

EWA KOWALSKA, MAŁGORZATA CHOROŚ, LONGINA KUCZYŃSKA, ZBIGNIEW WIELGOSZ

Instytut Chemii Przemysłowej im. prof. I. Mościckiego  
 ul. Rydygiera 8, 01-793 Warszawa  
 e-mail: ewa.kowalska@ichp.pl

## Recykling odpadów dywanów i wykładzin dywanowych

**Streszczenie** — Przedstawiono analizę światowego i krajowego rynku poprodukcyjnych i użytkowych odpadów dywanowych oraz metody ich recyklingu. Omówiono wyniki prac własnych dotyczących mechanicznego recyklingu poprodukcyjnych odpadów dywanowych. Rozwłóknione odpady dywanowe użyto jako napełniacz kompozytów z tworzyw termoplastycznych. Zastosowano odpady dywanowe o runie z polipropylenu oraz o runie z układu poliakrylonitryl:poliamid 66 = 80:20. W charakterze osnowy polimerowej wykorzystano polipropylen albo polietylen małej gęstości (pierwotny lub aglomerat z folii opakowaniowej). Zbadano zależność właściwości mechanicznych kompozytów od rodzaju osnowy polimerowej i napełniacza oraz od wzajemnego udziału tych składników. Kompozyty polipropylenowe mają charakter tworzyw konstrukcyjnych. Metodą SEM scharakteryzowano strukturę zarówno włókien uzyskanych po defibrylacji odpadów dywanowych, jak i gotowych kompozytów. Zbadano też właściwości akustyczne otrzymanych materiałów stwierdzając, że nadają się one na ekrany dźwiękochłonne (izolacyjność akustyczna >30 dB).

**Słowa kluczowe:** odpady dywanowe, kompozyty polietylenowe, kompozyty polipropylenowe, właściwości mechaniczne, właściwości akustyczne.

### RECYCLING OF WASTES OF THE CARPETS AND CARPET LININGS

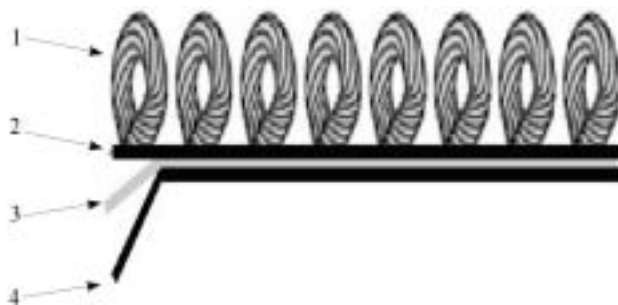
**Summary** — The analyses of the global and domestic markets of post-production and post-consumer carpet wastes and the methods of their recycling were presented (Table 1 and 2). The results of the own investigations concerning mechanical recycling of post-consumer carpet wastes are discussed. Defibred carpet wastes were applied as the fillers for thermoplastics' composites. The carpet wastes of polypropylene nap or polyacrylonitrile:polyamide 66 (80:20) one (Table 3) were used. Polypropylene or low-density polyethylene (primary one or agglomerate made of packaging film) were applied as polymer matrices. The dependence of mechanical properties of the composite on the type of polymer matrix and filler as well as on these components mutual ratio (Table 5—8, Fig. 5) was investigated. Polypropylene composites show the character of constructional plastics. The structures of the composites obtained (Fig. 6—9) as well as of the fibers obtained as a result of carpet waste' defibering (Fig. 4) were characterized by SEM method. Acoustic properties of the materials obtained were also studied (Table 9, Fig. 10). It was found they were fit to be the sound absorbing screens (acoustic insulating power > 30 dB).

**Key words:** carpet wastes, defibering, polyethylene composites, polypropylene composites, mechanical properties, acoustic properties.

### SKALA ZAGADNIENIA I KIERUNKI JEGO ROZWIĄZANIA

Odpady dywanów i wykładzin dywanowych — oprócz różnego rodzaju włókien syntetycznych [poliamidy 6 i 66 (PA6 i PA66), poli(tereftalan etylenu) (PET) [1], polipropylen (PP), poliakrylonitryl (PAN)] i naturalnych (wełna, bawełna, juta) — zawierają duże ilości składników mineralnych, kauczuków syntetycznych, związków bitumicznych itp. Budowę dywanów, wynikającą z procesu ich otrzymywania [2], przedstawiono schematycznie na rys. 1.

Z powodu złożonej budowy i trwałego połączenia tworzywa włókienniczego z materiałami wiążącymi,



Rys. 1. Budowa dywanu: 1 — runo, 2 — warstwa wiążąca (osnowa + wątek), 3 — podklejenie (np. lateks), 4 — warstwa podkładowa

Fig. 1. Carpet structure: 1 — nap, 2 — set layer (warp + filling), 3 — sticking layer (e.g. latex), 4 — backing

dywanowe odpady poprodukcyjne i użytkowe nie nadają się do bezpośredniego, wtórnego przerobu włókienniczego i w znacznej mierze zalegają na wysypiskach.

Odpady poprodukcyjne („czyste”) stanowią zaledwie ok. 2 % produkcji; w tabeli 1 podano ilości odpadów powstających w Polsce w największych wytwórniach dywanów i wykładzin dywanowych (dane zebrane od krajowych producentów dywanów).

Ilość powstających odpadów użytkowych („brudnych”) jest trudna do określenia. Na przykład, w Polsce w 1994 r. oferowano w handlu 37 mln m<sup>2</sup> wykładzin podłogowych. Masa powierzchniowa wykładziny, w zależności od jej rodzaju, wynosi 1,2–5,5 kg/m<sup>2</sup>, a czas eksploatacji waha się w przedziale 3–10 lat. Można więc oszacować, że obecnie w Polsce powstaje 60 000 t/rok zużytych różnego rodzaju wykładzin dywanowych i dywanów [3]. Ilość użytkowych odpadów w UE szacuje się na 1,6–2,5 mln t/rok [4]. Problem odpadów dywanów w USA, czyli ilości oraz sposoby ich zagospodarowania przedstawia tabela 2 [5, 6]; i tam większość tych odpadów trafia na wysypiska śmieci.

