

Właściwości termofizyczne i akustyczne płyt kompozytowych zawierających polimery odpadowe z izolacji kabli elektroenergetycznych

Streszczenie. Przedstawione wyniki badań koncentrują się na analizie właściwości termicznych i akustycznych parametrów kompozytów drewno-polimerowych z odpadów izolacji kabli elektroenergetycznych. Otrzymane wyniki pomiarów stanowią nowe spojrzenie na ten temat i mogą mieć istotne implikacje w kontekście zastosowań izolacyjnych. Właściwości termofizyczne i akustyczne tych kompozytów są jednym z elementów badań nad wykorzystaniem polimerów odpadowych z izolacji co może prowadzić do efektywnego wykorzystania tego typu surowców w recyklingu.

Abstract. The results presented here focus on the analysis of the thermal and acoustic performance of wood-polymer composites from waste electrical power cable insulation. The obtained measurement results provide new insights into this topic and may have important implications in the context of insulation applications. The thermophysical and acoustic properties of these composites are one of the elements of research on the use of waste polymers from insulation which may lead to the effective use of this type of raw material in recycling. (Thermophysical and acoustic properties of composite plates containing waste polymers from power cable insulation).

Słowa kluczowe: odpady polimerowe, płyty kompozytowe, przewodność cieplna, ciepło właściwe, współczynnik pochłaniania dźwięku NRC, izolacje kabli elektroenergetycznych.

Keywords: polymer waste, composite plates, thermal conductivity, volume specific heat, Noise Reduction Coefficient, power cable insulation.

Wprowadzenie

Odpady gumowe (RB) oraz zużyte opony ciągłe stanowią globalny problem, a ich ilość pozostaje znacznie wyższa niż to, co można by efektywnie odzyskać. Sektor budowlany odpowiada za około jedną trzecią całkowitej ilości odpadów na świecie i przyczynia się co najmniej w 40% do emisji dwutlenku węgla na skalę globalną [1]. Warto zaznaczyć, że kable elektroenergetyczne również przyczyniają się do tych odpadów, a tylko ich elementy metalowe podlegają recyklingowi, co sprawia, że gumowe odpady stają się problemem [1]. Istnieją wysiłki w zakresie recyklingu odpadów plastikowych (PL) i gumowych (RB) w celu wykorzystania ich na poziomie jakościowym umożliwiającym produkcję nowych materiałów budowlanych [2-5]. Przykładami takich materiałów są kompozyty, które łączą proszek (granulat) z odzysku z odpadów gumowych i polipropylen [6], kompozyty drewno-guma z odpadów gumowych [7] oraz kompozyty drewno-plastik [8]. Kompozyty te stanowią innowacyjne materiały, łączące naturalne surowce, takie jak drewno lub guma, z materiałami sztucznymi, głównie plastikiem. Zyskują one na popularności ze względu na liczne korzyści, jakie oferują w porównaniu do tradycyjnych materiałów, w tym w zakresie właściwości termicznych, które mogą być kluczowe w wielu zastosowaniach, zwłaszcza w kontekście izolacji termicznej i odporności na zmiany temperatury. W literaturze można znaleźć wyniki badań parametrów termicznych takich jak przewodnictwo cieplne oraz pojemność cieplna kompozytów drewno-plastik [9-13] a także drewno-guma [14-16]. W przypadku kompozytów drewno-plastik (WPC), przewodnictwo cieplne (oznaczone jako λ) zazwyczaj mieści się między wartościami charakterystycznymi dla drewna a plastiku. Drewno ma stosunkowo niskie przewodnictwo cieplne ze względu na swoją wewnętrzną strukturę komórkową, podczas gdy plastik ma wyższe przewodnictwo cieplne w porównaniu do drewna. Dlatego właściwości termiczne WPC zależą od proporcji drewna do plastiku oraz rodzaju plastiku użytego w kompozycie [9,10]. Przewodnictwo cieplne można dostosować, co pozwala na uzyskanie wartości pośrednich między tymi dwoma materiałami. Ta właściwość jest kluczowa w

zastosowaniach wymagających izolacji termicznej, ponieważ określa zdolność kompozytu do oporu przed przepływem ciepła [11].

