

mgr inż. Agnieszka Chowaniec^{1)*}

ORCID: 0000-0003-4833-044X

dr inż. Sławomir Czarnecki¹⁾

ORCID: 0000-0001-8021-943X

dr hab. inż. Łukasz Sadowski, prof. uczelni¹⁾

ORCID: 0000-0001-9382-7709

Lepkość płynnej żywicy epoksydowej modyfikowanej odpadowymi mączkami wapiennymi

Viscosity of liquid epoxy resin modified with waste limestone powders

DOI: 10.15199/33.2021.04.04

Streszczenie. W artykule omówiono wpływ modyfikacji płynnej żywicy epoksydowej odpadową mączką wapienną na jej lepkość kinematyczną. Badania przeprowadzono na dwóch seriach próbek żywicy epoksydowej zawierającej oraz pozbawionej utwardzacza. Jako dodatek zastosowano odpadową mączkę wapienną w trzech frakcjach. Do badań przygotowano dwie mieszaniny referencyjne. W przypadku każdego dodatku wykonano po pięć mieszanin o różnej zawartości odpadowej mączki wapiennej. Badano lepkość kinematyczną za pomocą kubka wypływowego. Wykazano, że wraz ze wzrostem ilości odpadowej mączki wapiennej zwiększa się lepkość kinematyczna płynnej żywicy epoksydowej zarówno bez, jak i z utwardzaczem. Dodatkowo udowodniono, że lepkość kinematyczna żywicy epoksydowej z dodatkiem odpadowej mączki wapiennej zależy głównie od ilości tego dodatku, a w pomijalnie małym stopniu od wielkości jego ziaren i składu.

Słowa kluczowe: posadzka z żywicy epoksydowej; odpadowa mączka wapienna; lepkość.

Abstract. The main aim of the article is to describe the influence of modification of liquid epoxy resin with waste limestone powders on its kinematic viscosity. The tests were carried out for two series of samples: epoxy resin with and without a hardener. As an additive, waste limestone powders were used in three fractions. Two reference mixtures were prepared for the tests, one for each series. For each additive, five mixtures were made with different contents of the waste limestone powder. The kinematic viscosity of the prepared mixtures was tested using a flow cup. On the basis of the research, it was shown that with the increase in the amount of waste limestone powder, the kinematic viscosity of the liquid epoxy resin increases, both with and without the hardener. Additionally, it has been proved that the kinematic viscosity of epoxy resin with the addition of waste lime powder mainly depends on the amount of this additive, and to a negligible extent on the grain size and composition of this additive.

Keywords: epoxy resin coating; waste limestone powder; viscosity.

Ostatnio coraz większym zainteresowaniem, szczególnie w budownictwie przemysłowym, cieszą się posadzki epoksydowe, mimo że ich koszt to ok. 13 000 EUR/m³, a np. betonu C25/30 – 100 EUR/m³ [1]. Wynika to m.in. z ich dużej odporności chemicznej oraz łatwości czyszczenia. Należy wspomnieć, że żywice epoksydowe są bardzo szkodliwe dla środowiska, a długotrwała praca przy ich produkcji i nakładaniu może wywołać alergię. Związki zawarte w żywicy epoksydowej mogą utrzymywać się w środowisku przez bardzo długi czas. W związku z tym istnieje potrzeba znalezienia rozwiązania, które zmniejszyłoby całkowitą masę żywicy używanej do wytwarzania tych powłok. Idealnym rozwiązaniem byłoby

by wykorzystanie odpadów z wydobycia i przetwarzania surowców mineralnych, które są obecnie jednym z największych strumieni odpadów w Unii Europejskiej [2]. **Jako dodatek mogłyby być stosowane odpadowe mączki wapienne**, których wprowadzenie do żywicy epoksydowej pozwoliłoby zmniejszyć jej zużycie oraz szkodliwość.

Mimo dużego znaczenia powłok z żywic epoksydowych w budownictwie, dotychczas przeprowadzono niewiele badań ich właściwości i dotyczą one głównie żywic epoksydowych, a nie powłok z nich wykonanych. Co więcej, badania nad wykorzystaniem materiałów odpadowych w żywicach epoksydowych są nieliczne.