Stan prawny dotyczący gospodarki odpadami regulują dwie ustawy: o utrzymaniu czystości w gminach z 1996 r. i o odpadach z 2001 r. W zasadzie ustawy te dotyczą wyłącznie gospodarki surowcami wtórnymi, natomiast nie ograniczają składowania odpadów, a w każdym razie zużytych wykładzin, zaliczanych do odpadów komunalnych. Jednym z celów krajowego planu gospodarki odpadami przyjętego przez Radę Ministrów

29.10.2002 r. jest zapewnienie ich odzysku, przede wszystkim na drodze recyklingu. Zwłaszcza w USA, a także w UE, już kilka lat temu, zajęto się problemem recyklingu odpadów dywanów i wykładzin kosztem zresztą dużych nakładów finansowych.

Podobnie jak w odniesieniu do tworzyw, stosuje się w tym przypadku główne metody recyklingu, mianowicie:

— Recykling mechaniczny lub materiałowy, obejmujący regranulację bądź rozwłóknianie użytkowych odpadów dywanowych i ponowne ich wykorzystanie do produkcji różnych wyrobów. W zależności od późniejszego zastosowania, recykling materiałowy prowadzi się z rozdzielaniem na elementy składowe i segregacją albo bez takiego rozdzielania [4, 7, 8].

— Recykling surowcowy lub chemiczny, polegający na uzyskiwaniu z odpadów tworzyw polimerowych wartościowych, użytecznych związków chemicznych, które mogą być wykorzystane jako paliwo lub surowce w przemyśle chemicznym [9, 10].

— Recykling energetyczny, czyli spalanie z odzyskiem energii; spotyka się on z dużą niechęcią społeczeństwa ze względu na przekonanie o udziale gazów odłotowych w zanieczyszczeniach atmosfery i zwiększaniu efektu cieplarnianego [8].

Recykling materiałowy może być prowadzony w następujących wariantach: oddzielanie runa od pozostałej części dywanu [11] i separacja wstępnie rozdrobnionych pozostałości dywanów, np. w suspensji wodnej na zasadzie różnicy w gęstości poszczególnych warstw dywanu [12, 13]; stopniowe rozdrabnianie [14], w nie-

**T a b e l a 1. Roczna produkcja dywanów i ilości odpadów poprodukcyjnych w największych zakładach dywanowych w Polsce [2]**  
**T a b l e 1. Annual carpet production and the amounts of post-production wastes in the biggest companies in Poland [2]**

Firma	Produkcja, t	Odpad		
		m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	t
Fabryki Dywanów AGNELLA SA, Białystok	~30 800	27 250	180	60
KALTOM Sp. z o.o., Grabowiec	~10 000	90 900	600	200
Fabryki Dywanów WELTOM SA, Tomaszów Mazowiecki	1100	10 000	66	22
PODKOWA, Żółwin	60	3200	21	7
DYWILAN, Łódź	66	700	~4,5	1,5
Fabryka Dywanów KOWARY SA, Kowary	525	4880	32	10,5
Razem	~42 551 = 18 850 000 m <sup>3</sup>	~140 000	~900	301,0

**T a b e l a 2. Obecna i przewidywana sytuacja w dziedzinie użytkowych odpadów dywanów w USA [5, 6]**  
**T a b l e 2. Present situation and the forecast concerning post-consumer carpet wastes in USA [5, 6]**

Rodzaj zagospodarowania	Ilość (mln t) w latach:				
	2003	2005	2008	2010	2012
Całkowita ilość odpadów	2,680	2,520	2,820	3,010	3,390
Ponowne użycie	0,000	0,015	0,060	0,105	0,100–0,170
Odzysk energii	0,000	0,025	0,030	0,030	0,035
Spalanie w cementowniach	0,000	0,050	0,150	0,100	0,100
Recykling	0,090	0,180	0,310	0,450	0,700–0,850
Składowanie	2,590	2,175	2,095	2,195	2,590–2,370
Udział recyklingu	3,8 %	7 %	11 %	15 %	20–25 %
Udział składowania na wysypiskach	3,8 %	10 %	19 %	23 %	27–34 %

których przypadkach aż do proszku o stopniu rozdrobnienia kredy [15, 16]; rozdrabnianie i następne stapianie na granulaty [17, 18] — niekiedy stosuje się przy tym dodatki kompatybilizujące [19—22], a przed stapianiem oddziela się lżejsze frakcje za pomocą cyklonu [23]; rozdrabnianie, po czym odłączanie runa strumieniem płynu pod wysokim ciśnieniem [24]; mycie 5—30-proc. roztworem NaOH rozpuszczającym warstwę wiążącą i oddzielanie runa, które zawiera się, a z roztworu odzyskuje lateks [25]; w przypadku dywanów z mieszaniny włókien syntetycznych (np. PA, PET) i naturalnych — rozpuszczanie frakcji syntetycznej w glicerynie, glikolu etylenowym lub glikolu propylenowym i oddzielanie w ten sposób części naturalnej od syntetycznej [26]. Tworzywa z jakich są wykonane dywany można zidentyfikować np. przy użyciu ręcznego spektrofotometru IR [27] lub metodą spektrofotometrii Ramana [28].

Rozwłóknione odpady dywanów mogą być wykorzystane w kompozytach na podstawie tworzyw termoplastycznych służących w budownictwie jako izolacja antywibracyjna lub cieplna [12], w zastępstwie (40—100 %) wypełniaczy mineralnych, np. kredy w spodnich warstwach wykładzin dywanowych lub w warstwie podkładowej wykładziny z PVC [29, 30], w ekranach akustycznych [31] itd.