W przypadku kompozytów drewno-guma (WRC), przewodnictwo cieplne jest zbliżone do gumy ze względu na ograniczoną zdolność drewna do przewodzenia ciepła. Zawartość drewna w kompozycie ma istotny wpływ na właściwości termiczne, przy większej ilości drewna przewodnictwo cieplne (WRC) jest niższe [14,15]. Kontrolowanie przewodnictwa cieplnego w WRC jest istotne w zastosowaniach, gdzie izolacja termiczna lub regulacja temperatury odgrywają ważną rolę.

Pojemność cieplna właściwa (oznaczona jako C_p) określa ilość energii cieplnej pochłoniętą lub wydzieloną przez materiał na jednostkę masy przy zmianie temperatury o jednostkę stopnia. Drewno charakteryzuje się relatywnie dużą pojemnością cieplną właściwą ze względu na wymaganą energię do zmiany jego temperatury, w przeciwieństwie do plastików, które zazwyczaj mają niższe wartości pojemności cieplnej właściwej. W przypadku (WPC), pojemność cieplna właściwa jest funkcją proporcji drewna i plastiku w kompozycie, zazwyczaj mieści się pośrodku między wartościami charakterystycznymi dla drewna i plastiku [12,13]. Zrozumienie tej właściwości ma znaczenie w zastosowaniach, gdzie masowa inercja termiczna i magazynowanie energii cieplnej są istotnymi czynnikami.

W przypadku (WRC), jego pojemność cieplna właściwa jest zbliżona do gumy, głównie ze względu na minimalny wkład drewna w pojemność cieplną właściwą w porównaniu do składnika gumowego [16]. Kontrolowanie pojemności cieplnej właściwej (WRC) można osiągnąć poprzez zmianę zawartości drewna w kompozycie.

Wymienione właściwości termiczne są jednymi z kluczowych parametrów podczas projektowania i inżynierii kompozytów opartych na drewnie, ponieważ wpływają na zachowanie termiczne materiałów i ich przydatność w konkretnych zastosowaniach. Możliwość dostosowania właściwości termicznych poprzez modyfikację składu tych kompozytów jest istotnym aspektem, który zapewnia spełnienie wymagań różnorodnych zastosowań

termicznych, jednocześnie wykorzystując zalety składników drewna, plastiku lub gumy.

Badania akustyczne materiałów odnoszą się do określenia stopnia pochłaniania fal dźwiękowych przez materiały budowlane. Każdy materiał w pewnym stopniu pochłania i odbija fale dźwiękowe. Proporcje między energią fal odbitych i pochłoniętych mogą (i zazwyczaj są) być zmienne w zależności od częstotliwości dźwięku. Dobrymi materiałami dźwiękochłonnymi są materiały miękkie, porowate. Materiały twarde i gładkie bardzo słabo pochłaniają dźwięk. Współczynniki pochłaniania dźwięku określają stopień pochłaniania dźwięku przez dany materiał w zakresie od 0 do 1. np. wartość 0,9 oznacza, że 90% energii fali akustycznej jest przez dany materiał pochłaniana a 10% odbijane. Dostępne w literaturze badania skupiają się głównie na analizie właściwości akustycznych materiałów kompozytowych zawierających dodatki tekstylne [20] odpady z tworzyw sztucznych pochodzące z przemysłu motoryzacyjnego [21], a także polietylen (PE) [22].

Przedstawione powyżej badania skupiają się głównie na analizie termicznej kompozytów w połączeniu z materiałami odpadowymi z przemysłu motoryzacyjnego i budowlanego (uszczelki, wykładziny podłogowe). Nie prowadzono dotychczas badań dotyczących właściwości termofizycznych a także akustycznych w przypadku płyt kompozytowych drewno-polimery odpadowe z izolacji kabli elektroenergetycznych, tym samym zaprezentowane wyniki pomiarów będą stanowiły nowość w tej tematyce.

Materiał i metody

Przygotowanie materiału badawczego:

W eksperymencie wykorzystano cząstki drewna pozyskane z świeżych pni świerku, które poddano przetwarzaniu w firmie Kronospan s.r.o. (Zvolen, Słowacja), uzyskując z nich materiał bazowy do produkcji płyt wiórowych. Wymiary cząstek, wynosiły od 0,25 mm do 4,0 mm. Cząstki te zostały dodatkowo poddane procesowi suszenia, redukując ich wilgotność do poziomu 4%.

