

Ryszard Maćkowski

## LEKKIE ZLEPIENIE FENOLOWE - NOWY MATERIAŁ NA RDZEŃ ELEMENTÓW WARSTWOWYCH

**Streszczenie:** Nowym, wykazującym szereg cennych zalet materiałem na rdzeń elementów warstwowych mogą być lekkie zlepienie fenolowe. Podstawowymi składnikami lekkich zlepieńców fenolowych są kruszywa lekkie (keramzyt, rozdrobnione szkło piankowe) oraz rezolowa żywica fenolowo-formaldehydowa. Przedstawiono technologię wytwarzania, podstawowe własności oraz kierunki zastosowań tych materiałów.

### 1. Wstęp

Charakterystyczną cechą nowoczesnej techniki budowlanej jest lekkość rozwiązań konstrukcyjnych. Jednym ze sposobów osiągnięcia lekkości konstrukcji budowlanych jest stosowanie materiałów o wysokich cechach mechanicznych oraz niskim ciężarze. Wymagania te w dziedzinie elementów płytowych spełniają konstrukcje warstwowe. Płyta warstwowa składa się z dwóch okładzin oraz położonego między nimi rdzenia. Najczęściej stosowanymi obecnie materiałami na rdzeń elementów warstwowych są: spienione tworzywa sztuczne (w postaci płyt lub spieniane "in situ"), rdzenie komórkowe np. papier przesycony żywicą. Mimo wielu zalet rdzenie elementów warstwowych wykazują pewne wady, z których przede wszystkim należy wymienić: niską odporność termiczną oraz niską klasę odporności ogniowej. Wady te zawężają zakres stosowania płyt warstwowych. Można je jednak w znacznym stopniu wyeliminować stosując na rdzeń elementów warstwowych lekkie zlepienie fenolowe o strukturze jamistej lub jamisto-komórkowej.

## 2. Lekkie zlepienie fenolowe o strukturze jamistej

Lekkie zlepienie fenolowe o strukturze jamistej powstają w wyniku zespolenia ziarn kruszywa lekkiego o granulacji 4-40 mm, otoczonych warstewką żywicy fenolowo-formaldehydowej uprzednio wymieszanej z utwardzaczem. Betony takie zostały opisane w publikacji [1]. Zawierały one keramzyt jako kruszywo oraz żywicę fenolowo-formaldehydową jako środek wiążący. Zastosowany keramzyt miał niski stosunkowo ciężar nasypowy - 300 do 400 kg/m<sup>3</sup> oraz małą powierzchnię właściwą 4-5 cm<sup>2</sup>/g. Dzięki temu można było uzyskać dobry materiał izolacyjny przy niewielkim stosunkowo zużyciu żywicy. Jako optymalną uważa się zawartość żywicy w ilości 35-40 kg/m<sup>3</sup>. Do określenia zapotrzebowania żywicy może służyć wzór:

$$Z = \frac{0,3 g_0 \delta_z \delta_n}{\delta_0 \bar{r}}$$

w którym:

- Z - ilość żywicy w kg na m<sup>3</sup> zlepieńca polimerowego,
- $g_0$  - grubość otoczki żywicznej ziarna w mm,
- $\delta_z$  - ciężar właściwy żywicy w kg/m<sup>3</sup>,
- $\delta_n$  - ciężar nasypowy kruszywa w kg/m<sup>3</sup>,
- $\delta_0$  - ciężar objętościowy kruszywa w kg/m<sup>3</sup>,
- $\bar{r}$  - średni promień ziarn kruszywa w mm.

Rzeczywiste zużycie żywicy może ulec półtorakrotnemu nawet zwiększeniu z powodu istnienia odkrytych porów na powierzchni ziarn kruszywa.