Opisane wyżej metody recyklingu dotyczą przede wszystkim odpadów poprodukcyjnych, natomiast odpady użytkowe mają głównie zastosowanie w recyklingu energetycznym.

W Instytucie Chemii Przemysłowej, wspólnie z COBR Maszyn Włókienniczych w Łodzi, opracowano metodę rozdrabniania odpadów dywanowych [32, 33]. Następnie rozwłóknione poprodukcyjne odpady dywanowe wykorzystano jako wypełniacze w kompozytach na osnowie polipropylenu (PP), polietylenu małej gęstości (PE-LD) oraz aglomeratu PE-LD z folii opakowaniowej. Zbadano właściwości mechaniczne i akustyczne oraz scharakteryzowano strukturę uzyskanych kompozytów. Wyniki tych badań stanowią przedmiot niniejszej publikacji.

## CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### Materiały

Jako osnowę polimerową stosowano:

- polietylen małej gęstości „Malen E 1307 C”, produkcji firmy Orlen, Płock;
- polipropylen „Malen F-401”, produkcji firmy Orlen, Płock;
- aglomerat PE-LD z folii opakowaniowej (określany w dalszym tekście terminem „aglomerat”), produkcji rzemieślniczej.

W charakterze wypełniaczy wprowadzano:

- poprodukcyjne odpady dywanów z runem wykonanym z polipropylenu (symbol odpadów — PP), z fabryki dywanów Agnella SA, Białystok;

— poprodukcyjne odpady dywanów z runem wykonanym z poliakrylonitrylu (PAN, 80 %) i poliamidu 66 (PA66, 20 %), oznaczone w dalszej części artykułu symbolem PAN + PA, z fabryki dywanów Dywilan, Łódź.

Składy poszczególnych typów odpadów dywanów i wykładzin przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Rodzaje odpadów dywanowych

Table 3. Types of carpet wastes

Skład dywanu	Stosowany rodzaj materiału	Symbol odpadu			
		PAN + PA66		PP	
		g/m <sup>2</sup>	% mas.	g/m <sup>2</sup>	% mas.
Runo	PAN	1560	53,9	—	—
Runo	PA66	390	13,4	—	—
Runo	PP	—	—	1900	72
Osnowa wiążąca	elanobawełna	240	8,0	200	7,6
Osnowa wypełniająca	elanobawełna	108	4,0	60	2,4
Wątek	juta	475	16,5	360	13,5
Obszycie		20	0,7	30	1
Podklejenie	lateks	100	3,5	100	3,5

### Aparatura

Do otrzymywania kompozytów rozwłóknione odpady dywanowe + matryca polimerowa (PE-LD lub PP) stosowano następującą aparaturę:

— urządzenie do rozwłókniania odpadów dywanowych (przedstawione na rys. 2), wykonane w COBR Maszyn Włókienniczych w Łodzi [32, 33];

— linię granulacyjną z wyciarką jednoślismakową W32Tb, produkcji firmy Metalchem, Toruń;

— dwuwalcarkę typu VV, Ruth-Schwabenthau — ogrzewane olejowo walce średnicy 200 mm i długości 450 mm;

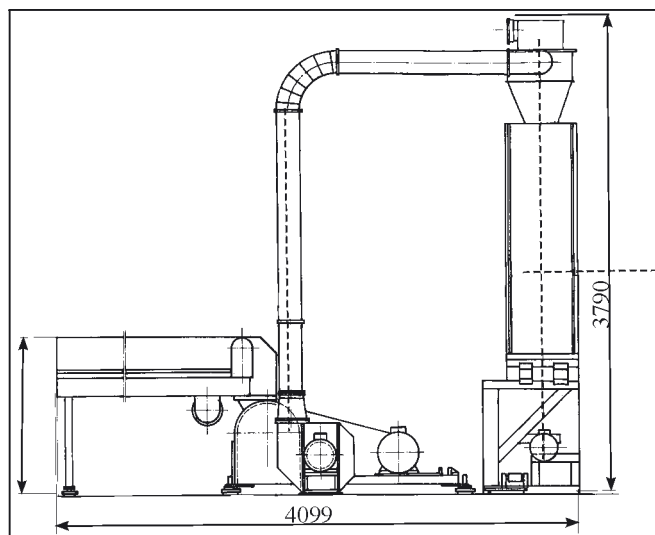
— wtryskarke „Arburg 420 M”, produkcji firmy Arburg.

### Sposób postępowania

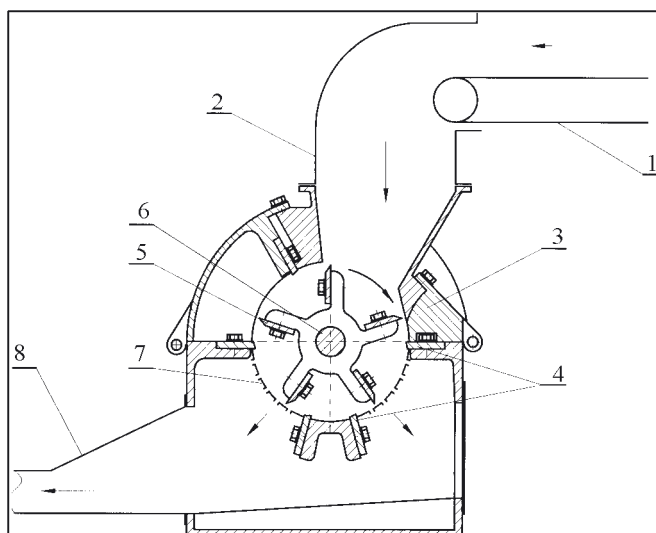
Opracowano metodę rozwłókniania dywanów bez rozdzielania na poszczególne warstwy [31, 32] za pomocą urządzenia przedstawionego na rys. 2.

Jako polimerową osnowę w kompozytach rozwłóknionych dywanów o runie PP stosowano polipropylen, po to aby runo i osnowa były takie same. Polimerem używanym jako osnowa w kompozytach z odpadów dywanowych o runie z PAN + PP był natomiast polietylen małej gęstości lub polipropylen.