Wykorzystane granulaty odpadowe z izolacji kabli elektroenergetycznych:

W ramach eksperymentu wykorzystano dwa rodzaje granulatów pochodzących z izolacji kabli elektroenergetycznych, takie jak: izolacje niepalne oraz izolacje topliwe podtrzymujące ogień (palne). Należą do nich:

- granulaty z przemysłu budowlanego - niepalne kable, (kabel energetyczny bezhalogenowy HFFR) - FRNC: ognioodporna niekorozyjna guma,
- granulaty z przemysłu budowlanego - palne kable, izolacja kabel wewnętrzny łatwopalny - XLPE: usieciowany polietylen.

Przygotowanie materiału badawczego:

Materiał badawczy w postaci granulatu z izolacji kabli energetycznych (typu NA2XH-O) został przygotowany w laboratorium energetyki konwencjonalnej i odnawialnej na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Tam, za pomocą autorskich urządzeń, zużyte kable elektroenergetyczne zostały pozbawione izolacji (niepalnej HFFR oraz palnej Polietylen usieciowany), która następnie została rozdrobniona za pomocą kruszarki na drobne części o średnicy od 1 do 3mm.

Wytwarzanie kompozytów:

Trójwarstwowe płyty wiórowe z dodatkiem rozdrobnionej gumy/tworzyw sztucznych o wymiarach 360 mm x 280 mm x 18 mm przygotowano w laboratoriach Uniwersytetu

Technicznego w Zwoleń. Kompozyty drewniano-gumowe/plastikowe przygotowano za pomocą konwencjonalnej technologii, polegającej na wstępnym prasowaniu płyt wiórowych na zimno do ciśnienia 1 MPa, a następnie prasowaniu na gorąco pod ciśnieniem za pomocą prasy laboratoryjnej CBJ 100-11. Warstwa wierzchnia została wytworzona przez zmieszanie wiórów z odpadów drzewnych i mieszanki klejowej w laboratoryjnym bębnie do powlekania. Warstwa środkowa została wykonana z odpadowych wiórów drewnianych, pokruszonego granulatu z tworzywa sztucznego i mieszanki kleju, a składniki te również dokładnie wymieszano w laboratoryjnym bębnie do powlekania. Mieszanka powierzchniowa o masie 396 g została nałożona na formę, gdzie została równomiernie rozprowadzona, 1110 g warstwy środkowej zostało nałożone na warstwę powierzchniową, a na koniec ponownie warstwa powierzchniowa o masie 396 g. Mieszanka została umieszczona w hydraulicznej maszynie do formowania wstępnego na około 2 minuty. Po prasowaniu wstępnym następowo prasowanie na gorąco pod ciśnieniem 20 MPa, 10 MPa i 5 MPa w różnych odstępach czasu. Całkowity czas prasowania wynosił 5 minut w temperaturze 230 °C.

Wykonano również trójwarstwową płytę wiórową bez dodatków, która stanowi poziom odniesienia dla badanych kompozytów.

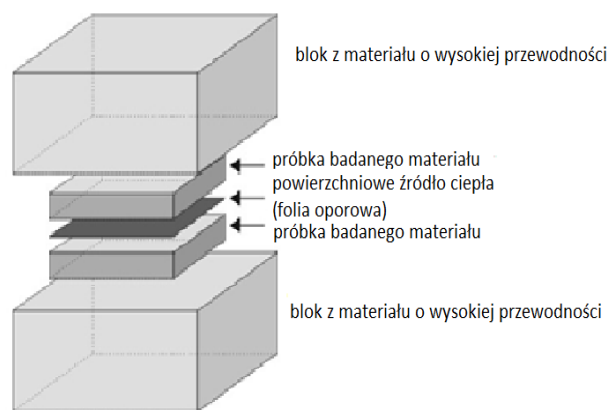
Próbki zostały oznaczone w następujący sposób:

P - płyta wiórowa,

CIF10 - P z zawartością granulatu z odpadów kabli palnych, CEN10 - P z zawartością granulatu z odpadów kabli niepalnych.

