

Patrycja BAZAN, Stanisław KUCIEL, Zygmunt DZIECHCIOWSKI
Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny

Ocena możliwości wytwarzania spienionego polistyrenu modyfikowanego cząstkami naturalnymi dla zwiększenia wytrzymałości i zdolności do pochłaniania dźwięku

Streszczenie. W pracy oceniono możliwości wytworzenia polistyrenu spienionego modyfikowanego mikrocząstkami mikrocelulozy, zmielonej łupiny orzecha włoskiego, skrobi i wulkanicznego, porowatego tufu. Określono wpływ dodatków na właściwości wytrzymałościowe przy ściskaniu, jednorodność kompozycji oraz wpływ sezonowania na właściwości. Następnie wykonano badania współczynnika pochłaniania dźwięku oraz oceniono możliwość zastosowania takich kompozytów.

EVALUATION OF ABILITY TO PRODUCE EXPANDED POLYSTYRENE MODIFIED WITH NATURAL PARTICLES IN ORDER TO INCREASE POLYSTYRENE'S STRENGTH AND ABILITY TO SOUND ABSORB

Summary. In the work evaluation of ability to produce expanded polystyrene modified by microparticles of cellulose, milled rind of walnut, starch and volcanic, porous tuff was rated. Then the influence of additives on the properties of the compressive strength, homogeneity of the composition and the influence of seasoning on properties was defined. Next, a coefficient test of sound absorption was performed, and lastly, possibility of using such composites was evaluated.

WPROWADZENIE

Sposoby zapobiegania hałasowi

Hałas jest określany mianem zagrożenia cywilizacyjnego, ponieważ nie tylko jest uciążliwy i nieprzyjemny, ale i szkodzi zdrowiu. Dlatego ludzie dążą do stworzenia warunków ciszy i spokoju we własnych domach, miejscach pracy, co w dużym stopniu ułatwia rozwój coraz to nowych materiałów, które często pełnią dwie funkcje – tłumią dźwięki i zabezpieczają przed stratą ciepła.

Pochłanianie dźwięku przez materiały i wyroby dźwiękochłonne związane jest najczęściej z ich porowatą lub włóknistą strukturą. Można powiedzieć, że pochłanianie dźwięku jest to zjawisko pobierania energii akustycznej z rozpatrywanego obszaru środowiska, przez przenoszenie jej poza ten obszar, bądź zmianę na energię cieplną. Przykładowymi materiałami dźwiękochłonnymi są: akustyczna wełna mineralna, korek akustyczny, płyty pilśniowe i drewnopochodne, szkło piankowe oraz szeroko znany styropian czyli spieniony polistyren [1].

Polistyren do spieniania EPS

Spieniony polistyren jest tworzywem polimerowym, zawierającym środki spieniające. Do środków spieniających zalicza się m.in.: azotyn amonu, związki azowe (np. fenylohydrazyna), węgiel sodu, węgiel amonu oraz lotne ciecze, np. pentany, heksany, dichlorometan. EPS może zawierać dodatki polepszające przetwórstwo lub nadające uzyskanej piance specyficzne właściwości użytkowe, jak środki uniepalniające, zmniejszające przewodnictwo cieplne, obniżające absorpcję wody, smary zewnętrzne ułatwiające procesy przetwarzania, środki bar-

wiące itp. Typowym sposobem przetwórstwa EPS jest spienianie z udziałem pary wodnej lub pary wodnej i gazu obojętnego. Spienione perełki w kolejnym etapie można formować w bloki lub płyty i inne kształtki [2].

Spieniony polistyren stosuje się głównie jako materiał termoizolacyjny w chłodnictwie, budownictwie i innych gałęziach przemysłu. W Polsce spieniony polistyren produkowany jest np. pod nazwą Synthos EPS [3].

Porowaty polistyren można otrzymać kilkoma metodami, z których najważniejszą technicznie jest metoda oparta na polimeryzacji monomeru w obecności poroforów chemicznych (eter naftowy) lub niskowrzących cieczy (niskowrzące węglowodory jak pentan, heptan itp.) [4].

Porofory są to związki, które rozkładając się wydzielają gaz, powodujący spienienie litej masy tworzywa. Jako porofory stosuje się także niskowrzące ciecze nierozpuszczające polimeru, jak również gaz [3]. Piankowy polistyren z granulki zawierających niskowrzące ciecze otrzymuje się w wyniku następujących operacji: spieniania, sezonowania i formowania gotowych wyrobów.

