

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

Badania wpływu wybranych dodatków na właściwości reologiczne i wytrzymałościowe materiału hybrydowego rHDPE/rLPS

Maciej Jan Spychała, Danuta Miedzińska

Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna
email: maciej.spychala@wat.edu.pl, danuta.miedzinska@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: Materiały hybrydowe zawierające surowce pochodzące z recyklingu, szczególnie zawierające cięte włókna, tworzą złożone, niehomogeniczne struktury. Stosując dodatki poprawiające adhezję wypełnienia z osnową można poprawić wytrzymałość materiału. W Instytucie Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej WAT prowadzone są badania nad pochodzącym z recyklatu postprodukcyjnego hybrydowym materiałem o osnowie z polietylenu wysokiej gęstości z wypełnieniem z przemiału laminatu poliestrowo-szklanego. Dotychczas wykonano badania reologiczne, wytrzymałościowe oraz badania struktury materiału hybrydowego z trzema dodatkami, tj. bezwodnikiem maleinowym, dodatkiem na bazie silanów oraz modyfikatorem właściwości termicznych. Uzyskano 14% poprawę wytrzymałości badanych próbek na rozciąganie i 5% wzrost modułu sztywności. Wykorzystując metody SEM, EDS oraz metody ilościowe, opisano strukturę materiału. Na podstawie wyników badań wytrzymałościowych wykonano model numeryczny.

SŁOWA KLUCZOWE: rHDPE, hybryd materials, recycling, hyperelastic materials, coupling agents.

1. Wstęp

Laminaty poliestrowo-szklane są powszechnie stosowane w gospodarce ze względu na swoje właściwości, tj. relatywnie wysoką wytrzymałość i sztywność, łatwość w kształtowaniu, wysoką odporność na warunki środowiskowe. O ich popularności na rynku decyduje również niska cena. Włókna szklane wykorzystuje się do aplikacji mniej wymagających, zamiast droższych laminatów epoksydowo-szklanych.

Coraz bardziej rygorystyczne obostrzenia w zakresie ochrony środowiska przyczyniają się do prowadzenia badań naukowych ukierunkowanych na poszukiwania nowych, ekologicznych metod recyklingu tych materiałów. Szeregując metody recyklingu stosując kryterium małego śladu węglowego, należy znacząco wyróżnić recykling mechaniczny [1]. Istotne okazuje się również zagospodarowanie produktu recyklingu, jakim jest recyklat. Nie dotyczy to elastomerów, np. polietylenu, który można wielokrotnie przetwarzać. Znacznie trudniej ponownie wykorzystać recyklat żywic chemo i termo utwardzalnych.

Wspomniane właściwości polietylenu wysokiej gęstości i potrzebę zagospodarowania recyklatu laminatów poliestrowo-szklanych można połączyć i potraktować recyklat jako wypełnienie materiału hybrydowego. Potencjalne wdrożenia takiego materiału hybrydowego to na przykład: deski, rury, słupki, obudowy [2]. Właściwości materiału można modyfikować stosując dodatki, które poprawiają adhezję frakcji, modyfikują powierzchnię jednej/dwóch frakcji, poprawiają parametry procesu, co wpływa na mniejszą porowatość [3].

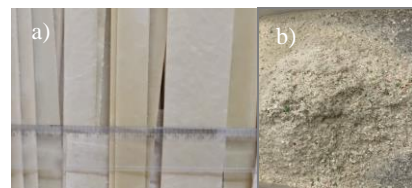
Wypełniacz może znacząco poprawić właściwości wytrzymałościowe i użytkowe docelowego wyrobu, a jego wykorzystanie wpływa pozytywnie na środowisko.

2. Metody

Wykonano badania lepkości, test rozciągania jednoosiowego, badania SEM, EDS. Na bazie wyników eksperymentalnych dobrano model konstytutywny materiału i porównano wyniki eksperymentalne z numerycznymi.

3. Materiały

Granulatem wyjściowym do wytwarzania kompozytów był regranulat polietylenu wysokiej gęstości (rHDPE, pochodzenia komercyjnego) zawierający 40% przemiału z laminatu poliestrowo-szklanego (rLPS), rys. 1.



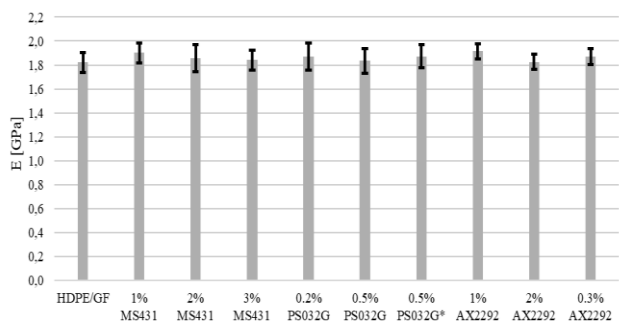
Rys. 1. a) Ścinki postprodukcyjne (AGA Kompozyty Sp. z o.o.) użyte do badań. średnia długość 500 mm, średnia szerokość 30 mm, zdjęcie makro odpadów LPS;
b) przemiał ze ścinek

Przebadano wpływ 3 komercyjnie dostępnych dodatków na wytrzymałość i reologię materiału hybrydowego, tj. *IrgaCycle PS 032 G*, *Licocene PE MS 431*, *SilmaLink AX2292*. Pierwszy jest modyfikatorem właściwości termicznych zmieniający charakter płynięcia polimeru podczas formowania wytłoczyny [4], drugi to bezwodnik maleinowy, który jest szeroko stosowany z PE [5], trzeci jest dodatkiem na bazie silanu [6].