Pomiary termiczne:

Próbki do badań przewodnictwa cieplnego zostały wycięte zgodnie z normą EN 326-1:2005 [17] i były reprezentatywne dla dwóch różnych kompozytów oraz dla próbki wzorcowej (płyta wiórowa bez dodatków). Wymiary próbek wynosiły 100 × 100 × 18 mm³. Przewodnictwo cieplne, dyfuzyjność termiczną oraz pojemność cieplną właściwą określono przy użyciu metody EIOD [18]. Metoda rozszerzonego źródła dynamicznego (EDPS) była wykorzystywana do pomiaru przewodnictwa cieplnego. Ta metoda obejmuje dwie próbki materiału o niskiej przewodności cieplnej, z wartością lambda niższą niż 2 W/(m·K), umieszczone pomiędzy dwoma dużymi blokami materiału o wysokiej przewodności cieplnej. Pomiedzy nimi zlokalizowane jest źródło płaszczyzny ciepła i czujnik pomiarowy (rys.1).



Rys. 1. Schemat aparatury EIOD

Źródło płaskie dokonywało pomiaru zmian rezystancji elektrycznej (R) i na tej podstawie obliczano temperaturę. W przypadku źródła płaskiego, współczynnik temperaturowy rezystancji wynosił $4,8 \times 10^{-3} \Omega/K$, a rezystancja w temperaturze $20^\circ C$ wynosiła $3,6 \Omega$. Metoda EIOD jest odpowiednia dla próbek o niskiej przewodności. Układ doświadczalny jest wykonany w taki sposób, że strumień ciepła jest jednokierunkowy przez grubość próbki, co zostało spełnione we wszystkich przypadkach pomiarowych. Za pomocą metody EDPS (rys. 1) można obliczyć przewodność cieplną na podstawie różnicy temperatur i dyfuzyjność cieplną na podstawie dopasowanej wartości czasu charakterystycznego τ , który charakteryzuje prędkość wzrostu temperatury i jest określony wzorem (1). Dokładność pomiarowa metody jest również weryfikowana przez współczynnik wariancji.

$$(1) \quad \tau = \frac{l^2}{a}$$

gdzie:

l – grubość próbki, m

a – dyfuzyjność temperaturowa, m^2/s .

Teoretyczna zależność temperatury od czasu jest określona za pomocą formuły (2):

$$(2) \quad T(t) = \frac{q \cdot l}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{t}{\pi \cdot \tau}} \cdot \left(1 + 2\sqrt{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \beta^n \cdot \text{ierfc} \left(n \cdot \sqrt{\frac{t}{\tau}} \right) \right)$$

gdzie:

q – gęstość strumienia ciepła, W/m^2

l – grubość próbki, m

λ – przewodność cieplna materiału, $W/(m \cdot K)$

t – czas, s

τ – czas relaksacji, s

ierfc – funkcja błędna.

Dla każdego z badanych materiałów sporządzono po dwie pary próbek badawczych. Każdą parę próbek poddano pięciokrotnym pomiarom. Po ich wykonaniu próbki badanego materiału zamieniano miejscami i powtarzano pomiary – dało to 20 powtórzeń. Po zmierzeniu przewodności cieplnej i dyfuzyjności cieplnej obliczono pojemność cieplną właściwą C_p za pomocą równania (3):

$$(3) \quad C_p = \frac{\lambda}{a \cdot \rho}$$

gdzie:

λ – przewodność cieplna materiału, $W/(m \cdot K)$

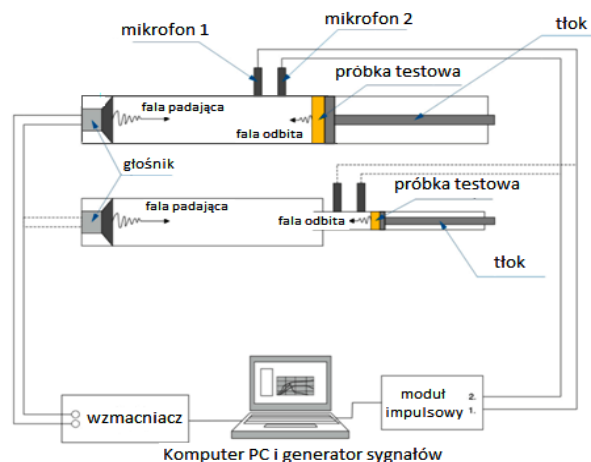
a – dyfuzyjność cieplna materiału, m^2/s

ρ – gęstość materiału, kg/m^3 .

Charakterystyki pomiarowe były określane przy natężeniu prądu $0,8 A$ przez okres $900 s$. Metoda ta została szczegółowo omówiona w kontekście badań parametrów płyt kompozytowych w pracy [19].

