

EWA KOWALSKA^{*)}, LONGINA KUCZYŃSKA, ZBIGNIEW WIELGOSZ, MAŁGORZATA CHOROŚ

Instytut Chemii Przemysłowej im. Prof. I. Mościckiego
ul. Rydygiera 8, 01-793 Warszawa

Wykorzystanie rozwłóknionych odpadów wielowarstwowych laminowanych kartonów do płynnej żywności jako napełniaczy polietylenu

Streszczenie — Na podstawie danych z literatury omówiono aktualne możliwości wykorzystania odpadowych wielowarstwowych opakowań kartonowych do płynnej żywności (np. po mleku lub sokach) jako źródła włóknistych napełniaczy celulozowych w kompozytach z udziałem polimerów termoplastycznych. Przedstawiono własną metodę rozwłókniania takich odpadów, której produkt zastosowano w charakterze napełniacza w kompozytach polietylenowych. Określono wpływ rodzaju polietylenu (PE-HD, PE-LD, aglomerat PE-LD z folii opakowaniowej, odpady PE-LD z produkcji kabli) oraz zawartości uzyskiwanych włókien celulozowych (do 48 % mas., co odpowiada 64,5 % mas. wyjściowych odpadowych kartonów) na właściwości mechaniczne kompozytów. Otrzymane kompozyty charakteryzują się znaczną sztywnością, twardością oraz dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi i akustycznymi w połączeniu z estetycznym wyglądem powierzchni, można je więc stosować na różnorodne wyroby codziennego użytku (doniczki, wiadra, pojemniki na śmieci, meble ogrodowe itd.).

Słowa kluczowe: wielowarstwowe kartony do płynnej żywności, odpady celulozowe, napełniacze włókniste, polietylen, kompozyty, właściwości mechaniczne.

THE UTILISATION OF WASTE OF DEFIBERED LAMINATED MULTI-PLY BOARDS FOR LIQUID FOOD AS THE FILLERS FOR POLYETHYLENE

Summary — On the basis of literature data the present possibilities to use the waste of multi-ply board packages for liquid food (e.g. milk or juice) as the source of fiber cellulose fillers for thermoplastic polymers' composites have been discussed. The own method of such waste defibering was presented (Fig. 4) and its products were used as the fillers in polyethylene composites. The effects of polyethylene type (PE-HD, PE-LD, agglomerate of PE-LD packaging film, PE-LD waste from cable production) and the content of cellulose fibers (up to 48 wt. % what corresponds to 64.5 wt. % of waste boards) on the mechanical properties of the composites (Table 1—5, Fig. 7—13). The composites obtained show significant stiffness and hardness as well as good tensile and acoustic properties and simultaneously esthetic surface view. So they can be applied to produce various objects of daily use (pots, buckets, trashcans, garden furniture etc.).

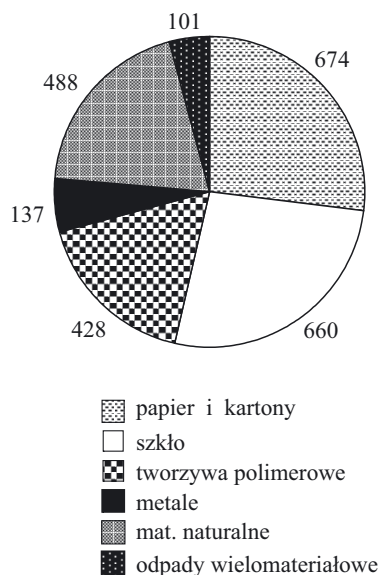
Key words: multi-ply boards for liquid food, wastes, cellulose fiber fillers, polyethylene, composites, mechanical properties.

W Polsce, podobnie jak w wielu innych krajach, obserwuje się ciągle proces zanieczyszczania środowiska naturalnego odpadami poprodukcyjnymi i poużytkowymi, w związku z czym problem powtórnego ich wykorzystania jest tematem szeroko dyskutowanym na forum publicznym (np. [1]).

Wśród odpadów komunalnych duży udział przypada na opakowania. Ilość odpadów opakowaniowych powstających w Polsce ilustruje rys. 1 [2]. Zatem, stanowiące przedmiot niniejszego artykułu wielowarstwowe laminowane kartony do mleka, soków i innej płynnej

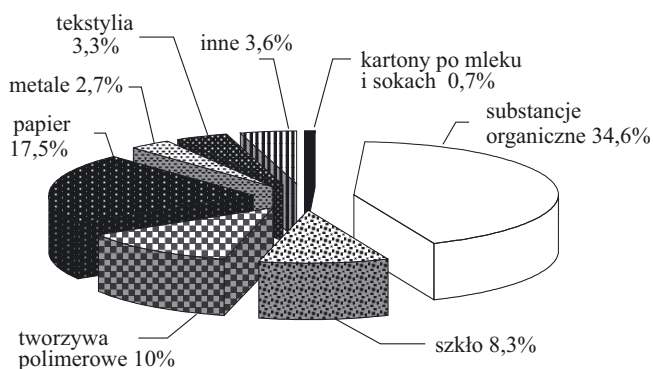
żywności (tzw. Tetra Paki) to niemal 1 % wszystkich odpadów komunalnych (rys. 2) [3]. Składają się one w 75 % mas. z papieru, a ponadto obejmują 20 % mas. polietylenu i 5 % mas. folii aluminiowej. Papier będący głównym składnikiem tych opakowań charakteryzuje się występowaniem w nim długich włókien, dzięki czemu karton jest bardzo mocny. Cienka warstwa PE chroni omawiany typ opakowań przed przepuszczaniem cieczy i gazów oraz przed mikroorganizmami, a folia Al (grubość 0,0065 mm) jest najcieńszą warstwą skutecznie zapobiegającą szkodliwemu działaniu światła i tlenu na opakowany produkt. Wielowarstwową konstrukcję kartonów do płynnej żywności przedstawiono na rys. 3 [3]. Opakowania kartonowe mają szereg cech bardzo uży-