W badaniach lekkich zlepieńców jamistych zastosowano keramzyt jednofrakcyjowy (4-10 lub 10-20), dwufrakcyjowy (4-10 i 10-20 lub 10-20 i 20-40) i trójfrakcyjowy (4-10, 10-20, 20-40), glinoporyt jednofrakcyjowy (4-10 lub 10-20) oraz żupkoporyt jednofrakcyjowy (4-10). Jako środka wiążącego użyto żywicy fenolowo-formaldehydowej typu AG (w mniejszym zakresie) i F-110 (w większym zakresie). W zlepieńcach keramzytowych stosunek utwardzacza AG (kwasu benzenosulfonowego) do żywicy wynosił 0,18. W zlepieńcach glinoporytowych stosunek ten zmieniał się od 0,20 do 0,26 a w zlepieńcu żupkoporytowym osiągnął wartość 0,30. Skład tych zlepieńców scharakteryzowano w tablicy 1.

Proces wytwarzania lekkich zlepieńców fenolowych o strukturze jamistej obejmuje: sortowanie kruszywa, przygotowanie spoiwa przez wymieszanie żywicy z utwardzaczem, mieszanie kruszywa ze spoiwem żywicznym, układanie masy w formach z lekkim ubijaniem, utwardzanie chemiczne zlepieńca i rozformowanie. Mieszanie kruszywa ze spoiwem żywicznym może się odbywać w betoniarnie o ruchu wymuszonym lub wolnospadowej. Niezbędny czas mieszania 2-4 minut.

Podstawowe własności lekkich zlepieńców jamistych określano po 14 dniach od momentu ich wykonania. Wytrzymałość na ściskanie określano na kostkach o boku 20 cm, a moduł odkształcalności na walcach  $d = 15$ ,  $h = 30$  cm w zakresie  $0,05-0,35 \sigma_{max}$ . Współczynnik przewodności cieplnej oznaczano na płytkach o wymiarach 8 x 20 x 25 cm w aparacie Bock'a. Pomiar rozpoczynano po ustaleniu się laminarnego przepływu ciepła i trwał on 2 godziny. Niektóre własności lekkich zlepieńców jamistych zebrano w tabelicy 1.

Wykonane lekkie zlepieniec fenolowe mają dosyć wysoki ciężar objętościowy, co jest związane bezpośrednio z ciężarem nasypowym stosowanych kruszyw. Obecnie brak jest w kraju kruszyw lekkich o niższych ciężarach nasypowych. Największe szanse na zastosowanie w ustrojach warstwowych mają lekkie zlepieniec keramzytowe, gdyż istnieje możliwość produkcji keramzytu o ciężarze nasypowym  $300-400 \text{ kg/m}^3$ . Stosowanie takiego keramzytu pozwoli na obniżenie ciężaru objętościowego oraz poprawienie własności cieplnych lekkich zlepieńców fenolowych. Ziarna keramzytu mają kształt zbliżony do kuli i spieczoną, nieporowatą powierzchnię i dlatego zlepieniec z tym kruszywem można wytwarzać przy minimalnym zużyciu żywicy.

### 3. Lekkie zlepieniec fenolowe o strukturze jamisto-komórkowej

Jeżeli wypełnimy pustki w jamistym stosie okruszowym spienionym tworzywem sztucznym o dostatecznej wytrzymałości, sztywności i przyczepności do kruszywa, to otrzymamy materiał, który może być traktowany jako poroplast z wypełniaczem gruboziarnistym lub jako lekki zlepieniec o strukturze jamisto-komórkowej. Technologią wytwarzania zlepieńców c