Pomiary akustyczne:

Właściwości akustyczne badanych materiałów zostały ocenione za pomocą współczynnika pochłaniania dźwięku (α) i współczynnika redukcji hałasu (NRC). Pomiar przeprowadzono przy użyciu impedancyjnej rury Kundta (Brüel & Kjær typ 3050), w której umieszczono 2 mikrofony (zgodnie z normą EN ISO 10534-2 [23]). Schemat aparatury pomiarowej przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat aparatury pomiarowej Brüel & Kjær typ 3050

Dla tego urządzenia konieczne było przygotowanie próbek o średnicy $100 mm$ (dla pomiarów w zakresie częstotliwości od $20 Hz$ do $1,6 kHz$) i $30 mm$ (w zakresie częstotliwości od $1,6 kHz$ do $6,4 kHz$). Grubość wszystkich próbek wynosiła $18 mm$. Z każdego typu materiału kompozytowego utworzono 6 próbek testowych. Wykonano również dla płyty wiórowej bez dodatków, która stanowiła poziom odniesienia. Wyniki zostały następnie uśrednione. Współczynnik redukcji hałasu (NRC) to pojedyncza wartość liczbową, która przedstawia średnią współczynników pochłaniania dźwięku materiału przy określonych częstotliwościach średnich (testowanych w oktawach $250, 500, 1000$ i $2000 Hz$) zaokrągloną do najbliższego $0,05$.

Wyniki

W eksperymencie mającym na celu wykonanie badań właściwości termofizycznych i akustycznych kompozytów wykorzystano cząstki drewna pozyskane ze świeżych pni świerkowych. Jako dodatek zastosowano granulaty o 10% udziale masowym, które zostały wykonane z usieciowanego polietylenu (CIF10) i ognioodpornej niekorozyjnej gumy (CEN10). Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej na poziomie alfa $0,05$. Badanie właściwości termicznych próbek takich jak: współczynnik przewodzenia ciepła λ , współczynnik dyfuzyjności temperaturowej a oraz ciepło właściwe c_p dało następujące wyniki, które zostały zestawione w tabeli 1.

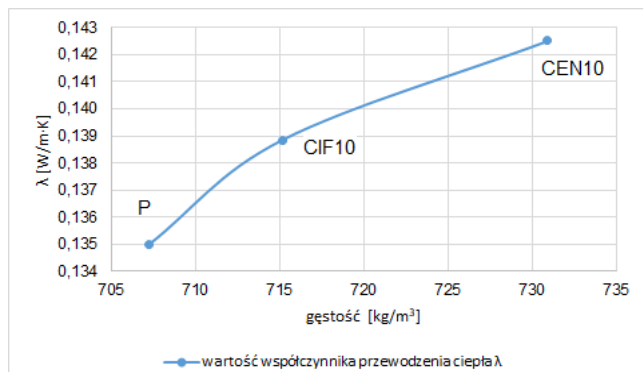
Tabela 1. Właściwości termofizyczne płyt kompozytowych zawierających polimery odpadowe z izolacji kabli elektroenergetycznych.

próbka	ρ kg/m ³	λ W/m·K	a mm ² /s	c_p J/kg·K
P	707	0,135	0,1171	1625,9
CIF10	715	0,139	0,1161	1671,6
CEN10	731	0,143	0,1169	1669,3

gdzie: ρ – gęstość, λ – współczynnik przewodzenia ciepła, a – współczynnik dyfuzyjności temperaturowej, c – ciepło właściwe.

Analizując dane zawarte w tabeli można stwierdzić, że współczynnik przewodzenia ciepła dla płyty wiórowej (bez dodatków "P") wynosi $0,135 \pm 0,0033 W/m \cdot K$. Po dodaniu 10% palnych granuliek izolacyjnych (CIF10) współczynnik przenikania ciepła wzrośnie do $0,139 \pm 0,0021 W/m \cdot K$, natomiast po dodaniu niepalnych granuliek izolacyjnych (CEN10) współczynnik przewodzenia ciepła wyniesie $0,143 \pm 0,0031 W/m \cdot K$.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ jest wprost proporcjonalna do gęstości materiału co zaprezentowano na rysunku 3.