^{*)} Autor, do którego należy kierować ewentualną korespondencję; e-mail: ewa.kowalska@ichp.pl



Rys. 1. Podział materiałowy (w tysiącach ton) odpadów opakowaniowych w Polsce [2]

Fig. 1. Material partition of package wastes in Poland (in kiloton) [2]

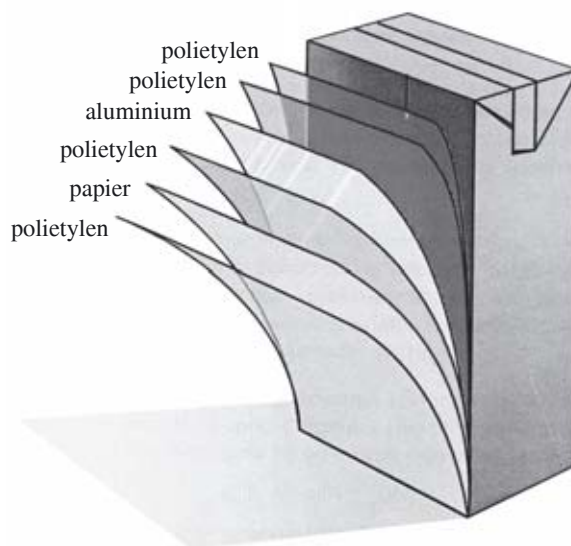


Rys. 2. Struktura odpadów komunalnych w Polsce [3]

Fig. 2. Structure of municipal wastes in Poland [3]

tecznych dla konsumenta, producenta a także obrotu handlowego, np. hermetyczność, nieprzepuszczalność światła, wysoki stopień higieny (użytek jednorazowy), lekkość, zwarta forma i związana z tym łatwość magazynowania. Ocenia się, że w UE powstaje ok. 0,9 mln t odpadów kartonów do płynnej żywności rocznie.

Wielowarstwowe opakowania kartonowe po mleku i sokach mogą zostać poddane recyklingowi na wiele sposobów. Najbardziej popularną i uzasadnioną ekonomicznie metodą zrealizowania tego procesu jest odzysk celulozy w papierni, podobnie jak odbywa się to w przypadku odzysku celulozy z makulatury [5–10]. W tym celu, po wstępnym posortowaniu, opakowania kartonowe rozdrabnia się i wprowadza do hydropulpera, gdzie zalewa się je wodą o temperaturze otoczenia i miesza przez 20 min w celu rozwłóknienia kartonu. W ten prosty sposób odzyskuje się wysokiej jakości celulozę pierwotną o długich włóknach — cenny surowiec do dalszej przeróbki na papier lub tekturę.



Rys. 3. Wielowarstwowa budowa laminowanych kartonów do mleka, soków i płynnej żywności [4]

Fig. 3. Multilayer structure of laminated multi-ply boards for milk, juices and liquid food [4]

W Polsce działa kilka zakładów przetwarzających opakowania do płynnej żywności, m.in. Fabryka Tektury SA w Bydgoszczy, Fabryka w Tarnówce, Przetwórnia w Płocku oraz firma Operat SC pod Poznaniem. W dwóch pierwszych zakładach z celulozy pochodzącej z rozwłóknionych kartonów wytwarza się takie produkty papierowe, jak tekturę o różnej gramaturze, foremki na jajka oraz opakowania do komponentów elektronicznych.

W Niemczech z kartonów po mleku i sokach produkuje się trwałe wodoodporne płyty o nazwie handlowej „Tectan” — drobno pocięte kartony są podgrzewane aż do stopienia się polietylenu, a następnie prasowane na gorąco; płyty te wykorzystuje się w branży budowlanej. Z kolei w Nowej Zelandii zużyte kartony po sokach i mleku tnie się, następnie miesza z miałem węglowym i zmielonymi butelkami PET, po czym formuje z nich brykiety opałowe o nazwie „Hot Rocks” [4].

Odpady kartonowe mają bardzo dużą wartość energetyczną, dlatego też są one poszukiwanym wsadem w spalarniach odpadów z odzyskiem energii: wartość energetyczna jednego kartonu pojemności 1000 ml pozwala na zasilanie żarówki o mocy 40 W w ciągu 1,5 h. Jednym z najlepszych sposobów utylizacji tych materiałów jest więc odzysk energii w spalarniach odpadów lub w piecach do wypalania cementu.

Odpady powstające w papierniach po oddzieleniu z kartonów celulozy mogą być również poddane recyklingowi. Mianowicie, folie aluminiowe i polietylen podlegają dalszemu przetwarzaniu — w połączeniu z innymi tworzywami termoplastycznymi są wykorzystywane do produkcji m.in. mebli ogrodowych, pojemników na odpady, kwietników dekoracyjnych bądź uchwytów na narzędzia domowe. Istnieje również technologia od-

gazowania beztlenowego (piroliza) ww. odpadów, w wyniku której odzyskuje się czyste aluminium [4].

Rozwłóknione kartony do płynnej żywności można stosować także jako napełniacz w kompozytach z tworzyw termoplastycznych. Kompozyty celulozowe pod względem niektórych właściwości są zbliżone do termoplastów wzmacnianych napełniaczami mineralnymi, a nawet włóknem szklanym. Podczas pęknięcia elementów z tych kompozytów nie powstają ostre krawędzie, co jest szczególnie ważne w przemyśle maszynowym i samochodowym [11—15]. Podstawową trudnością w ukierunkowanym na otrzymywanie napełniaczy recyklingu odpadów wielowarstwowych laminowanych kartonów są operacje ich rozdrabniania i rozwłókniania.