Tablica 1

Skład i własności lekkich zlepieńców fenolowych o strukturze jamistej

Rodzaj kruszywa frakcje i sto- sunek frakcji	Stosunek ciężarowy żywi- cy F-110 lub AG do kruszywa	Ciężar ob- jętościowy zlepieńca $\gamma_b$	Wytrzyma- łość kost- kowa na ściskanie $R_s$	Moduł od- kształcal- ności $E$	Współczyn- nik prze- wodz. ciepła $\lambda$
		$\text{kg/m}^3$	$\text{kg/cm}^2$	$\text{kg/cm}^2$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m.h.}^\circ\text{C}}$
Keramzyt 4 - 10	0,20 <sup>x)</sup>	895	49	16980	0,251
	0,20	886	41	19300	0,283
	0,10	823	23	11470	0,243
Keramzyt 10 - 20	0,15 <sup>x)</sup>	811	34	23120	0,221
	0,10	595	13	8130	0,206
Keramzyt 4 - 10 1:1 10 - 20	0,11	571	10	6880	0,188
Keramzyt 10 - 20 1:1 20 - 40	0,10	510	9	5970	0,180
Keramzyt 4 - 10 10 - 20 1:1:1 20 - 40	0,11	560	12	10700	0,186
Glinoporyt 4 - 10	0,15 <sup>x)</sup>	883	23	11250	0,306
	0,15	872	16	11900	0,333
Glinoporyt 10 - 20	0,14 <sup>x)</sup>	755	13	6680	
	0,14	768	19	9390	0,298
Łupkoporyt 4 - 10	0,20	1020	72	14730	0,311

x) Środkiem wiążącym w danej serii próbek była żywica fenolowo-formalde-  
hydowa typu AG.

strukturze jamisto-komórkowej zajmowały się firmy: Bayer [2] oraz Dynamit Nobel [3,4] w NRF.

Chcąc otrzymać zlepienie jamisto-komórkowy o optymalnej wytrzymałości przy minimalnym ciężarze objętościowym trzeba szczególną uwagę zwrócić na dobór kruszywa. W pracach [2] i [3] zaleca się przede wszystkim keramzyt i granulowane szkło piankowe. Dalej wymienia się łupkoporyt i wermikulit. Najkorzystniejsze są kruszywa złożone z ziarn grubych (5-30 mm) o kształcie zbliżonym do kulistego. Frakcje drobne poniżej 3 mm są zbędne.

Jako substancje wiążące i zapełniające puste przestrzenie między ziarnami kruszywa stosowano dotychczas poroplasty: fenolowo-formaldehadowy, poliuretanowy i poliestrowy. W publikacji [3] opisano szczegółowo fenolowy zlepienie jamisto-komórkowy. Powstaje on przy użyciu żywicy fenolowo-formaldehadowej typu rezolowego (firma Dynamit Nobel oferuje do tego celu specjalną żywicę o symbolu T612S), poroforu (fluorotrójchlometanu) i utwardzacza (kwasu benzenosulfonowego). Wszystkie te składniki po homogenizacji mieszają się z lekkim kruszywem i masę przesypuje do formy, gdzie następuje spienianie żywicy i utwardzenie zlepienia.

Elementy z fenolowego zlepienia jamisto-komórkowego można wykonywać dwoma sposobami:

1. Formę wypełnia się kruszywem, a następnie zalewa się to kruszywo ciekłą kompozycją składającą się z żywicy, poroforu i utwardzacza. Zalewanie powinno się prowadzić tak, by spływająca po kruszywie żywicą tworzyła meandry - umożliwi jej to bardziej równomierne rozprzestrzenianie się w kruszywie. Po zalaniu kruszywa kompozycją forma zostaje zamknięta a w jej wnętrzu odbywa się proces porowania kompozycji, dzięki czemu wypełnione zostają wolne przestrzenie w kruszywie.
2. Przewidziane do wykonania danego elementu ilości kruszywa i kompozycji wprowadza się kolejno do betoniarki wolnospadowej i miesza przez 2-3 min. Kruszywo, którego ziarna zostały otulone kompozycją, przesypuje się z betoniarki do przygotowanej formy, która po wypełnieniu zostaje zamknięta.

Pierwszy sposób nie zapewnia, mimo meandrowania, równomiernego rozkładu poroplastu w całym elemencie. Znacznie korzystniejsze jest wykonywanie zlepieńca przez mieszanie kruszywa i kompozycji spieniającej się w betoniarce wolnospadowej wykonującej 20-22 obr/min.

Przy całkowitym wypełnieniu zamkniętej formy powstaje w jej wnętrzu parcie ekspandującej kompozycji, które może osiągnąć wartość 1-2 kg/cm<sup>2</sup>. Aby nie dopuścić do deformacji form i zmiany ustalonych wymiarów elementów, trzeba zastosować odpowiednie usztywnienia i obejmy.