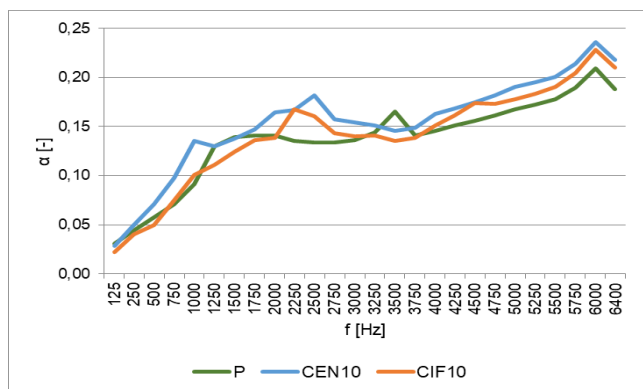
Rys. 3. Wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ w funkcji gęstości materiału

Wartość współczynnika dyfuzyjności cieplnej dla kompozytu zawierającego 10% dodatku niepalnych granulek izolacyjnych (CEN10) wynosi $0,1169 \pm 0,0005 \text{ mm}^2/\text{s}$ i jest zbliżona do wartości charakteryzującej płytę wiórową bez dodatków (P), dla której $a = 0,1172 \pm 0,001 \text{ mm}^2/\text{s}$. W przypadku zastosowania granulatu izolacyjnego z usieciowanego polietylenu (CIF10), współczynnik dyfuzyjności temperaturowej spadnie do $a = 0,1162 \pm 0,0005 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Ciepło właściwe próbek po dodaniu granulatu wzrosło z $1625,9 \pm 22,2 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ do wartości $1671,6 \pm 24,5 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ dla kompozytu zawierającego 10% dodatek usieciowanego polimeru (CIF10) i do $1669,3 \pm 37 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ dla kompozytu zawierającego 10% dodatek niepalnej gumy.

Analiza statystyczna wykazała, że nie ma różnic między średnimi wartościami ciepła właściwego c_p , a zatem można stwierdzić, że wartość pojemności cieplnej jest taka sama dla kompozytów zawierających granulaty odpadowe z izolacji palnej i niepalnej.

Kolejnym etapem badań było określenie właściwości akustycznych kompozytów. Zbadano wartości współczynnika absorpcji akustycznej dla różnych poziomów częstotliwości w przedziale od 20 do 6400 Hz. Przy czym dla materiałów budowlanych wartość ta jest zawężona 2000 Hz. Na rysunku 4 przedstawiono współczynnik absorpcji akustycznej α trzech badanych materiałów w zależności od częstotliwości.



Rys. 4. Zmiany współczynnika pochłaniania dźwięku w zależności od częstotliwości.

Analizując dane zaprezentowane na wykresie można stwierdzić, że dodanie 10% granulatu z odpadów izolacji

kabli niepalnych skutkuje poprawą właściwości akustycznych szczególnie w zakresie częstotliwości 250 – 1000 Hz oraz powyżej 2000 Hz.

Kompozyty z dodatkiem granulatu z odpadów izolacji palnych (CIF10) mają zbliżone właściwości do płyty wiórowej w zakresie częstotliwości 125 – 1000 Hz. W przedziale 1000 do 2000 Hz ich wartości współczynnika α są gorsze od wartości referencyjnej (dla P). Poprawę właściwości dźwiękochłonnych odnotowano w zakresie wysokich częstotliwości tj. powyżej 4000 Hz. Kolejnym etapem było wyznaczenie wartości współczynnika redukcji hałasu (NRC), który stanowi średnią dla czterech pasm oktaowych tj.: 250, 500, 1000 oraz 2000 Hz została zestawiona w tabeli 2.

Tabela 2. Porównanie wartości współczynnika redukcji hałasu dla płyt kompozytowych zawierających polimery odpadowe z izolacji kabli elektroenergetycznych.

próbka	NRC
P	0,13
CIF10	0,09
CEN10	0,12

Porównując wielkości współczynnika NRC do poziomu odniesienia jakim jest płyta wiórowa bez dodatków (P) można stwierdzić, że dodanie granulatu wpływa na właściwości akustyczne kompozytów. Dodanie granulatu z izolacji kabli palnych (CIF10) powoduje obniżenie wartości współczynnika do 0,09. W przypadku kompozytu z dodatkiem granulatu z izolacji kabli niepalnych (CEN10) wartość współczynnika redukcji hałasu wynosi 0,12 tym samym jego właściwości akustyczne są zbliżone do właściwości płyty wiórowej.