Spienianie: Granulki pod wpływem ciepła ulegają spienianiu – wielokrotnie zwiększają swoją objętość, jednocześnie powstaje komórkowa struktura produktu. Temperatura jak i czas spieniania mają decydujący wpływ na ciężar objętościowy gotowego produktu.



Rys. 1. Schemat produkcji spienionego polistyrenu

Suszenie i sezonowanie: Suszenie przeprowadza się w suszarkach, np. komorowych w temperaturze 30-40°C. Jednocześnie prowadzi się sezonowanie spienionych granuliek. Polega ono na wymianie gazowej pentanu i powietrza w procesie dyfuzji przez ściany komórek, w których bezpośrednio po spienieniu panuje ciśnienie niższe od atmosferycznego.

Formowanie: W procesie formowania z granuliek otrzymuje się już gotowe wyroby. Odbywa się ono w formach, w podwyższonej temperaturze. Pod wpływem temperatury następuje dalsze zwiększenie objętości granuliek wskutek parowania pozostałej jeszcze w granulach cieczy i rozszerzania termicznego znajdującego się tam powietrza [3].

Sposoby modyfikacji polistyrenu

Pod pojęciem modyfikacji rozumie się otrzymywanie polimerów o określonych właściwościach metodą wymieszania ich z innymi polimerami lub środkami modyfikującymi, jak np. z napełniaczami [5].

W przemyśle można spotkać kilka sposobów modyfikacji polistyrenu do spieniania EPS, są to między innymi: polistyren z poliuretanem, czy polistyren z grafitem. Celem połączenia polistyrenu z poliuretanem jest wykonanie termoizolacji wentylowanych w sposób naturalny lub wymuszony, przy zachowaniu wysokiej izolacyjności. Modyfikacja polega na tym, że stały sztywny rdzeń termoizolacyjny wykonuje się z pianki poliuretanowej o gęstości 22-70 kg/m² z przewagą porów zamkniętych, korzystnie zawierającą w swej strukturze ekspandowany polistyren. W rdzeniu termoizolacyjnym wykonuje się rurowe kominki wentylacyjne. Sposób ten zapewnia pełne, trwałe oddychanie warstwy termoizolacyjnej, oraz stabilną ich paroprzepuszczalność [6]. Wytwarzanie spienionego polistyrenu z dodatkiem grafitu, pozwala na dodatkowe zwiększenie izolacyjności termicznej materiału, co pozwala na znaczne oszczędności, wynikające ze zmniejszenia zużycia energii potrzebnej do ogrzewania. Kolejną bardzo istotną właściwością jest jego odporność na czynniki biologiczne: pleśń, grzyby czy wilgoć. Tak modyfikowany spieniony polistyren nie powoduje gromadzenia się wilgoci w ścianach i można go wielokrotnie

poddawać recyklingowi, całkowicie wykorzystując do produkcji nowych wyrobów izolacyjnych [7].

BADANIA WŁASNE – RODZAJE PRÓBEK, METODYKA I OTRZYMANE WYNIKI

Polistyren firmy **Synthos EPS F** o wielkości cząstek 0,4-0,7 mm modyfikowany był takim dodatkami jak:

- **Celuloza** – **ARBOCEL UFC 100** o zawartości 99,5% celulozy i średniej długości włókna 8 μm i grubości włókna 2 μm;
- **Skrobia** – podstawowy materiał zapasowy roślin o wielkości 15-100 μm;
- **Tuf wulkaniczny** – napełniacz o wielkości uziarnienia około 20 μm;
- **Zmielona łupina orzecha włoskiego** – **REHOFIX MK100**, Firmy **J. RETTENMAIER&SÖHNE** o wielkości cząstek 80 μm – 120 μm.