W Instytucie Chemii Przemysłowej, w kooperacji z Centralnym Ośrodkiem Badawczo-Rozwojowym Maszyn Włókienniczych w Łodzi, opracowano metodę rozdrabniania odpadów wielowarstwowych laminowanych kartonów do płynnej żywności [16, 17]. Następnie w IChP przeprowadzono badania możliwości zastosowania rozwłóknionych poprodukcyjnych odpadów wielowarstwowych laminowanych kartonów jako napełniaczy w kompozytach na osnowie różnych rodzajów polietylenów małej (PE-LD) oraz polietyleny dużej gęstości (PE-HD). Scharakteryzowano właściwości mechaniczne i akustyczne oraz strukturę uzyskanych kompozytów.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiały

Jako osnowę polimerową zastosowano:

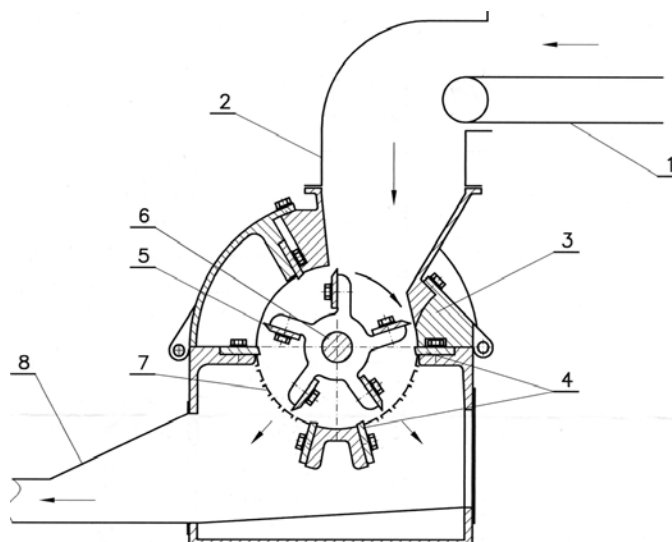
- PE-HD „Lutene-H ME 9180”, produkcji firmy LG Chemical, Niemcy;
- PE-LD „Malen E 1307C”, produkcji PKN Orlen, Płock;
- aglomerat PE-LD z folii opakowaniowej, produkcji rzemieślniczej;
- odpadowy PE-LD z produkcji kabli.

W charakterze napełniaczy użyto poprodukcyjnych odpadów wielowarstwowych laminowanych kartonów do soku (stosowanych przez firmę Hortex) i do mleka (stosowanych w Zakładach Mleczarskich, Łowicz).

Aparatura

Do otrzymywania polietylenowych kompozytów napełnianych rozwłóknionymi kartonami stosowano następującą aparaturę:

- urządzenie skonstruowane we współpracy z COBR Maszyn Włókienniczych w Łodzi specjalnie do rozwłókniania takich kartonów, przedstawione na rys. 4 [16, 17];
- linię granulacyjną składającą się z wylączarki jednoślismakowej W32Tb (produkcji firmy Metalchem, Gliwice), głowicy dwużyłowej, wanny chłodzącej i urządzenia granulującego;



Rys. 4. Schemat urządzenia do rozdrabniania odpadów kartonowych: 1 — transporter, 2 — kanał zasilający, 3 — korpus młyna, 4 — noże stałe, 5 — noże obrotowe, 6 — wał młyna, 7 — sito, 8 — kanał do pojemników odbiorczych

Fig. 4. Scheme of the shredder for laminated multi-ply boards: 1 — transporter, 2 — feeding channel, 3 — mill body, 4 — stationary cutting tools, 5 — rotary cutting tools, 6 — mill shaft, 7 — sieve, 8 — channel to the collectors

— wtryskarke „Arburg 420 M”, produkcji firmy Arburg.

Otrzymywanie kompozytów

Kompozyty otrzymywano w linii granulacyjnej w przedziale temp. 190—230 °C. Wysuszony granulat przetwarzano metodą wtryskiwania na kształtki do dalszych badań w tym samym przedziale temperatury. Procesy wytłaczania oraz wtryskiwania przebiegały prawidłowo.

Metody oceny rozdrobnionych odpadów i kompozytów

T a b e l a 1. Normy, wg których badano właściwości mechaniczne kompozytów

T a b l e 1. Standards according to which the mechanical properties of the composites were investigated

Właściwość	Jednostka	Symbol	Norma
Moduł przy rozciąganiu	MPa	E_t	PN-EN ISO 527
Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	σ_M	PN-EN ISO 527
Napężenie przy zerwaniu	MPa	σ_B	PN-EN ISO 527
Wydłużenie względne przy zerwaniu	%	ϵ_B	PN-EN ISO 527
Moduł przy zginaniu	MPa	E_f	PN-EN ISO 178
Wytrzymałość na zginanie	MPa	σ_{fM}	PN-EN ISO 178
Napężenie zginające	MPa	σ_{fc}	PN-EN ISO 178
Udarność z karbem	kJ/m ²	a_{iN}	PN-91/C-89029
Twardość Shore'a po 15 s	°Shore	HK	PN-EN ISO 868

Strukturę rozdrobnionych odpadów i kompozytów charakteryzowano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego S-3500N firmy Hitachi.