Wnioski

1. Wartość współczynnika przewodzenia ciepła (λ) w badanych kompozytach jest wprost proporcjonalna do gęstości materiału. Dodatek granulatu z odpadów izolacji kabli elektroenergetycznych (zarówno palnych - CIF10, jak i niepalnych - CEN10) skutkuje zwiększeniem współczynnika przewodzenia ciepła w porównaniu do czystej płyty wiórowej (P) odpowiednio do 0,139 W/m·K (CIF10) oraz 0,143 W/m·K.
2. Wartość współczynnika dyfuzyjności cieplnej (a) dla kompozytu z dodatkiem granulatu niepalnych granulek izolacyjnych (CEN10) jest zbliżona do wartości charakteryzującej płytę wiórową bez dodatków (P). Natomiast zastosowanie granulatu z usieciowanego polietylenu (CIF10) powoduje obniżenie współczynnika dyfuzyjności temperaturowej w porównaniu do płyty bazowej.
3. Ciepło właściwe (c_p) próbek zwiększyło się po dodaniu granulatu, zarówno w przypadku granulek niepalnych (CEN10) jak i palnych (CIF10). Jednakże analiza statystyczna wykazała, że nie ma istotnych różnic między średnimi wartościami ciepła właściwego c_p dla kompozytów zawierających granulaty odpadowe z izolacji palnej i niepalnej, co sugeruje, że wartość pojemności cieplnej jest taka sama dla obu rodzajów kompozytów i wynosi $1670 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.
4. Właściwości akustyczne kompozytów ulegają zmianie po dodaniu granulatu. Dodatek granulatu z odpadów izolacji kabli niepalnych (CEN10) poprawia właściwości akustyczne szczególnie w zakresie częstotliwości 250 – 1000 Hz oraz powyżej 2000 Hz.
5. Kompozyty z dodatkiem granulatu z odpadów izolacji kabli palnych (CIF10) wykazują zbliżone właściwości akustyczne do płyty wiórowej w zakresie częstotliwości

125 – 1000 Hz, jednak w przedziale 1000 - 2000 Hz ich właściwości są gorsze od wartości referencyjnej (P).

6. Wartość współczynnika redukcji hałasu (NRC) jest niższa po dodaniu granulatu z odpadów izolacji kabli palnych (CIF10), obniżając się do 0,09 w porównaniu do wartości referencyjnej (P). W przypadku kompozytu z dodatkiem granulatu z odpadów izolacji kabli niepalnych (CEN10), wartość współczynnika redukcji hałasu wynosi 0,14, co sugeruje, że jego właściwości akustyczne są zbliżone do właściwości płyty wiórowej.

Artykuł powstał jako podsumowanie miesięcznego stażu naukowego, który został zrealizowany w Uniwersytecie Technicznym w Zvoleniu (Słowacja) w ramach Własnego Funduszu Stypendialnego Rektora Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie

Autorzy: dr inż. Tomasz Szul, prof. URK, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116b, 30-149 Kraków, e-mail: t.szu@urk.edu.pl; doc. Ing. Iveta Čabalová, PhD., Technická Univerzita vo Zvolene, Drevárska Fakulta, T. G. Masaryka 24960 01 Zvolen, Slovenská republika, e-mail: cabalova@tuzvo.sk; mgr Rupali Tiwari, PhD, Technická Univerzita vo Zvolene, Drevárska Fakulta, T. G. Masaryka 24960 01 Zvolen, Slovenská republika, e-mail: tiwari@tuzvo.sk; mgr inż. Piotr Łyszczarz, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116b, 30-149 Kraków, e-mail: piotr.lyszczarz@urk.edu.pl