W tabeli 1 znajdują się proporcje składników z jakich zostały wytworzone próbki. Wykonano po 4 próbki, dla każdego rodzaju mieszanin. Zdjęcie zaprojektowanej i wytworzonej formy przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Forma do wykonania próbek

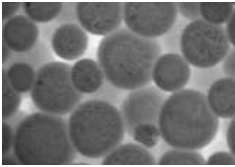
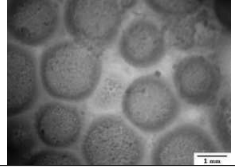
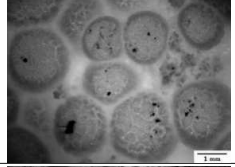

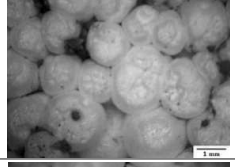
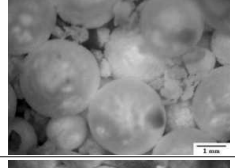
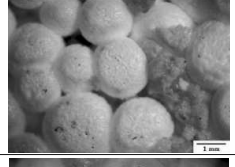
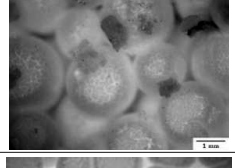
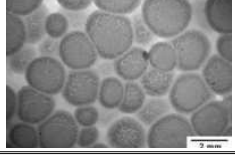
Na wytworzonych z zaprojektowanej formy próbkach wykonywane były badania:

- statyczna próba ściskania (rezultaty w tabeli 2);
- pomiar współczynnika pochłaniania dźwięku (Rys. 3 i 4);
- obserwacje mikroskopowe prezentowane w tabeli 2.

Tabela 1. Zestawienie wykonanych mieszanek

	PS	Celuloza	Tuf	Orzech	Skrobia	Woda	Masa próbki po spienieniu [g]	Gęstość próbek [g/cm ³]
Mieszanka I	15 g						14,472	0,077
Mieszanka II	12 g	6 g					17,125	0,091
Mieszanka III	15 g	5 g			5 g	5 ml	24,595	0,130
Mieszanka IV	12 g		6 g				16,271	0,086
Mieszanka V	15 g		5 g		5 g		23,667	0,126
Mieszanka VI	12 g			6 g			16,708	0,089
Mieszanka VII	12 g			8 g	8 g	5 ml	26,456	0,140
Mieszanka VIII	15 g			5 g	5 g	5 ml	23,156	0,123
Mieszanka IX	17 g				8 g	5 ml	21,886	0,116

Tabela 2. Porównanie właściwości wytrzymałościowych

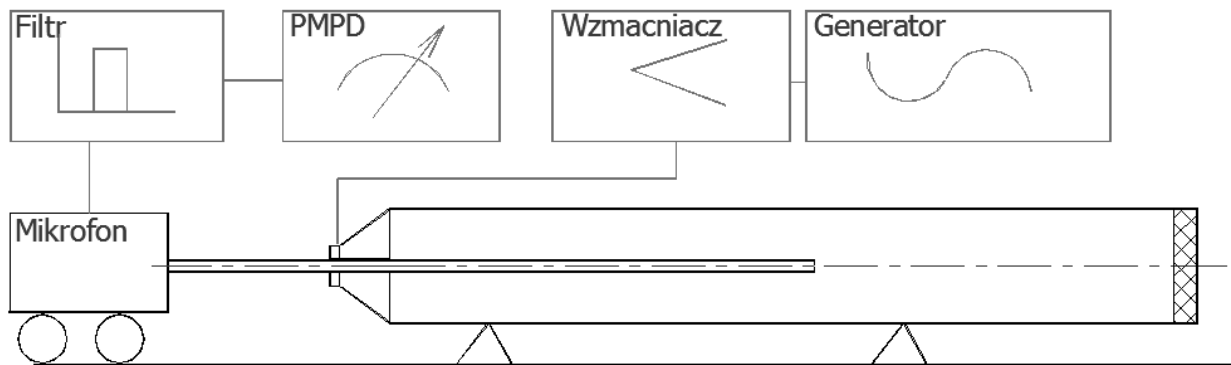
	σ_{10} [MPa]	v [%]	σ_m [MPa]	v [%]	E [MPa]	v [%]	Obraz kompozytu
Mieszanka I (PS)	0,5	1,2	2,5	1,0	2512	4,5	
Mieszanka II (PS, celuloza)	0,2	5,4	1,6	20	2283	15	
Mieszanka III (PS, celuloza, skrobia)	0,4	3,5	2,7	4,1	3206	17	
Mieszanka IV (PS, tuf)	0,2	1,3	1,2	1,5	1695	25	
Mieszanka V (PS, skrobia, tuf)	0,6	8,1	2,8	1,0	2972	16	
Mieszanka VI (PS, orzech)	0,3	1,5	2,6	1,5	3512	8,1	
Mieszanka VII (PS, skrobia 8g, orzech 8g)	0,3	1,2	2,8	1,0	3303	6,1	
Mieszanka VIII (PS, skrobia 5g, orzech 5g)	0,4	1,5	2,8	1,0	2866	5,3	
Mieszanka IX (PS, skrobia)	0,6	6,2	2,8	1,0	2615	7,6	