Jedną z najważniejszych cech płynnej żywicy epoksydowej jest **lepkość**, istotna ze względu na łatwość mieszania oraz aplikację powłoki na podkład. Żywice epoksydowe charakteryzują się du-

żą lepkością, a dodatek mączki zwykle jeszcze ją zwiększa. Maksymalna procentowa zawartość mączki wapiennej w żywicy epoksydowej może zależeć od kształtu i średnicy ziaren mączki, jej rozrzutu i wzajemnego oddziaływania z żywicą [5]. Z tego powodu istotne jest zbadanie wpływu odpadowych mączek mineralnych na lepkość płynnej żywicy epoksydowej.

Wyróżnia się lepkość kinematyczną i dynamiczną. Lepkość kinematyczna jest miarą oporu przepływu płynu pod wpływem grawitacji [5] i może być mierzona kubkiem wypływowym. Natomiast lepkość dynamiczna jest mierzona przy dużej prędkości ścinania za pomocą viskozymetrów typu stożek-płytką. W literaturze znajdują się szacunkowe wyniki badania lepkości żywicy epoksydowej. Stabik i inni [5] wykazali, że dodatek proszku ferrytu zwiększa lepkość dynamiczną ciekłej żywicy epoksydowej, ale wraz ze wzro-

¹⁾ Politechnika Wroclawska; Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*} Adres do korespondencji:

agnieszka.chowaniec@pwr.edu.pl

stem jej temperatury zmniejsza się lepkość dynamiczna. Szewczak i Szelaąg [6, 7] stwierdzili, że dodatek 0,5% mikrokrzemionki zmniejsza lepkość dynamiczną żywicy epoksydowej, natomiast 0,1% nanorurek węglowych znacznie ją zwiększa. Pokazuje to potrzebę prowadzenia dalszych badań.

Głównym celem artykułu jest ocena wpływu modyfikacji żywicy epoksydowej odpadowymi mączkami wapiennymi na jej lepkość oraz procentowej zawartości, wielkości ziaren i składu odpadowych mączek wapiennych na lepkość kinematyczną żywicy epoksydowej przed i po zmieszaniu z utwardzaczem.

Metoda badań

Badano płynną żywicę epoksydową stosowaną do wykonywania posadzek epoksydowych, składającą się z komponentów A i B, przy czym komponent A zawierał żywicę epoksydową na bazie bisfenolu A, a komponent B stanowił utwardzacz. Analizy przeprowadzono w dwóch seriach: I – tylko w przypadku komponentu A (tzw. żywica epoksydowa) oraz II – w przypadku zmieszania komponentów A i B (tzw. żywica epoksydowa z utwardzaczem). Proporcje wagowe mieszania wynosiły A : B = 100 : 50. Żywicę epoksydową modyfikowano odpadową mączką wapienną w trzech rodzajach (tabela 1). W celu zbadania wpływu odpadowej mączki wapiennej na lepkość żywicy epoksydowej oraz

Tabela 1. Skład i wielkość ziaren odpadowych mączek wapiennych (na podstawie danych producenta)

Table 1. Composition and grain size of waste limestone powders (based on the manufacturer's data)

Oznaczenie odpadowej mączki wapiennej	Skład	Wielkość ziaren
MW20	min. 97,1% CaCO ₃ , max. 0,1% Fe ₂ O ₃	99,9% poniżej 0,020 mm (na podstawie badań własnych)
MW75	min. 54,4 % CaCO ₃ , max. 0,08% Fe ₂ O ₃	85% poniżej 0,075 mm
MW500	min. 54,4 % CaCO ₃ , max. 1,0% MgO, max. 1,5% SiO ₂ , max. 0,08% Fe ₂ O ₃ , max. 0,30% Al ₂ O ₃	85% poniżej 0,500 mm

żywicy epoksydowej z utwardzaczem wykonano po 5 mieszanin różniących się procentową zawartością odpadowej mączki wapiennej w stosunku do masy całej mieszaniny. Skład każdej mieszaniny w przeliczeniu na 100 g żywicy epoksydowej przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Skład mieszaniny żywicy epoksydowej modyfikowanej odpadowymi mączkami wapiennymi z i bez utwardzacza

Table 2. Compositions of mixtures of epoxy resin modified with waste limestone powders with and without a hardener