Kompozyty polimerów termoplastycznych zawierające 20 lub 30 % mas. odpadu dywanowego sporządzano w linii granulacyjnej, a kompozyty o większej zawartości wypełniacza otrzymywano przy użyciu dwuwalcarki. Wartości temperatury wytłaczania lub walcowania mieściły się w przedziale 190—230 °C. Z wysuszone-



a)



b)

Rys. 2. a) Schemat linii do rozdrabniania odpadów dywanów; b) schemat urządzenia do rozwłókniania dywanów: 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. 2. a) Scheme of the line for carpet waste comminution; b) scheme of the device for carpet defibering: 1 — transporter, 2 — feeding channel, 3 — mill body, 4 — stationary cutters, 5 — rotational cutters, 6 — mill shaft, 7 — sieve, 8 — channel to receivers

go granulatu otrzymywano kształtki metodą wtryskiwania w takim samym zakresie temperatury.

### Metody oceny kompozytów

Ocena kompozytów zawierających rozwłóknione odpady dywanowe obejmowała następujące badania:

- mechaniczne badania wytrzymałościowe przy użyciu maszyny wytrzymałościowej „Instron 4505” firmy Instron oraz młota do badań uderności firmy Zwick;
- charakterystykę struktury za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) S-3500N firmy Hitachi;

- ocenę izolacyjności akustycznej z zastosowaniem zestawu dwumikrofonowego falowodu pomiarowego typu BK4206 firmy Brüel/Kjær, Dania.

Badania właściwości mechanicznych i twardości prowadzono zgodnie z normami przedstawionymi w tabeli 4. Odchylenia standardowe w tych badaniach nie przekraczały 5 %.

Tabela 4. Normy badań  
Table 4. Standards

Właściwość	Jednostka	Symbol	Norma
Moduł przy zginaniu	MPa	$E_f$	PN-EN ISO 178
Napężenie zginające	MPa	$\sigma_{fC}$	PN-EN ISO 178
Strzałka ugięcia	mm	s	PN-EN ISO 178
Moduł przy rozciąganiu	MPa	$E_t$	PN-EN ISO 527
Napężenie przy zerwaniu	MPa	$\sigma_B$	PN-EN ISO 527
Wydłużenie względne przy zerwaniu	%	$\epsilon_B$	PN-EN ISO 527
Udarowość wg Izoda z karbem	$\text{kJ/m}^2$	$a_{iN}$	PN-91/C-89029
Twardość wg Shore'a po 15 s	°Shore'a	HK	PN-EN ISO 868

### WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

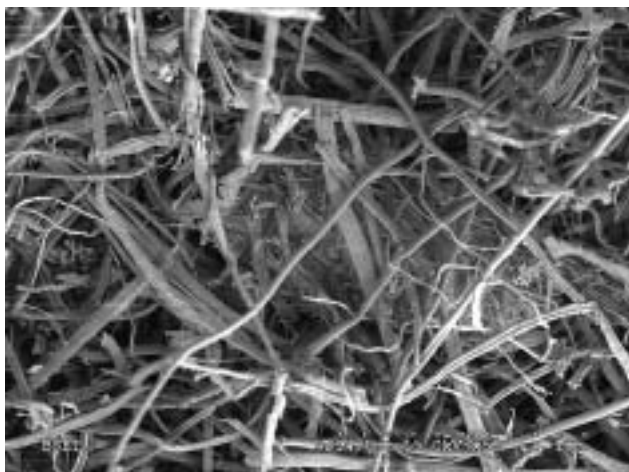
Wygląd odpadu dywanowego o runie PP otrzymanego bezpośrednio z urządzenia rozwłókniającego ilustruje rys. 3, a na rys. 4 przedstawiono obraz tych włókien uzyskany metodą SEM. Włókna po defibrylacji mają więc długość większą od 1 mm i średnicę znacznie mniejszą niż  $1 \mu\text{m}$ .

Receptury i wyniki badań właściwości mechanicznych kompozytów polipropylenowych napełnionych rozwłóknionymi dywanami o runie wykonanym z PP



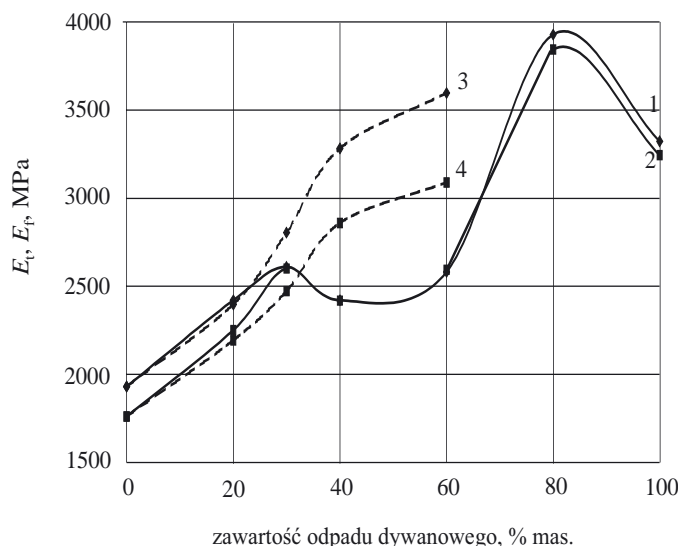
Rys. 3. Odpady dywanu o runie z polipropylenu bezpośrednio po rozwłóknieniu

Fig. 3. Polypropylene nap carpet waste just after defibering



Rys. 4. Obraz SEM rozwłóknionych odpadów z rys. 3  
Fig. 4. SEM image of defibered waste presented in Fig. 3

lub PAN + PA przedstawiono w tabelach 5 i 6, a odpowiednie dane dotyczące kompozytów na podstawie PE-LD (pierwotnego lub w postaci aglomeratu) napełnionych rozwłóknionymi dywanami z runem PAN + PA są zawarte w tabelach 7 i 8. Wyniki te świadczą o następujących tendencjach zmian właściwości mechanicz-