σ_{10} – naprężenia ściskające przy odkształceniu 10% zgodnie z PN EN 826:1998

σ_m – maksymalne naprężenie przy odkształceniu 90%

E – moduł sprężystości przy ściskaniu

v – współczynnik zmienności (odchylenie standardowe podzielone przez średnią arytmetyczną)



Rys. 3. Schemat toru pomiarowego współczynnika pochłaniania dźwięku α [8]

Zaobserwowano również pewien wpływ kondycjonowania przez okres 1 miesiąca na uzyskiwane właściwości mechaniczne, dlatego próbki badano po miesiącu od ich wytworzenia.

W tabeli 2 zestawiono wyniki badań właściwości wytrzymałościowych oznaczanych w próbie ściskania oraz obrazy kompozycji z mikroskopu optycznego.

Badanie współczynnika pochłaniania dźwięku wykonano dla wszystkich przygotowanych kompozycji na stanowisku pomiarowym, którego schemat pokazano na rysunku 3.

Po włączeniu sinusoidalnego źródła dźwięku w rurze powstaje fala stojąca, dla której ciśnienia akustyczne w jej strzałkach i węzłach mogą być mierzone bezpośrednio za pomocą ruchomej sondy mikrofonowej z wykorzystaniem precyzyjnego miernika poziomu dźwięku (PMPD). Zakładając, że ta sama rura nie wprowadza dużego tłumienia fal dźwiękowych, na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznych w strzałce (p_{\max}) i w węźle (p_{\min}) fali sto-

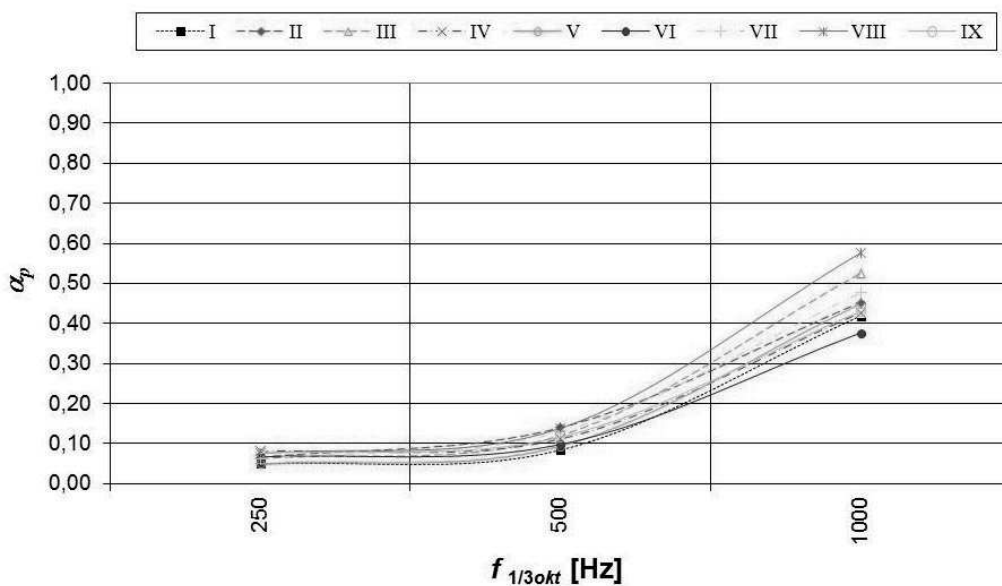
jącej, które są proporcjonalne do wartości napięć na wzmacniaczu mikrofonowym, współczynnik pochłaniania α wyznacza się zgodnie ze wzorem:

$$\alpha_{pr} = 1 - \left(\frac{p_{\max} - p_{\min}}{p_{\max} + p_{\min}} \right)^2 = 1 - \left(\frac{p_{\max} - 1}{p_{\max} + 1} \right)^2 = 1 - \delta^2$$