Do zbadania właściwości mechanicznych kompozytów posłużyła maszyna wytrzymałościowa „Instron 4505” firmy Instron oraz młot do badań udarności firmy Zwick, a do pomiarów ich izolacyjności akustycznej — zestaw dwumikrofonowego falowodu pomiarowego typ BK4206 firmy Bruel/Kjaer, Dania.

Badania właściwości wytrzymałościowych i twardości prowadzono zgodnie z normami przedstawionymi w tabeli 1.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Rozwłóknione odpady kartonów

Otrzymywane przez nas rozdrobnione i rozwłóknione odpady z wielowarstwowych laminowanych kartonów były jednorodne i miały postać drobnych płatków. Typowy wygląd takiego produktu, bezpośrednio po wy-



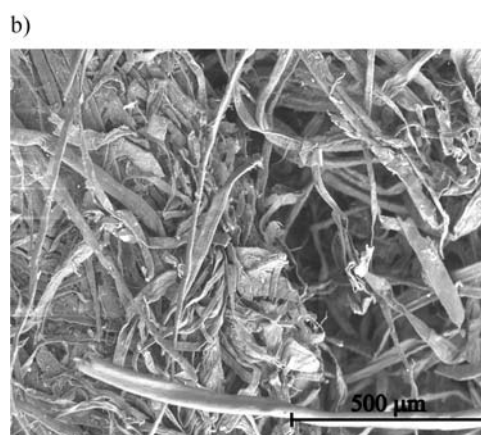
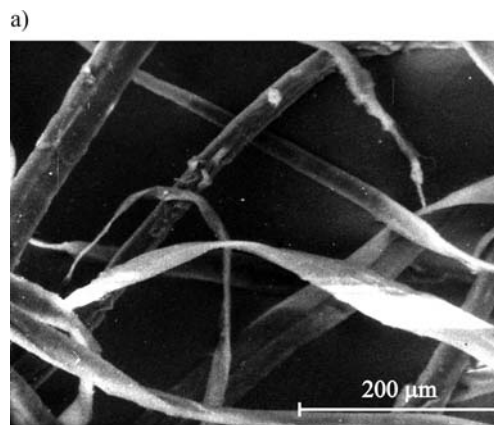
Rys. 5. Produkt otrzymany bezpośrednio z urządzenia do rozwłókniania odpadów wielowarstwowych kartonów

Fig. 5. Product received just from the shredder for multi-ply board waste

tworzeniu go w urządzeniu rozwłókniającym, zilustrowano na rys. 5, natomiast rys. 6 przedstawia porównanie uzyskanych metodą SEM obrazów włókien w tym odpadzie oraz włókna celulozowego z makulatury z gazet codziennych. Jak widać, obydwie typy włókien mają zbliżoną strukturę i grubość.

Kompozyty

Receptury oraz zbiorcze wyniki badań właściwości mechanicznych kompozytów w zależności od rodzaju matrycy polietylenowej i zawartości napelnacza (włókien celulozowych) przedstawiają tabele 2—5 i rys. 7—13. Stwierdziliśmy, że do polietylenu można wprowadzić metodą wytłaczania do 48 % mas. włókna celulozowego, co jest równoznaczne z dodaniem do 64,5 % mas. rozwłóknionych kartonów. Włókna celulo-



Rys. 6. Uzyskane metodą SEM obrazy rozwłóknionych odpadów celulozowych: a — włókno celulozowe z makulatury, b — włókno celulozowe z wielowarstwowych kartonów

Fig. 6. SEM images of defibered cellulose wastes: a — cellulose fiber from waste paper, b — cellulose fiber from multi-ply boards

Tabela 2. Receptury i właściwości mechaniczne kompozytów na podstawie PE-LD, różniących się zawartością napelnacza
Table 2. Formulations and mechanical properties of the composites based on PE-LD, differing in filler content

Receptury kompozytów						
Ilość wielowarstwowych kartonów	% mas.	0	26,3	39,2	51,9	64,5
Ilość włókna celulozowego	% mas.	0	20	30	39	48
Ilość PE-LD	% mas.	100	73,7	60,8	48,1	35,5
Właściwości mechaniczne kompozytu						
Moduł sprężystości przy rozciąganiu	MPa	240	660	983	1677	2149
Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	12,0	12,1	15,7	20,7	21,4
Napężenie przy zerwaniu	MPa	12,3	11,4	15,2	20,5	21,2
Wydłużenie względne przy zerwaniu	%	79,6	7,1	5,0	3,4	2,6
Moduł sprężystości przy zginaniu	MPa	230	710	1142	1744	2115
Wytrzymałość na zginanie	MPa	5,1	16,5	22,7	29,4	31,4
Napężenie zginające przy strzałce ugięcia	MPa	5,1	13,4	19,3	27,2	30,4
Udarność z karbem	kJ/m ²	42,5	13,4	12,1	7,2	6,6
Twardość met. Shore'a po 15 s	°Shore	45	53	55	60	60

zowe z makulatury z gazet codziennych można natomiast wprowadzić do polietylenu w ilości nie większej niż 42 % mas. Wynika to z różnicy pomiędzy ciężarem nasypowym, który w odniesieniu do rozwłóknionej makulatury z gazet codziennych wynosi 50—70 g/l, podczas gdy w przypadku rozwłóknionych kartonów do płynnej żywności jest równy 100 g/l.