Rys. 5. Zależność modułów przy rozciąganiu ( $E_t$ ) i przy zginaniu ( $E_f$ ) kompozytów na podstawie polipropylenu od zawartości odpadu dywanowego: 1 —  $E_t$ , runo PP, 2 —  $E_f$ , runo PP, 3 —  $E_t$ , runo PAN + PA, 4 —  $E_f$ , runo PAN + PA  
Fig. 5. Dependence of tensile modulus ( $E_t$ ) and flexural modulus ( $E_f$ ) of polypropylene based composites on the carpet waste content: 1 —  $E_t$ , PP nap, 2 —  $E_f$ , PP nap, 3 —  $E_t$ , PAN + PA nap, 4 —  $E_f$ , PAN + PA nap

**T a b e l a 5.** Receptury i właściwości mechaniczne kompozytów na podstawie polipropylenu z odpadami dywanowymi o runie z polipropylenu

**T a b l e 5.** Formulations and mechanical properties of polypropylene based composites with carpet wastes of polypropylene nap

Zawartość odpadu dywanowego, % mas.	0	20	30	40	60	80	100
Zawartość włókna, % mas.	—	19	28,5	38	57	76	95
Odpad, g	—	200	300	400	600	800	1000
PP F 401, g	1000	800	700	600	400	200	—
Właściwości mechaniczne kompozytów:							
Moduł sprężystości przy rozciąganiu, $E_t$	1930	2420	2610	2420	2581	3929	3323
Naprężenie przy zerwaniu, $\sigma_B$	24,6	32,5	31,9	11,04	18,3	23,39	22,75
Wydłużenie względne przy zerwaniu, $\epsilon_B$	13,7	9,3	7,6	14,83	9,84	2,67	3,58
Naprężenie zginające, $\sigma_{fC}$	39,4	43,2	44,6	41,2	41,6	45,4	42,9
Moduł sprężystości przy zginaniu, $E_f$	1760	2250	2600	2418	2593	3844	3245
Udarność z karbem Izoda, $a_{iN}$	3,9	3,5	3,4	3,9	3,8	3,0	3,3
Twardość wg Shore'a po 15 s, HK	67	70	69	67	68	69	69

**T a b e l a 6.** Receptury i właściwości mechaniczne kompozytów na podstawie polipropylenu z odpadami dywanowymi o runie z poliakrylonitrylu i poliamidu 66

**T a b l e 6.** Formulations and mechanical properties of polypropylene based composites with carpet wastes of polyacrylonitrile and polyamide 66 nap

Zawartość odpadu dywanowego, % mas.	0	20	30	40	60
Zawartość włókna, % mas.	—	16,8	25,2	33,6	50,4
Odpad, g	—	200	300	400	600
PP F 401, g	1000	800	700	600	400
Właściwości mechaniczne kompozytów:					
Moduł sprężystości przy rozciąganiu, $E_t$	1930	2390	2805	3283	3597
Naprężenie przy zerwaniu, $\sigma_B$	24,6	24,6	24,6	24,3	17,6
Wydłużenie względne przy zerwaniu, $\epsilon_B$	13,7	4,1	2,8	2,6	1,5
Naprężenie zginające, $\sigma_{fC}$	39,4	40,7	42,3	45,3	—
Moduł sprężystości przy zginaniu, $E_f$	1760	2193	2473	2860	3089
Udarność z karbem Izoda, $a_{iN}$	3,9	3,2	3,6	3,1	3,0
Twardość wg Shore'a po 15 s, HK	67	68	70	70	67

**T a b e l a 7.** Receptury i właściwości mechaniczne kompozytów na podstawie PE-LD z odpadami dywanowymi o runie z poliakrylonitrylu i poliamidu 66

**T a b l e 7.** Formulations and mechanical properties of PE-LD based composites with carpet wastes of polyacrylonitrile and polyamide 66 nap

Zawartość odpadu dywanowego, % mas.	0	20	30	40	60
Zawartość włókna, % mas.	—	16,8	25,2	33,6	50,4
Odpad, g	—	200	300	400	600
PE-LD, g	1000	800	700	600	400
Właściwości mechaniczne kompozytów:					
Moduł sprężystości przy rozciąganiu, $E_t$	240	556	776	1116	1735
Naprężenie przy zerwaniu, $\sigma_B$	12,7	8,6	8,3	13,5	14,4
Wydłużenie względne przy zerwaniu, $\varepsilon_B$	79,6	28,0	15,4	7,3	2,0
Naprężenie zginające, $\sigma_{fC}$	5,1	9,7	12,2	18,3	—
Moduł sprężystości przy zginaniu, $E_f$	230	467	693	1021	2212
Udarność z karbem Izoda, $a_{iN}$	42,5	18,6	13,8	8,1	3,6
Twardość wg Shore'a po 15 s, $HK$	45	49	50	54	57

**T a b e l a 8.** Receptury i właściwości mechaniczne kompozytów na podstawie aglomeratu PE-LD z odpadami dywanowymi o runie z poliakrylonitrylu i poliamidu 66

**T a b l e 8.** Formulations and mechanical properties of PE-LD agglomerate based composites with carpet wastes of polyacrylonitrile and polyamide 66 nap

Zawartość odpadu dywanowego, % mas.	0	20	30	40	60
Zawartość włókna, % mas.	—	16,8	25,2	33,6	50,4
Odpad, g	—	200	300	400	600
Ilość aglomeratu PE-LD, g	1000	800	700	600	400
Właściwości mechaniczne kompozytów:					
Moduł sprężystości przy rozciąganiu, $E_t$	230	485	727	1063	1806
Naprężenie przy zerwaniu, $\sigma_B$	11,9	11,6	11,0	14,9	13,6
Wydłużenie względne przy zerwaniu, $\varepsilon_B$	72,2	22,6	9,8	8,4	2,8
Naprężenie zginające, $\sigma_{fC}$	4,7	9,6	12,7	19,6	—
Moduł sprężystości przy zginaniu, $E_f$	190	438	614	1118	1681
Udarność z karbem Izoda, $a_{iN}$	40,1	19,4	13,9	10,7	5,5
Twardość wg Shore'a po 15 s, $HK$	44	50	50	56	58

nych otrzymanych przez nas kompozytów w stosunku do czystych materiałów polimerowych stanowiących ich osnowę:

— znaczne zwiększenie modułów przy rozciąganiu i zginaniu (rys. 5);

— wzrost naprężenia zginającego;

— wyraźne zmniejszenie wydłużenia przy zerwaniu;

— drastyczne zmniejszenie udarności z karbem Izoda kompozytów na podstawie PE-LD (w przypadku kompozytów polipropylenowych wartość  $a_{iN}$  zmniejsza się bardzo nieznacznie);

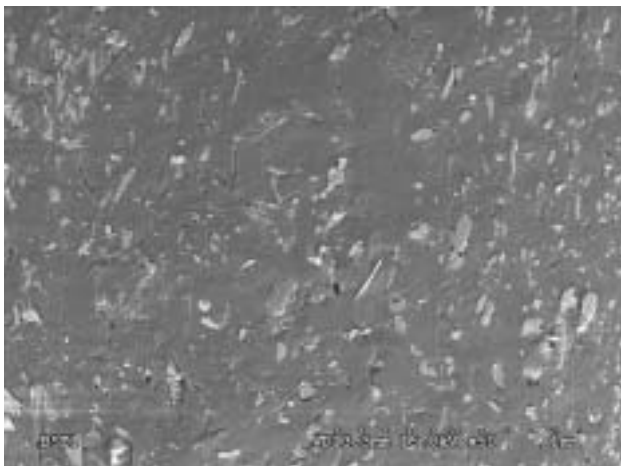
— znaczny wzrost twardości kompozytów polietylenowych i niewielkie tylko zmiany tej właściwości w odniesieniu do kompozytów na podstawie PP;

— naprężenie przy zerwaniu w przypadku kompozytów z odpadami PAN + PA zmienia się w małym stopniu a zależność  $\sigma_B$  od zawartości odpadu PP wymaga bardziej szczegółowej interpretacji.

Mianowicie, wpływ zawartości odpadu dywanowego z runem PP na właściwości mechaniczne kompozytów polipropylenowych (tabela 5) można uogólnić w następujący sposób: moduły, naprężenie zginające oraz, w mniejszym stopniu, naprężenie przy zerwaniu wzrastają w obszarze zawartości włókna do 30 % mas., po

czym wartości tych właściwości zmniejszają się (40 % mas. włókna), następnie znowu ulegają zwiększeniu, osiągając maksimum odpowiadające 80 % mas. napełniacza, i wreszcie ponownie maleją (kompozyt ze 100 % mas. odpadu dywanowego). Wytlumaczenie występowania tych dwóch maksimum jest następujące: kompozyty z 20 i 30 % mas. odpadu otrzymaliśmy z zastosowaniem wytłaczarki jednoślismakowej — krótki czas przebywania kompozytu w wytłaczarce i niska temperatura wytłaczania nie doprowadziły do stopienia włókna PP z runa dywanu i jego połączenia z matrycą polimerową. Efekt wzmocnienia kompozytu w tym przypadku jest spowodowany zarówno włóknami juty oraz elanobawełny, jak i włóknami polipropylenowymi z runa dywanu (wartości modułów tych kompozytów są zbliżone do wartości odpowiednich modułów kompozytów polipropylenowych z odpadami dywanowymi o runie z PAN + PA — por. tabela 6).

W przypadku zawartości odpadu dywanowego PP przekraczającej 40 % mas. kompozyty otrzymaliśmy metodą walcowania. Duże siły ścinające występujące w tym procesie i dłuższy czas jego trwania są przyczyną stopienia polipropylenu z runa dywanu i jego połączenia z matrycą polimerową. W tej sytuacji rolę wzmocnienia uzys-



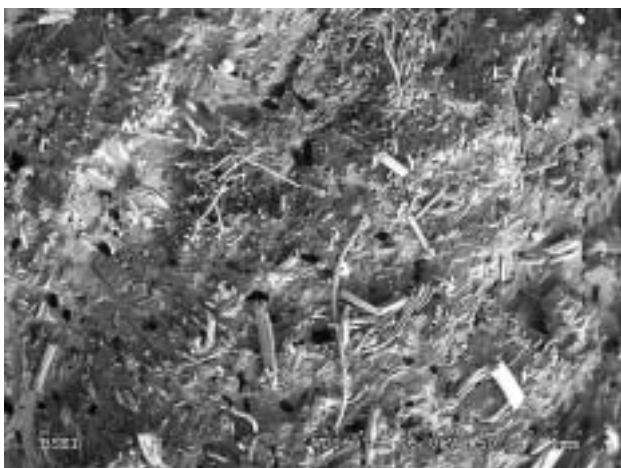
Rys. 6. Struktura (SEM) kompozytu PP + 30 % mas. odpadu dywanowego o runie z polipropylenu

Fig. 6. Structure (SEM) of the composite: PP + 30 wt. % of PP nap carpet waste



Rys. 8. Struktura (SEM) kompozytu PE-LD + 30 % mas. odpadu dywanowego o runie z PAN + PA66

Fig. 8. Structure (SEM) of the composite: PE-LD + 30 wt. % of PAN + PA 66 nap carpet waste



Rys. 7. Struktura (SEM) kompozytu z czystego (100 % mas.) odpadu dywanowego o runie z polipropylenu

Fig. 7. Structure (SEM) of the composite made of 100-wt. % of PP nap carpet waste



Rys. 9. Struktura (SEM) kompozytu PE-LD + 60 % mas. odpadu dywanowego o runie z PAN + PA66

Fig. 9. Structure (SEM) of the composite: PE-LD + 60 wt. % of PAN + PA 66 nap carpet waste

kiwanych kompozytów odgrywają wyłącznie włókna juty i elanobawełny z wątku i osnowy dywanu. W kompozycie z czystego odpadu dywanowego (100 % mas.) wskutek długotrwałego procesu walcowania następuje degradacja PP i dlatego moduły takiego kompozytu są mniejsze niż kompozytu zawierającego 80 % odpadu.