Seria mieszanin	Zawartość odpadowej mączki wapiennej [%]	Masa żywicy epoksydowej [g]	Masa utwardzacza [g]	Masa odpadowej mączki wapiennej [g]
Seria I – żywica epoksydowa bez utwardzacza				
I-R-0	0	100	0	0
I-MW 20-11	11	100	0	12
I-MW...-19	19	100	0	24
I-MW...-29	26	100	0	36
I-MW...-32	32	100	0	48
I-MW...-38	38	100	0	60
Seria II – żywica epoksydowa z utwardzaczem				
II-R-0	0	100	50	0
II-MW ...-07	7	100	50	12
II-MW ...-14	14	100	50	24
II-MW ...-19	19	100	50	36
II-MW ...-24	24	100	50	48
II-MW ...-29	29	100	50	60

W miejsce „MW...” należy wstawić MW20, MW75 lub MW500 w zależności od zastosowanej mączki wapiennej.

Badania lepkości kinematycznej płynnej żywicy epoksydowej prowadzono przy użyciu standardowego kubka wypływowego z otworem o średnicy 8 mm zgodnie z ISO 2431:2019 [4]. Napełniano go płynną żywicą epoksydową i dokonywano pomiaru czasu *t*, w którym ciecz wypływała przez otwór znajdujący się w dnie kubka do chwili przerwania ciągłości strumienia. Lep-

kość kinematyczną *v* żywicy epoksydowej obliczano z wzoru (1), którego postać zależy od parametrów kubka:

$$v = 21,78 \cdot t - (306/t) \text{ [cSt = mm}^2/\text{s]} \quad (1)$$

gdzie:

t – czas wypływu [s].

W przypadku każdej mieszaniny wykonano trzy pomiary. Temperatura podczas badania wynosiła 25 ± 0,5°C. Pomiaru lepkości kinematycznej mieszaniny z żywicą epoksydową i utwardzaczem dokonywano po upływie 5 min od chwili dodania utwardzacza. Najpierw analizowano mieszaninę referencyjną, bez dodatku odpadowej mączki wapiennej, którą oznaczono I-R-0 (w przypadku żywicy epoksydowej bez utwardzacza) oraz II-R-0 (zawierającą żywicę epoksydową z utwardzaczem). Następnie do mieszanin oznaczonych symbolami MW20, MW75 oraz MW500 dodawano coraz większą ilość odpadowej mączki wapiennej. Rysunek 1 przedstawia schemat stanowiska do badania lepkości kinematycznej żywicy epoksydowej.



Rys. 1. Schemat stanowiska do badania lepkości kinematycznej płynnej żywicy epoksydowej

Fot. Autorzy
Fig. 1. Stand for kinematic viscosity testing of liquid epoxy resin

Wyniki badań

Na rysunku 2 przedstawiono średnią wartość lepkości kinematycznej płynnej żywicy epoksydowej modyfikowanej wybranymi odpadowymi mączkami wapiennymi. Pomarańczową linią przerwano oznaczono wyniki uzyskane w przypadku próbek referencyjnych (I-R-0 oraz II-R-0), które nie zawierały dodatku odpadowej mączki wapiennej. Maksymalna wartość odchylenia standardowego wynosi 30 mm²/s przy lepkości 1381mm²/s, co stanowi błąd 2%. W przypadku połowy mieszanin błąd nie



SODASIL – TiO₂ Extender

– lepsze krycie, wzrost stopnia białości,
– obniżenie kosztów produkcji dzięki zmniejszeniu udziału TiO₂



Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

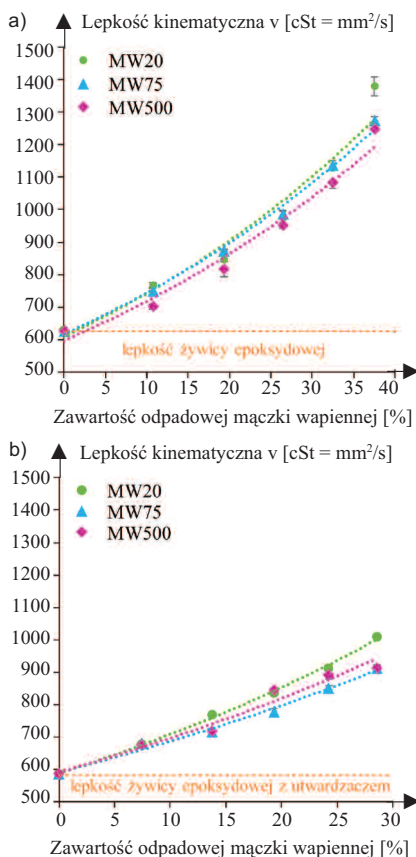
Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel + 48 22 608 51 00

e-mail: arbolcel@jrs.pl



Rys. 2. Wyniki badania lepkości kinematycznej płynnej żywicy epoksydowej bez utwardzacza (a) i z utwardzaczem (b) w zależności od zawartości oraz rodzaju odpadowej mączki wapiennej