T a b e l a 3. Receptury i właściwości mechaniczne kompozytów na podstawie aglomeratu PE-LD różniących się zawartością napełniacza

T a b l e 3. Formulations and mechanical properties of the composites based on PE-LD agglomerate, differing in filler content

Receptury kompozytów						
Ilość wielowarstwowych kartonów laminowanych do płynnej żywności	% mas.	0	26,3	39,2	51,9	64,5
Ilość włókna celulozowego	% mas.	0	20	30	39	48
Ilość PE-LD	% mas.	100	73,7	60,8	48,1	35,5
Właściwości mechaniczne kompozytu						
Moduł sprężystości przy rozciąganiu	MPa	230	566	877	1375	1962
Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	11,6	13,2	15,0	20,0	20,8
Napężenie przy zerwaniu	MPa	11,9	11,3	14,1	19,8	20,6
Wydłużenie względne przy zerwaniu	%	72,2	10,0	5,7	4,7	2,9
Moduł sprężystości przy zginaniu	MPa	190	624	917	1424	1745
Wytrzymałość na zginanie	MPa	5,1	15,0	19,8	26,8	28,8
Napężenie zginające przy strzałce ugięcia	MPa	5,1	12,0	16,5	23,1	26,6
Udarność z karbem	kJ/m ²	40,1	15,8	12,1	9,0	7,7
Twardość met. Shore'a po 15 s	°Shore	44	54	54	58	58

T a b e l a 4. Receptury i właściwości mechaniczne kompozytów na podstawie odpadowego PE-LD z produkcji kabli, różniących się zawartością napełniacza

T a b l e 4. Formulations and mechanical properties of the composites based on PE-LD waste from cable production, differing in filler content

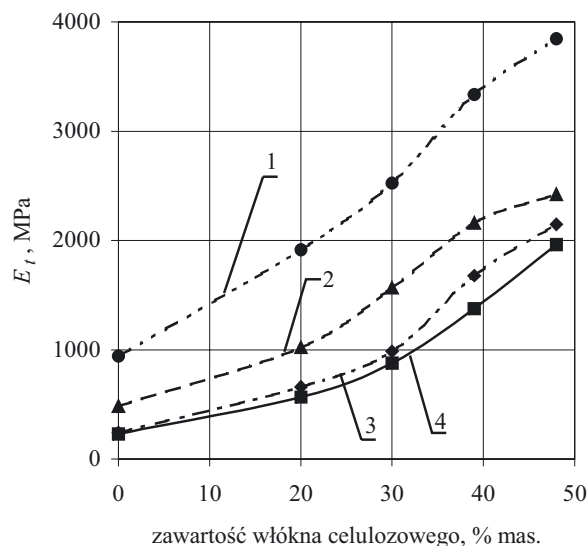
Receptury kompozytów						
Ilość wielowarstwowych kartonów	% mas.	0	26,3	39,2	51,9	64,5
Ilość włókna celulozowego	% mas.	0	20	30	39	48
Ilość PE-LD	% mas.	100	73,7	60,8	48,1	35,5
Właściwości mechaniczne kompozytu						
Moduł sprężystości przy rozciąganiu	MPa	482	1018	1566	2160	2421
Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	14,5	18,5	20,7	21,6	17,1
Napężenie przy zerwaniu	MPa	14,7	16,9	19,7	21,2	16,8
Wydłużenie względne przy zerwaniu	%	88,5	6,8	4,5	2,6	1,5
Moduł sprężystości przy zginaniu	MPa	348	1176	1376	2401	2654
Wytrzymałość na zginanie	MPa	7,6	22,0	24,1	32,5	33,0
Napężenie zginające przy strzałce ugięcia	MPa	7,4	18,6	20,7	31,8	—
Udarność z karbem	kJ/m ²	54,2	11,1	8,7	5,6	5,1
Twardość met. Shore'a po 15 s	°Shore	47	58	58	62	60

T a b e l a 5. Receptury i właściwości mechaniczne kompozytów na podstawie PE-HD, różniących się zawartością napełniacza

T a b l e 5. Formulations and mechanical properties of the composites based on PE-HD, differing in filler content

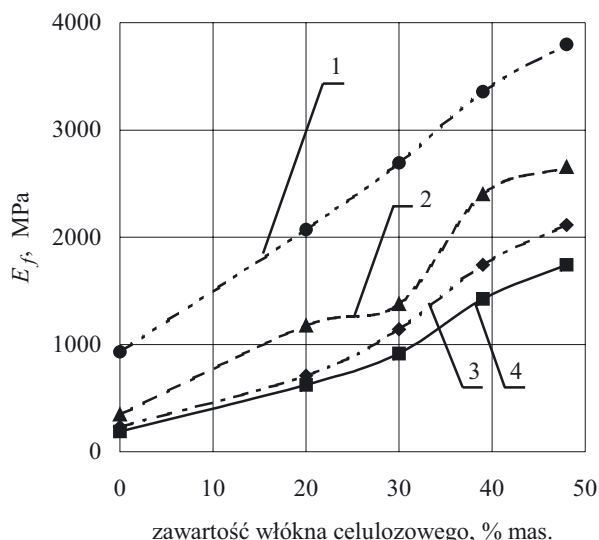
Receptury kompozytów						
Ilość wielowarstwowych kartonów	% mas.	0	26,3	39,2	51,9	64,5
Ilość włókna celulozowego	% mas.	0	20	30	39	48
Ilość PE-LD	% mas.	100	73,7	60,8	48,1	35,5
Właściwości mechaniczne kompozytu						
Moduł sprężystości przy rozciąganiu	MPa	940	1917	2525	3334	3847
Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	17,2	24,0	26,3	33,1	29,8
Napężenie przy zerwaniu	MPa	17,6	23,5	26,1	33,0	29,8
Wydłużenie względne przy zerwaniu	%	24,2	4,1	2,8	2,9	1,8
Moduł sprężystości przy zginaniu	MPa	930	2072	2694	3358	3798
Wytrzymałość na zginanie	MPa	17,4	34,0	39,3	49,7	48,6
Napężenie zginające przy strzałce ugięcia	MPa	17,4	30,7	38,0	47,8	—
Udarność z karbem	kJ/m ²	24,4	4,7	4,4	4,3	4,1
Twardość met. Shore'a po 15 s	°Shore	57	63	64	66	64