Dla uniknięcia przyklejania się lekkiego zlepieńca jamisto-komórkowego do formy zalecane jest wykładanie jej folią polichlorowinyłową lub polietylenową. Stosowanie środków antyadhezyjnych w postaci cieczy lub past nie jest wskazane, gdyż utrudnia późniejsze zespalandie zlepieńca z okładzinami.

Dobra przyczepność lekkiego zlepieńca fenolowego do innych materiałów umożliwia proste wykonywanie elementów warstwowych. Okładziny wkładają się do formy a ekspandująca kompozycja zapewnia - dzięki swej kleistości - wystarczająco mocne na ogół połączenie z rdzeniem. Okładziny metalowe i azbestocementowe wymagają zabezpieczenia przed szkodliwym wpływem kwaśnego utwardzacza zawartego w kompozycji spieniającej się.

Do wytwarzania lekkich zlepieńców fenolowych o strukturze jamisto-komórkowej stosowano rezolową żywicę fenolowo-formaldehydową o symbolu F-110. Żywica F-110 jest brunatnoczerwona cieczą o lepkości 100-150 sek na kubku Forda nr 6. Przez wymieszanie kwasu benzenosulfonowego ze środkiem powierzchniowo czynnym i cieczą niskowrzącą otrzymano "premix", który po zmieszaniu z żywicą F-110 powodował jej spienianie [5]. Otaczanie kruszywa kompozycją przewidzianą do spieniania odbywała się w laboratoryjnej betoniarce wolnospadowej o pojemności 50 litrów przez około 2 minuty. Następnie masę wsypywano do form, które szczelnie zamykano. Po rozformowaniu próbki przechowywano przez 14 dni w warunkach powietrzno-suchych a następnie określano wytrzymałość na ściskanie, zginanie, moduł odkształcalności i współczynnik przewodności cieplnej (tablica 2). Dla umożliwienia porównań przedstawiono w tablicy 3 własności lekkich zlepieńców fenolowych firmy Dynamit Nobel opisanych w publikacji [4].

Tablica 2

Skład i własności lekkich zlepieńców fenolowych o strukturze jamiasto-komórkowej

Rodzaj kruszywa, frakcje, stosunek frakcji	Stosunek ciężar. żywicy do kruszywa	Ciężar objęto- ściowy kg/m <sup>3</sup>	Wytrzymałość		Moduł odkształ- calności E kg/cm <sup>2</sup>	Współczynnik przew. ciepła λ kcal m.h. °C
			kostkowa R 20	na zginanie R <sub>g</sub>		
4 - 10	0,18	730	10	-	-	-
4 - 10	0,24	815	24	12	11830	0,223
10-20 <sup>1)</sup>	0,12	725	7	5	-	0,165
10 - 20 <sup>1)</sup>	0,18	732	7	5	-	0,173
4-10, 10-20 1:1 <sup>2)</sup>	0,18	742	15	11	7680	0,213
10-20, 20-40 1:1 <sup>2)</sup>	0,18	552	11	5	4670	0,182
4-10, 10-20 20-40 1:1:1 <sup>2)</sup>	0,18	575	10	11	9650	0,183
Glinoporyt <sup>2)</sup> 4-40	0,20	818	13	8	7290	0,235
Glinoporyt <sup>3)</sup> 4-10	0,20	786	8	9	5870	0,210
Łupkoporyt 4-10	0,20	970	24	-	-	0,243

1) Trzecią część kruszywa podgrzano do 100°C

2) Czwartą część kruszywa podgrzano do 100°C

3) Połowę kruszywa podgrzano do 100°C.

Uwaga: W porobetonach keramzytowych stosunek utwardzacza do żywicy wynosił 0,21. W porobetonie łupkoporytowym stosunek ten miał wartość 0,25.