LITERATURA

- [1] Zackrisson, M. Recycling production cable waste : environmental and economic aspects. *Retrieved from Swerea IVF AB* (2013) website: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-30319>
- [2] Bulei C., Plastic waste management, *OP Conference Series Materials Science and Engineering*, 294, (2018), 012064
- [3] Demirbas A. , Omar Al-Sasi B., Nizami A-S. Conversion of waste tires to liquid products using sodium carbonate catalytic pyrolysis, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38/16 (2016), 2487-2493
- [4] Mancel V., Čabalová I., Krilek J., Réh R., Zachar M., Jurchyková T. Fire Resistance Evaluation of New Wooden Composites Containing Waste Rubber from Automobiles. *Polymers*, 14, (2022), 4465
- [5] Fazli A.; Rodrigue D. Recycling Waste Tires into Ground Tire Rubber (GTR)/Rubber Compounds: A Review. *J. Compos. Sci.* 4, (2020), 103
- [6] Alyousef R., Ahmad W., Ahmad A., Aslam, F., Joyklad, P., & Alabduljabbar, H. Potential use of recycled plastic and rubber aggregate in cementitious materials for sustainable construction, *A review. Journal of Cleaner Production*, 329, (2021), 129736
- [7] Ayrilmis N., Buyuksari U., Avci E. Utilization of waste tire rubber in the manufacturing of particleboard, *Materials and Manufacturing Processes*, 24/6, (2009), 688-692
- [8] Rajan R., Näkki J., Layek R., Rainosalo E. Wood plastic composites with improved electrical and thermal conductivity. *Wood Science And Technology*, 55/3, (2021), 719-739
- [9] Yi X., Zhao D., Ou, R., Ma J., Chen Y., Wang Q. A Comparative Study of the Performance of Wood-Plastic Composites and Typical Substrates as Heating Floor. *BioResources*, 12, (2017), 2565-2578
- [10] Mussa H.M., Salih T.W. Experimental Investigation on Thermal Properties of Wood-Plastic Composites as Flat Panels, *Journal of Engineering Research-ICRIE Special Issue*, 9, (2021), 1-16
- [11] Prisco U. Thermal conductivity of flat-pressed wood plastic composites at different temperatures and filler content, *Science and Engineering of Composite Materials*, 21/2, (2014), 197-204
- [12] Yadav S.M., Lubis M.A.R, Sihag K. A Comprehensive Review on Process and Technological Aspects of Wood-Plastic Composites, *Jurnal Sylva Lestari*, 9/2, (2021), 329-356
- [13] van der Vegt G.M.A., de Jong, A.R., van Dijk, J.W. Thermal properties of wood-plastic composites, *Composites Science and Technology*, 66/10, (2006), 1773-1784
- [14] Silva A.M., de Moura M.A.G., Soares M.S., de Souza M.R. Thermal behavior of wood-rubber composites, *Polymer Composites*, 33/1, (2012), 15-24
- [15] Ayrilmis N., Buyuksari U., Avci E. Utilization of Waste Tire Rubber in the Manufacturing of Particleboard, *Materials and Manufacturing Processes*, 24/6, (2009), 688-692
- [16] Phiri M.J., Phiri M.M., Mpitso K., Hlangothi S.P. Curing, thermal and mechanical properties of waste tyre derived reclaimed rubber-wood flour composites, *Materials Today Communications*, 25, (2020), 101204
- [17] EN 326-1:2005 Płyty drewnopochodne – Pobieranie próbek, cięcie i kontrola – Część 1: Pobieranie próbek i cięcie próbek do badań oraz przedstawianie wyników badań. 2005, Bruksela, Belgia
- [18] Krišťák L., Igaz R., Ružiak, I. Applying the EDPS Method to the Research into Thermophysical Properties of Solid Wood of Coniferous Trees. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019, (2019), 1–9
- [19] Kristak L., Ruziak I., Tudor E.M., Barbu M.C., Kain G., Reh R. Thermophysical Properties of Larch Bark Composite Panels, *Polymers*, 13, (2021), 2287
- [20] Danihelová A., Ščensný P., Gergel T., Ondrejka V., Němec M., Igaz R., Štefko J., Mitterová I. Influence of Flame Retardant Impregnation on Acoustic and Thermophysical Properties of Recycled Technical Textiles with the Potential for Use in Wooden Buildings. *Polymers*, 13/16, (2021), 2598
- [21] Němec M., Igaz R., Gergel T., Danihelová A., Ondrejka V., Kristak L., Gejdoš M., Kminiak R. Acoustic and thermophysical properties of insulation materials based on wood wool. *Akustika*, 33, (2019), 115-123
- [22] Labašová E., Ďuriš R. Measurement of the Acoustic Absorption Coefficient by Impedance Tube. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, 27, (2019), 94-101
- [23] PN-EN ISO 10534-2:2003 Akustyka - Określanie współczynnika pochłaniania dźwięku i impedancji akustycznej w rurach impedancyjnych - Część 2