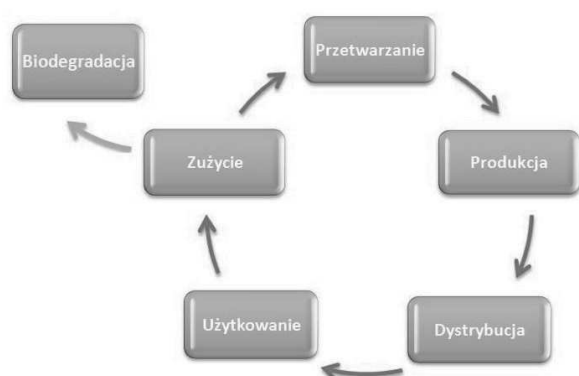
gdzie δ – współczynnik odbicia od powierzchni badanej próbki.

PODSUMOWANIE

Reasumując, dodatek naturalnych cząstek pogarsza właściwości mechaniczne uzyskiwane w próbie ściskania bez zastosowania dodatkowego składnika pro adhezyjnego jakim w tym przypadku była skrobia ziemniaczana zmieszana z wodą. Po uwzględnieniu wyników badań wytrzymałościowych i akustycznych najlepsze właści-



Rys. 4. Wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku próbek polistyrenowych dla pasm oktafowych o częstotliwościach środkowych 250 Hz, 500 Hz i 1000 Hz



Rys. 5. Proponowany schemat żywotności styropianu biodegradowalnego.

wości uzyskała kompozycja polistyrenu z orzechem. Mieszanki spienionego polistyrenu z orzechem jako jedyne uzyskały najniższy współczynnik pochłaniania dźwięku α , co oznacza, że własności akustyczne są lepsze niż własności kompozycji z czystego polistyrenu.

Wyniki badań wskazują, iż dodatek masowo 40-60% cząstek pochodzenia naturalnego do spienionego może poprawić własności wytrzymałościowe oraz akustyczne. Celem dalszych badań będzie ocena zmian przewodności cieplnej, tak aby wytworzyć nowej jakości kompozytowy spieniony polistyren, który byłby nie tylko materiałem dobrym do izolacji cieplnej ale także dobrze tłumiącym hałas.

Ciekawym pomysłem na przyszłość, jest możliwość zastosowania polistyrenu biodegradowalnego [9, 10, 11], tak aby powstał kompozyt całkowicie kompostowalny

z bardzo korzystnym cyklem obiegu materiału w przyrodzie, którego idea pokazana została na rysunku 5.

Bibliografia:

- [1] Engel Z.: *Ochrona Środowiska przed Drganiami i Hałasem*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [2] Gibas E.: *Tworzywa styrenowe – odmiany, otrzymywanie, właściwości*, Czasopismo Plast News, nr 11, 2012.
- [3] Hertz Z., Krajewski B., Penczek I., Płochocki A., Wiecheć T.: *Polistyren*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1962.
- [4] Kuciel S., Kuźniar P.: *Materiały Polimerowe*, Politechnika Krakowska, Kraków 2013.
- [5] Saechtling H.: *Tworzywa sztuczne – poradnik*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
- [6] Patent PL 198691 B1, 27.08.2001, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [7] Rekomendacja Instytutu Techniki Budowlanej RTQ ITB 1260/2013.
- [8] Czerwiński A., Dziechciowski Z., Kuciel S., Prociak T., Research of acoustical and mechanical properties of innovation polyurethane materials, XX KONFERENCJA INŻYNIERII AKUSTYCZNEJ I BIOMEDYCZNEJ, Zakopane, 15–19 kwietnia 2013.
- [9] Biodegradable polystyrene foaming products US 6090863 A, USA 2000.
- [10] Chmielnicki B., Jurczyk S.: Kompozyty WPC jako alternatywa dla wytworów z drewna; *Przetwórstwo Tworzyw* nr 5, 2013 r.
- [11] Chmielnicki B., Konieczny J.: Właściwości kompozytów WPC o osnowie polietylenowej napełnionych mączką z łupin orzechów; *Przetwórstwo Tworzyw* nr 1, 2014 r.