Tablica 3

Skład i własności mechaniczne (w  $\text{kg/cm}^2$ ) lekkich zlepieńców fenolowych o strukturze jamisto-komórkowej wg [4]

Własność	Dane
Uziarnienie kruszywa	3 - 10 mm 50% 10 - 20 mm 50%
Zawartość żywicy typu T612 S	30% (cięż.)
Ciężar objętościowy w $\text{kg/m}^3$	420
Wytrzymałość kostkowa na ściskanie wg DIN 1048	11 - 13
Wytrzymałość słupowa na ściskanie	13
Wytrzymałość na zginanie wg DIN 1048 (określana na belkach 15 cm x 10 cm x 70 cm)	13
Odkształcenia przy ściskaniu wg DIN 1101 (na płytach 20 cm x 20 cm)	0,25%
Moduł E przy ściskaniu	4000

Lekkie zlepienie fenolowe o strukturze jamisto-komórkowej wytwarzane doświadczalnie wykazały zadowalające własności mechaniczne przy oszczędnym stosunkowo dawkowaniu żywicy. Nie ustępują one pod tym względem zlepieńcom opartym na żywicach i recepturach firmy Dynamit Nobel. Duży stosunkowo ciężar objętościowy zlepieńców scharakteryzowanych w tablicy 2 wynika z tego, że stosowane do ich wytwarzania kruszywa należą do wyższych klas. I tak np. keramzyt 4-10 wykazał następujące wartości ciężaru nasypowego: w stanie luźnym  $G_1 = 602 \text{ kg/m}^3$ , w stanie zęszczonym  $G_n = 645 \text{ kg/m}^3$ . Dla frakcji 10-20 tegoż kruszywa otrzymano  $G_1 = 505 \text{ kg/m}^3$  i  $G_n = 533 \text{ kg/m}^3$ .

Dla ułatwienia porównania żywicy podgrzano część kruszywa wprowadzanego do lekkich zlepieńców fenolowych (tablica 2). Po zmieszaniu części kruszywa podgrzanej do  $100^\circ\text{C}$  z częścią nie podgrzewaną (o temp. około  $19^\circ\text{C}$ ) w betoniarnie wolnospadowej, ustalała się temperatura całego kruszywa na poziomie około  $30^\circ\text{C}$ . Przy tej temperaturze następowało

mieszanie kruszywa z kompozycją przeznaczoną do spieniania mającą wypełnić pustki między ziarnami.

Wynikiem prowadzonych ostatnio badań lekkich zlepieńców fenolowych o strukturze jamisto-komórkowej, w których jako kruszywo zastosowano rozdrobnione, odpadowe szkło piankowe, jest doskonały materiał na rdzeń elementów warstwowych. Wytrzymałość na ściskanie takiego zlepieńca wynosi  $5-9 \text{ kg/cm}^2$ , ciężar objętościowy około  $200 \text{ kg/cm}^3$  a współczynnik przewodności cieplnej mieści się w granicach  $0,04-0,07 \text{ kcal/m h}^\circ\text{C}$ . Odporność termiczna osiąga wartość  $200^\circ\text{C}$ . Zlepieniec ten jest niepalny, jednakże w temperaturach powyżej  $500^\circ\text{C}$  następuje termiczny rozkład żywicy fenolowo-formaldehdowej i zniszczenie pianki. Materiał jednakże nie ulega całkowitemu zniszczeniu, gdyż granulki szkła piankowego w tych warunkach spiekają się i tworzą sztywny szkielec. Szerszą charakterystykę tego zlepieńca można będzie podać dopiero po całkowitym zakończeniu badań.

Zastosowanie lekkich zlepieńców fenolowych o strukturze jamisto-komórkowej pozwala nam wyeliminować dwie z głównych wad piankowych rdzeni płyt warstwowych - niską odporność termiczną i palność. Jednocześnie wzrastają własności wytrzymałościowe rdzenia przy nieznacznym tylko podwyższeniu ciężaru płyty.