Fig. 2. Results of kinematic viscosity tests of liquid epoxy resin depending on the content and type of waste limestone powders, for the resin: a) without hardener; b) with hardener

przekroczył 1%. W obu seriach badań (żywicy epoksydowej bez i z utwardzaczem) stwierdzono, że lepkość mieszaniny w znikomym stopniu zależy od wielkości ziaren oraz składu odpadowej mączki wapiennej, natomiast decydujące znaczenie ma jej procentowa zawartość. Świadczą o tym zbliżone wyniki badania lepkości mieszanin z dodatkiem różnych mączek wapiennych (MW20, MW75 i MW500), ale z taką samą ich procentową zawartością.

Średnia lepkość kinematyczna żywicy epoksydowej bez odpadowej mączki wapiennej (I-R-0) wynosi 628 mm²/s, natomiast żywicy epoksydowej z utwardzaczem (II-R-0) – 586 mm²/s. Wraz ze wzrostem zawartości odpadowej mączki wapiennej zwiększa się lepkość kinematyczna żywicy epoksydowej. Maksymalna uzyskana wartość średniej lepkości żywicy epoksydowej bez utwar-

dzacza wynosi 1381 mm²/s (mieszania I-MW20-38), natomiast z utwardzaczem – 1010 mm²/s (mieszania II-MW20-38). Dodanie utwardzacza do mieszaniny spowodowało zmniejszenie lepkości kinematycznej we wszystkich przypadkach.

Podsumowanie

Modyfikacja płynnej żywicy epoksydowej odpadowymi mączkami wapiennymi ma duży wpływ na lepkość kinematyczną żywicy epoksydowej zarówno bez, jak i z utwardzaczem. Wraz ze wzrostem zawartości odpadowej mączki wapiennej zwiększa się lepkość kinematyczna żywicy epoksydowej. Stwierdzono, że w bardzo małym stopniu zależy ona od wielkości ziaren i składu odpadowej mączki wapiennej, a w bardzo dużym stopniu od jej procentowej zawartości.

Uzyskane wartości lepkości kinematycznej mieszanin z największą zawartością odpadowej mączki mineralnej nie przekraczają wartości lepkości kinematycznej innych gotowych mieszanin na bazie żywicy epoksydowej dostępnych na rynku.

Literatura

- [1] Drozd Wojciech, Marcin Kowalik. 2014. „Współczesne posiadzki przemysłowe”. *Przegląd Budowlany* 7 – 8: 34 – 39.
 - [2] <https://ec.europa.eu/environment/waste/mining/index.htm>.
 - [3] <https://www.sto.pl/s/produkt/a1F2p00000Pi-v8xEAB/stopox-bb-os>.
 - [4] ISO 2431 Farby i lakiery. Oznaczenie czasu wypływu za pomocą kubków wypływowych.
 - [5] Stabnik Józef, Agnieszka Dybowska, Monika Szczepnik, Łukasz Suchoń. 2009. „Viscosity measurements of epoxy resin filled with ferrite powders, Archives of Materials Science and Engineering”. *Archives of Materials Science and Engineering* 38 (1): 34 – 40.
 - [6] Szewczak Andrzej, Maciej Szelağ. 2019. „Modifications of Epoxy Resins and their Influence on their Viscosity”. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 471022038. DOI 10.1088/1757-899X/471/2/022038.
 - [7] Szewczak Andrzej. 2020. „Impact of epoxy resin modification on their strength parameters”. *Budownictwo i Architektura* 18 (4): 41 – 50. DOI 10.35784/bud-arch.727.
- Badania przedstawione w artykule zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki [projekt nr 2020/37/N/ST8/03601 „Eksperymentalna ocena właściwości powłok z żywicy epoksydowej modyfikowanych odpadowymi mączkami mineralnymi (ANSWER)”].*

Przyjęto do druku: 07.01.2021 r.