Z przeprowadzonych przez nas badań wynika, że kompozyty polietylenowe napełniane 20—48 % mas. włókna celulozowego, co odpowiada 26,3—64,5 % mas. rozdrobnionych odpadów wielowarstwowych kartonów mają bardzo dobre właściwości mechaniczne. Charakter zmian tych właściwości jest typowy dla tworzyw termoplastycznych z napełniaczami proszkowymi lub



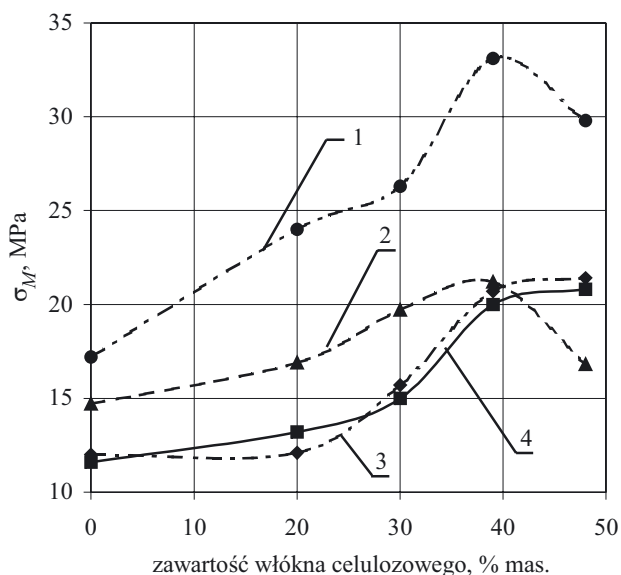
Rys. 7. Zmiany modułów przy rozciąganiu (E_t) kompozytów polietylenowych w zależności od zawartości włókna celulozowego i rodzaju PE: 1 — PE-HD, 2 — odpad PE-LD z produkcji kabli, 3 — PE-LD, 4 — aglomerat PE-LD

Fig. 7. Changes in tensile modulus (E_t) of polyethylene composites dependently on cellulose fiber content and PE type: 1 — PE-HD, 2 — PE-LD waste from cable production, 3 — PE-LD, 4 — PE-LD agglomerate



Rys. 8. Zmiany modułów przy zginaniu (E_f) kompozytów polietylenowych w zależności od zawartości włókna celulozowego i rodzaju PE; oznaczenia jak na rys. 7

Fig. 8. Changes in flexural modulus (E_f) of polyethylene composites dependently on cellulose fiber content and PE type; denotations as in Fig. 7



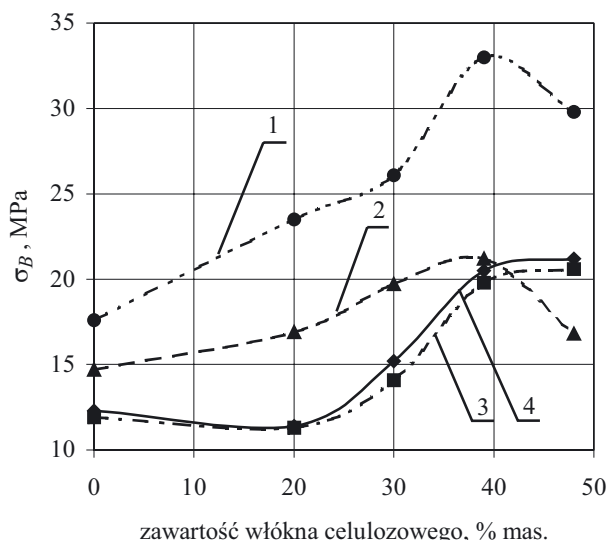
Rys. 9. Zmiany wytrzymałości na rozciąganie (σ_M) kompozytów polietylenowych w zależności od zawartości włókna celulozowego i rodzaju PE; oznaczenia jak na rys. 7

Fig. 9. Changes in tensile strength (σ_M) of polyethylene composites dependently on cellulose fiber content and PE type; denotations as in Fig. 7

włóknistymi, mianowicie zmieniają się one proporcjonalnie do zawartości włókna.

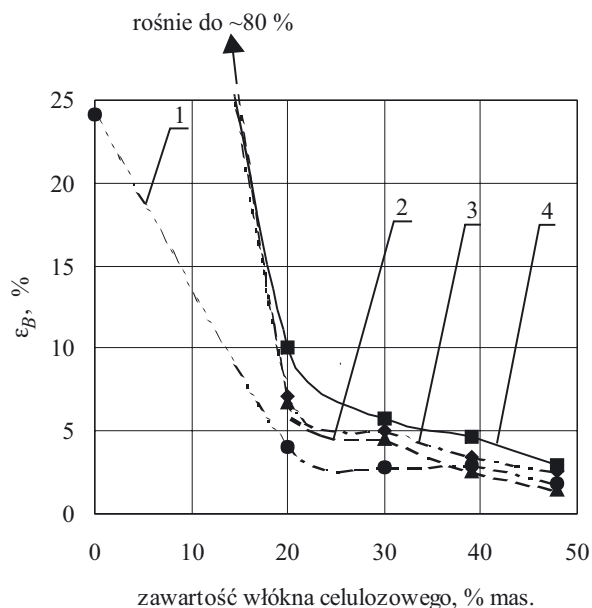
Uogólniając uzyskane przez nas wyniki można stwierdzić, że np. kompozyty zawierające 48 % mas. włókna celulozowego charakteryzują się:

— dużo większymi modułami przy rozciąganiu niż wyjściowe polimery (rys. 7) — od 4,1-krotnie w przypadku PE-HD do 8,9-krotnie w odniesieniu do PE-LD;



Rys. 10. Zmiany naprężenia przy zerwaniu (σ_B) kompozytów polietylenowych w zależności od zawartości włókna celulozowego i rodzaju PE; oznaczenia jak na rys. 7

Fig. 10. Changes in stress at break (σ_B) of polyethylene composites dependently on cellulose fiber content and PE type; denotations as in Fig. 7

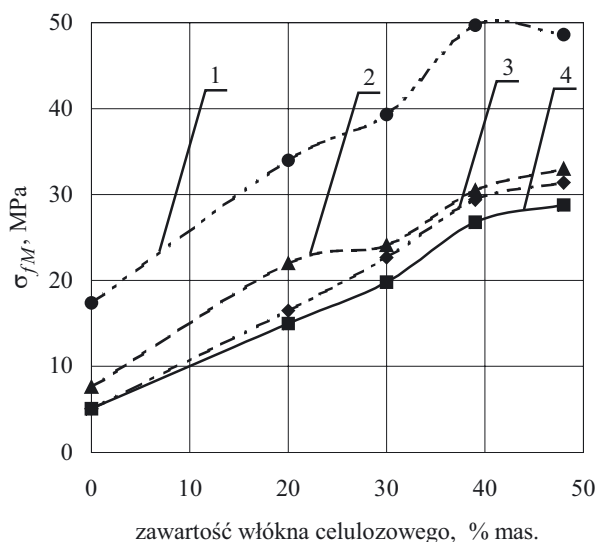


Rys. 11. Zmiany wydłużenia względnego przy zerwaniu (ϵ_B) kompozytów polietylenowych w zależności od zawartości włókna celulozowego i rodzaju PE; oznaczenia jak na rys. 7

Fig. 11. Changes in unit elongation at break (ϵ_B) of polyethylene composites dependently on cellulose fiber content and PE type; denotations as in Fig. 7

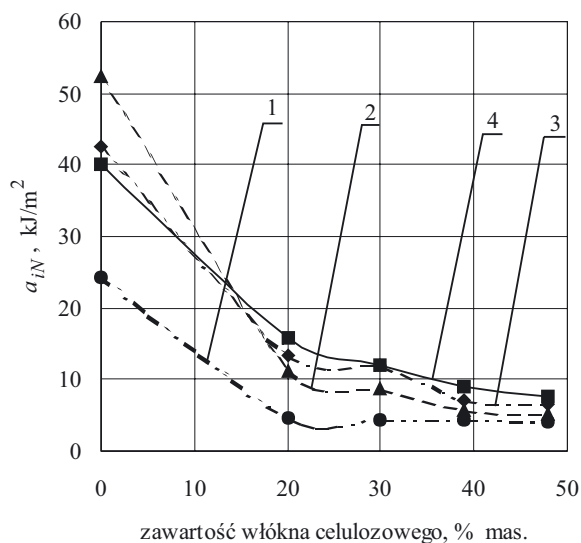
— podobnie znacznym zwiększeniem modułów przy zginaniu (rys. 8);

— wzrostem wytrzymałości na rozciąganie (rys. 9) i większymi wartościami naprężenia przy zerwaniu (rys. 10) (z tym, że niektóre krzywe przechodzą tu przez maksimum odpowiadające mniejszej zawartości napelnacza);



Rys. 12. Zmiany wytrzymałości na zginanie (σ_{fM}) kompozytów polietylenowych w zależności od zawartości włókna celulozowego i rodzaju PE; oznaczenia jak na rys. 7

Fig. 12. Changes in flexural strength (σ_{fM}) of polyethylene composites dependently on cellulose fiber content and PE type; denotations as in Fig. 7



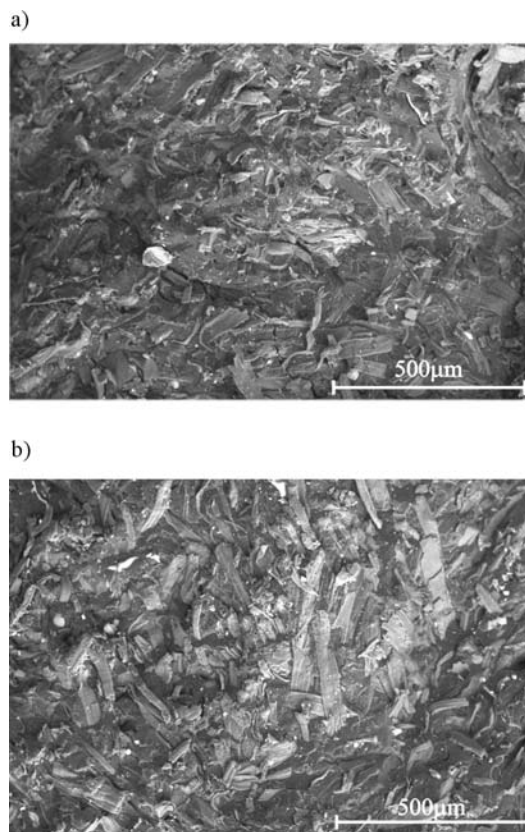
Rys. 13. Zmiany uderności z karbem (a_{iN}) kompozytów polietylenowych w zależności od zawartości włókna celulozowego i rodzaju PE; oznaczenia jak na rys. 7

Fig. 13. Changes in notched impact strength (a_{iN}) of polyethylene composites dependently on cellulose fiber content and PE type; denotations as in Fig. 7