Zależność odwrotna do wyżej omówionej — zmniejszenie do 30 % mas. oraz wyraźny wzrost w obszarze 40—60 % — występuje w przypadku wydłużenia przy zerwaniu.

Powyższe wnioski dotyczące kompozytu PP z odpadem o runie z PP potwierdza ocena struktury kompozytów (rys. 6—9). Na podstawie zdjęć SEM przełomów kształtek można stwierdzić, że względny udział włókien w kompozycie ze 100-proc. odpadu dywanowego o runie z polipropylenu nie jest znacznie większy niż w kompozycie zawierającym 30 % mas. takiego odpadu

(rys. 6 i 7). Ustaliliśmy ponadto, że w procesie wytłaczania lub walcowania włókno dywanowe nie ulega dalszemu rozdrobnieniu i jest równomiernie rozmieszczone w osnowie polimerowej.

W przypadku zastosowania odpadów dywanów o runie PAN + PA (temperatura topnienia tworzywa ru-na dywanu jest wówczas wyższa od temperatury otrzymywania kompozytu) omówione uprzednio zmiany  $E_f$ ,  $E_t$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{fC}$  oraz  $\varepsilon_B$  są zawsze proporcjonalne (wprost lub odwrotnie) do zawartości odpadu dywanowego. Zjawisko to potwierdza obraz struktury odpowiednich kompozytów (rys. 8 i 9). Mianowicie, zawartość włókien w kompozycie z 30 % mas. takiego odpadu dywanowego jest mniejsza niż w kompozycie zawierającym 60 % mas. omawianego odpadu.

Twardość Shore'a kompozytów zależy w głównej mierze od rodzaju osnowy polimerowej i na ogół wzras-

ta ze zwiększaniem w kompozycie zawartości rozwłóknionego odpadu dywanu. Odpowiednie wartości w odniesieniu do różnych rodzajów osnowy polimerowej mieszczą się w następujących przedziałach:

- osnowa PE-LD — 49—57° Shore'a,
- osnowa z aglomeratu PE-LD — 50—58° Shore'a,
- osnowa z PP — 67—70° Shore'a.

Badania wskaźnika izolacyjności akustycznej wykonano w AGH w Krakowie. Wartości ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej ( $RwR$ ) próbki obliczano na podstawie empirycznego wzoru:

$$RwR \text{ [dB]} = 14,3 \lg M + 12 \quad (1)$$

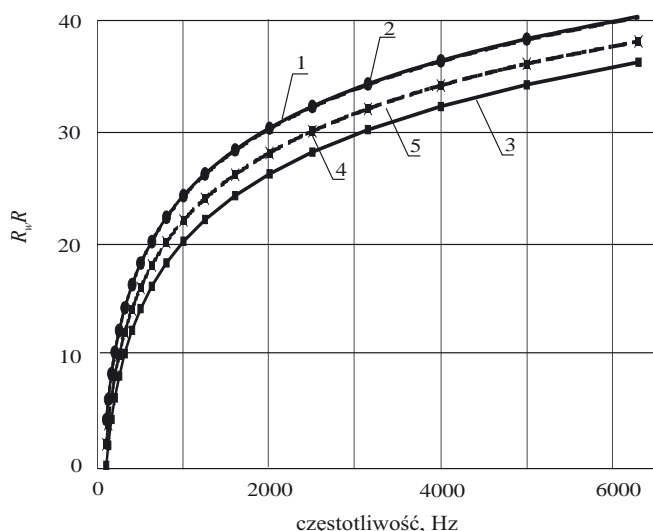
gdzie:  $M$  — gęstość powierzchniowa ( $\text{kg/m}^2$ ).

**T a b e l a 9.** Receptury i właściwości akustyczne kompozytów z odpadami dywanowymi oraz innych materiałów stosowanych na ekrany dźwiękochłonne

**T a b l e 9.** Formulations and acoustic properties of the composites containing carpet wastes, as well as another materials used for the production of sound absorbing screens

Material	Ilość PP % mas.	Ilość odpadu dywanowego PP % mas.	Wskaźnik izolacyjności akustycznej, dB
Kompozyt	—	100	32,76
	20	80	32,80
Trocinobeton			34,26
Drewno			31,4
Pleksi			34,20

Wzór ten wyprowadzono dla przegród monolitycznych o masie powierzchniowej  $<100 \text{ kg/m}^2$ . Wyniki badań czterech wybranych kompozytów oraz trocinobetonu, drewna i pleksi przedstawiono w tabeli 9 i na rys. 10. Wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej badanych kompozytów jest porównywalny z wartościami  $RwR$  (badanych również w AGH) ekranów produkcji krajowej z drewna, betonu i metalowych, napełnianych



węlną mineralną, granulatem gumowym lub trocinami, bądź importowanych przezroczystych ekranów z poliwęglanu albo poli(metakrylanu metylu) („pleksi”) [33, 34]. Izolacyjność akustyczna omawianych tu kompozytów jest wprawdzie nieco gorsza niż trocinobetonu i pleksi, jednakże ciężar właściwy tych materiałów jest wyraźnie większy niż ciężar właściwy kompozytu polimerowego; zatem ekran takiej samej grubości co polimerowy będzie cięższy. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że opracowane przez nas materiały mogą być stosowane do budowy ekranów akustycznych tam, gdzie izolacyjność przekraczająca 30 dB nie jest uzasadniona ekonomicznie [34, 35].