Stosowanie żywic fenolowo-formaldehdowych do wytwarzania elementów warstwowych metodą spieniania między okładzinami jest ograniczone. Obserwacje takich elementów wykazały, że proces chemicznego utwardzania żywicy trwa nawet kilka dni, przy czym towarzyszy mu skurcz wytworzonej pianki. Skurcz ten powoduje wystąpienie sił ścinających, które odrywają okładzinę od rdzenia piankowego. Zapobiec temu można częściowo przez dość skomplikowane kondycjonowanie płyt [5]. Zastąpienie pianek fenolowych lekkimi zlepieńcami o strukturze jamisto-komórkowej eliminuje ujemne skutki spowodowane skurczem pianki.

Podsumowując wyniki badań oraz doświadczenia zebrane w trakcie opracowywania technologii wytwarzania lekkich zlepieńców fenolowych o strukturze jamisto-komórkowej można wyszczególnić następujące ich zalety:

- prosty sposób wytwarzania,
- wysoki stopień prefabrykacji,
- szybka produkcja,

- minimalne koszty inwestycji,
- niska przewodność cieplna,
- niski ciężar objętościowy,
- dobre własności wytrzymałościowe,
- odporność na starzenie,
- odporność na działanie wilgoci,
- odporność na działanie podwyższonych temperatur oraz ognia,
- odporność na działanie mikroorganizmów.

#### 4. Kierunki zastosowań lekkich zlepieńców fenolowych

Lekkie zlepieńce fenolowe, ze względu na bardzo korzystne własności i niezbyt wysoki koszt wytwarzania są doskonałym materiałem na rdzeń płyt warstwowych, które obecnie znajdują zastosowanie głównie w budownictwie halowym. Jednakże poważnym odbiorcą płyt warstwowych w najbliższej przyszłości stanie się budownictwo komunalne, gdyż ich stosowanie powinno pójść w dwóch kierunkach:

- do ścian osłonowych wielokondygnacyjnych budynków szkieletowych zarówno o charakterze usługowym, biurowym jak i mieszkalnym,
- do ścian nośnych oraz stropodachów jedno- lub dwukondygnacyjnych budynków mieszkalnych.

Istnieją również szerokie możliwości wykorzystania lekkich zlepieńców fenolowych w uprzemysłowionym budownictwie rolniczym - obiekty inwentarskie [2].

#### LITERATURA

1. Соколатов В.И.: Полимерцементные бетоны и пластбетоны. Изд. Лит. по Строительству - Москва 1967.
2. Schultheis H.: Hartschaum - Leichtbeton. Kunststoffe im Bau. Heft 17 1970.
3. Jünger H., Weissenfels F.: Phenolharzgebundener Kunststoff-Leichtbeton. Kunststoffe im Bau. Heft 17, 1970.
4. Dynamik Nobel A.G.: Phenolharzschaumstoff aus den Spezialharzen T 610S und T 612S. Broszura informacyjna. Troisdorf.
5. Kapko J., Płatkowski A., Maciejewska W.: Konstrukcyjne elementy warstwowe z rdzeniem ze spienionego tworzywa sztucznego. Inżynieria i budownictwo, 3/1971.

**LICHTWEIGHT PHENOL - RESIN CONCRETE - NEW MATERIAL  
FOR LAMINATE CORES****S u m m a r y**

Lightweight phenol-resin concrete shows several valuable features and it has been found to be a good new material for laminate cores. Lightweight aggregates (expanded clay, granular foaming glass) and phenol-formaldehyde resin are the main components of the concrete. Technology of production, basic properties and ways of application have been given.

**LEICHTE PHENOLHARZBETONE - EIN NEUES KERNMATERIAL  
FÜR VERBUNDBAUELEMENTE****Z u s a m m e n f a s s u n g**

Leichte Phenolharzbetone, welche eine Reihe wertvoller Eigenschaften aufweisen, können als neues Kernmaterial für Verbundbauelemente angewandt werden.

Die Hauptrohstoffe sind: leichte Füllstoffe (Blähton, zerkleinertes Schaumglas) sowie Resol - Phenol - Formaldehyd - Harz.

Man stellte den technologischen Verlauf dar, ebenfalls die wichtigsten Eigenschaften und Verwendungsrichtungen dieser Stoffe.