— zmniejszeniem wydłużenia względnego przy zerwaniu — rys. 11 (co jest typowym zachowaniem kompozytów o wysokim stopniu napełnienia) — nawet 59-krotnym w przypadku odpadów z kabli (krzywa 2);

— wzrostem naprężenia zginającego przy strzałce ugięcia (tabele 2—5) i wytrzymałości na zginanie (rys. 12);

— bardzo dużym, dochodzącym do 10,2 razy (krzywa 2 na rys. 13) zmniejszeniem uderności z karbem



Rys. 14. Struktura kompozytów na podstawie PE-LD zawierających 30 % mas. (a) lub 39 % mas. (b) włókna celulozowego
Fig. 14. Structures of PE-LD composites containing 30 wt. % (a) or 39 wt. % (b) of cellulose fiber

(również typowe zachowanie kompozytów o wysokim stopniu napełnienia) — w przypadku zawartości włókna celulozowego 48 % mas. od 10,2 razy w odniesieniu do odpadów z kabli, 6,4 razy — do PE-LD, 5,9 razy — do PE-HD, oraz 5,2 — do aglomeratu;

— wyraźnym zwiększeniem twardości (tabele 2—5).

Z badań metodą SEM wynika, że w procesie wytłaczania i wtryskiwania włókno celulozowe z laminowanych kartonów nie ulega dalszemu rozdrobieniu i jest równomiernie rozmieszczone w matrycy polimerowej (rys. 14 w porównaniu z rys. 6b).

Omawiane tu kompozyty otrzymane z rozwłóknionych odpadowych wielowarstwowych kartonów charakteryzują się lepszymi właściwościami mechanicznymi niż kompozyty otrzymane z innych włókien celulozowych, np. z makulatury z gazet codziennych. Wynika to z wysokiej jakości celulozy stosowanej w kartonach do płynnej żywności [18].

Z kompozytów, w których wykorzystaliśmy 40 % mas. lub 60 % mas. kartonów i, odpowiednio, 60 % mas. lub 40 % mas. PE-LD otrzymaliśmy materiały na panele ekranów akustycznych. Badania wskaźnika izolacyjności akustycznej przeprowadzone w AGH w Krakowie wykazały, że kompozyty te mają dobre właściwości akustyczne (≥ 32 dB), można więc z nich otrzymywać wyroby dźwiękochłonne i antywibracyjne.

PODSUMOWANIE

Otrzymane przez nas polietylenowe kompozyty napełniane włóknami celulozowymi pochodzącymi z odpadowych rozwłóknionych wielowarstwowych laminowanych kartonów do płynnej żywności charakteryzują się dużą sztywnością i twardością (co zbliża je do kompozytów z napełniaczami mineralnymi) oraz nieostrym przebiegiem pęknięcia w połączeniu z estetycznym wyglądem powierzchni zewnętrznej. Można je więc stosować na różnorodne wyroby użytkowe, takie jak doniczki, wiadra, pojemniki na śmieci, meble ogrodowe, kwietniki, sztachety płotów itp. Ze względu na dobre właściwości akustyczne można je również wykorzystywać w budownictwie jako pokrycia dachowe oraz do budowy ekranów akustycznych. Niska cena surowców używanych do wytwarzania omawianych kompozytów powoduje, że i wyroby z nich produkowane będą tanie.

LITERATURA

1. Kijeński J., Polaczek J.: *Polimery* 2004, **49**, 669.
2. Opęchowski S., Zawadzka-Kos M.: „Selektywna zbiórka odpadów komunalnych w Polsce”, Raport OBR Ekologii Miast 2000 r.
3. Poskropko B., Piontek W., Sidorczuk E.: „Raport o gospodarce odpadami opakowaniowymi w Polsce”, EKO-PAK 2002 r. (EKO-PAK — Polska Koalicja Przemysłowa na Rzecz Opakowań Przyjaznych Środowisku).
4. Zestaw informacyjny na temat recyklingu opakowań kartonowych Tetra Pak 2003.
5. von Zuben F.: *Papir a Celuloza* 2001, **56**, nr 2, 36; *CA* 2001, **135**:274 371.
6. Neves F. L.: *Papel* 1999, **60**, nr 1, 38; *CA* 1999, **130**:326 457.
7. *Pat. niem.* 4 042 222 (1992).
8. *Pat. kanadyjski* 2 058 540 (1992).
9. *Pat. USA* 5 331 087 (1994).
10. *Niem. zgłosz. pat.* 10 054 043 (2002).
11. Błędzki A. K., Gassan J., Wronkowska H.: Materiały konferencyjne PTS, Warszawa 1998, str. 5—19.
12. Raj R. G., Kokta B. V., Dancault C.: *J. Polym. Mater.* 1990, **14**, nr 3—4, 223.
13. Matis S. N., Chawka C. P.: *J. Polym. Mater.* 1987, **4**, nr 3, 155.
14. Chang-Sik Ha, Hac-Dong Park, Won Jci Cho: *J. Appl. Polym. Sci.* 1990, **74**, 1531.
15. Mattus V., Selzer R., Neitzel M.: *Kunststoffberater* 1997, **42**, nr 1—2, 30.
16. *Pat. pol.* 370 290 (2004).
17. Kowalska E., Kuczyńska L., Choroś M.: *Recykling* 2004, **12**, nr 48, 10.
18. Kowalska E.: „Badania modyfikacji tworzyw termoplastycznych odpadami poprodukcyjnymi i poużytkowymi”, OWPW, Politechnika Warszawska, Prace Naukowe, Chemia, zeszyt 72, 2003.

Otrzymano 3 XI 2005 r.