## PODSUMOWANIE

Otrzymaliśmy kompozyty na osnowie PE-LD lub PP napełniane rozwłóknionymi odpadami dywanów o runie PAN + PP oraz kompozyty na podstawie PP z rozwłóknionymi dywanami o runie PP. Kompozyty polipropylenowe mają właściwości tworzyw konstrukcyjnych. Wprowadzenie do kompozytów PP napełniacza PAN + PA powoduje większy efekt usztywnienia niż w przypadku kompozytów PP + napełniacz PP.

Wszystkie właściwości mechaniczne tej ostatniej grupy kompozytów charakteryzują się występowaniem dwóch maksimów odpowiadających zawartości 30 % i 80 % mas. napełniacza. Wiąże się to ze zmianą sposobu otrzymywania kompozytów: kompozyty zawierające  $\leq 30$  % mas. odpadowych włókien PP otrzymywano metodą wytłaczania, a kompozyty zawierające  $\geq 40$  % mas. — metodą walcowania. W trakcie procesu wytłaczania włókna PP z runa dywanu nie ulegają stopieniu z osnową polimerową i stanowią włókna wzmacniające kompozyt, podczas gdy zmiana metody otrzymywania kompozytów z wytłaczania na walcowanie powoduje stopienie zarówno runa PP, jak i osnowy polimerowej. Poprawienie właściwości mechanicznych kompozytów po walcowaniu jest skutkiem ich wzmocnienia przez włókna elanobawełny i juty pochodzące z wátku i osnowy dywanów.

Włókna runa PAN + PA mają temperaturę topnienia wyższą niż PP, nie topią się w procesach przetwórstwa

**Rys. 10.** Porównanie izolacyjności akustycznej właściwej ( $RwR$ ) kompozytu polipropylenowego z rozwłóknionymi odpadami dywanowymi i innych materiałów stosowanych na ekrany dźwiękochłonne: 1 — trocinobeton, 2 — pleksi, 3 — drewno, 4 — 100 % odpadu dywanowego PP, 5 — 80 % odpadu dywanowego PP + 20 % PP

**Fig. 10.** Comparison of specific acoustic insulating power ( $RwR$ ) of PP composite with defibered carpet waste, as well as the other materials used for the sound absorbing screens: 1 — sawdust concrete, 2 — Plexiglas, 3 — wood, 4 — 100 wt. % of PP carpet waste, 5 — 80 wt. % of PP carpet waste + 20 wt. % of PP



kompozytu i stanowią jego wzmocnienie wraz z włóknami juty i elanobawełny. Potwierdzają to badania struktury kompozytów uzyskane metodą SEM.

Kompozyty z odpadami dywanowymi mogą być stosowane do otrzymywania ekranów akustycznych, gdyż ich izolacyjność akustyczna przekracza 30 dB. Kompozyty te można też wykorzystywać w budownictwie jako izolację antywibracyjną lub cieplną.

#### LITERATURA

1. Jeziórska R.: *Polimery* 2005, **50**, 468.
2. „The Largest Online Source for Unbiased Carpet Information” w „The Carpet Buyers Handbook”, 01.2005.
3. Cieślak M., Schmidt H.: „Recykling materiałowy odpadów włókienniczych pokryć podłogowych”, w materiałach konferencyjnych II Środkowo-Europejskiej Konferencji „Recykling materiałów polimerowych nauka—przemysł”, Toruń 12—14.11.2003 r.
4. Błędzki A. K., Królikowski W.: *Polym. Recycl.* 2000, **5**, nr 3, 165.
5. „The Carpet Industry in the United States”, Carpet & Rug Institute, 01.2002.
6. National Agreement on Carpet Stewardship, Minnesota Office of Environmental Assistance, 01.2005.
7. Błędzki A. K., Królikowski W.: *Polimery* 2000, **45**, 29.
8. Weiss M., Momber A. W.: „From used carpet to caprolactam” w materiałach z seminarium „Recycling of Plastics in Europe”, Kassel, 6—7.06.2002.
9. Arroyo M., Ballesteros A., Lopez-Manchado M. A.: *Polym. Recycl.* 2000, **5**, nr 3, 145.
10. Mihut C., Captain D. K., Gadala-Maria E., Amirdis M. D.: *Polym. Eng. Sci.* 2001, **41**, 1457.
11. *Pat. kanad.* 2 348 886 (1999).
12. *Pat. niem.* 10 149 306 (2001).
13. *Publikacja WO* 03 035 350 (2002).
14. *Zgłosz. pat. USA* 2002 198 730 (2002).
15. *Pat. USA* 6 814 826 (2003).
16. *Pat. USA* 6 786 988 (2001).
17. *Zgłosz. pat. USA* 2003 075 824 (2003).
18. *Pat. europ.* 1 440 077 (2002).
19. *Pat. USA* 5 852 115 (1995).
20. *Pat. USA* 5 719 198 (1996).
21. *Pat. USA* 5 859 071 (1997).
22. *Pat. USA* 6 241 168 (1999).
23. *Pat. USA* 5 908 164 (1998).
24. *Pat. niem.* 19 636 847 (1996).
25. *Pat. europ.* 1 026 195 (2000).
26. *Pat. kanad.* 2 281 681 (1998).
27. *Pat. USA* 5 952 660 (1998).
28. *Pat. niem.* 10 011 254 (2000).
29. *Pat. USA* 6 814 826 (2003).
30. *Pat. USA* 6 786 988 (2001).
31. *Zgłosz. pat. polskie* P-368 222 (2004).
32. *Zgłosz. pat. polskie* P-370 967 (2004).
33. Kowalska E., Choroś M., Kuczyńska L.: *Recykling* 2005, nr 2 (50), 28.
34. Wykaz krajowych producentów ekranów akustycznych (uzyskany z AGH), 2005.
35. Cracker M. J.: „Encyclopedia of Acoustic”, J. Willey Publ., New York 1997.

Otrzymano 16 VIII 2005 r.