4. Wyniki

Na podstawie badań reologicznych wykazano, że materiał cechuje się dobrą kompatybilnością składników a dodatki nie mają wpływu na moduł zachowawczy materiału, ani na lepkość wyjściowego materiału rHDPE/rLPS40.

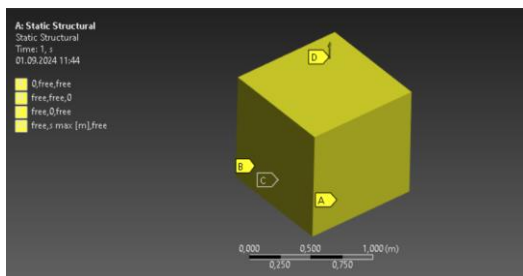
Moduł sztywności materiału modyfikowanego nieznacznie wzrósł, rys. 3. Największą sztywnością cechuje się próbka z dodatkiem silanu w ilości 1% udziału masowego (AX2292), równą 1,91 GPa. Jest to o 5% więcej niż dla próbki referencyjnej. Największe odchylenie względne sięgnęło 8,5%.



Rys. 2. MS432 – bezwodnik maleinowy; PS032G – IgraCycle; AX2292 – silan. HDPE/GF – próbka 0, z 40% dodatkiem rLPS. Wartości procentowe oznaczają udział masowy względem rHDPE.

5. Model numeryczny

Zamodelowano obiekt sześcienny o wymiarach 1x1x1 m, który następnie poddano rozciąganiu jednoosiowemu, rys. 4.



Rys. 4. Warunki brzegowe symulacji numerycznej. Wykorzystano oprogramowanie ANSYS Static Structural z licencji udostępnionej przez firmę Symkom sp. z o. o. dla Koła Naukowego Doktorantów Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej WAT

Model materiałowy został wykonany na podstawie wyników próby rozciągania jednoosiowego. Idealnie, gdyby model wyznaczano na podstawie wyników testu rozciągania oraz ścinania [7]. Najlepszą zgodność pozwolił osiągnąć model wielomianu drugiego stopnia -*Polynomial 2nd order* (1).

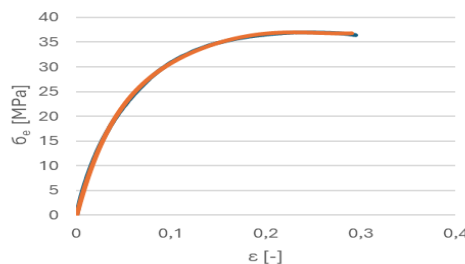
$$\sigma_e(\epsilon) = 2(\epsilon - \epsilon^{-2}) * \left[\frac{C_{10} + C_{01}\epsilon^{-1} + 2C_{20}(\epsilon^2 + 2\epsilon^{-1} - 3) + 2C_{02}(2\epsilon + \epsilon^{-2} - 3) + 3C_{11}(\epsilon - 1 - \epsilon^{-1} + \epsilon^{-2})}{2} \right] \quad (1)$$

σ_e – naprężenia inżynierskie

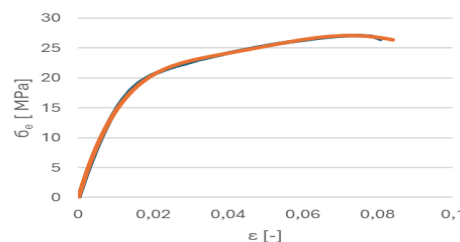
ϵ – odkształcenia

$C_{10}, C_{01}, C_{20}, C_{02}, C_{11}$ – stałe materiałowe

Wyznaczono stałe równania konstytutywnego i porównano z wynikami badań eksperymentalnych, rys. 5, 6.



Rys. 5. Wykres $\sigma(\epsilon)$ dla rHDPE. Eksperyment – niebieski; model numeryczny – pomarańczowy



Rys. 3. Wykres $\sigma(\epsilon)$ dla rHDPE/LPS40. Eksperyment – niebieski; model numeryczny – pomarańczowy

Funkcja została przybliżona metodą najmniejszych kwadratów. Z kolei, do oceny modeli posłużono się elementami regresji [7]. Dla rHDPE $R^2 = 0,9995$; dla rHDPE/rLPS40 $R^2 = 0,9889$.

6. Podsumowanie

Przebadane dodatki nieznacznie zwiększają moduł sztywności materiału hybrydowego i nie mają znacznego wpływu na właściwości reologiczne.

Osiągnięto satysfakcjonującą zbieżność wyników eksperymentalnych i numerycznych.

Praca została wykonana w ramach projektu UGB 716/2024 010040 finansowanego przez Wojskową Akademię Techniczną.

Literatura

- [1] Miedzińska D., Spychała M. J., Przegląd technologii odzysku włókien szklanych z kompozytów EGC, Projektowanie, budowa i eksploatacja maszyn – cz. III, 2024.
- [2] Spychała M. J., Miedzińska D., Potencjalne kierunki wdrożenia nowego materiału kompozytowego z recyklatów HDPE i LPS, Projektowanie, budowa i eksploatacja maszyn – cz. III, 2024.
- [3] Li, Q., Matuana, L. M., Effectiveness of maleated and acrylic acid-functionalized polyolefin coupling agents for hdpe-wood-flour composites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 16(6), 551-564, 2003.
- [4] Boiko Y. M., On the formation of topological entanglements during the contact of glassy polymers, *Colloid and Polymer Science*, 290, 1201-1206, 2012.
- [5] Hanif M. P. M., Supri A., Zainuddin F., Rhdpe/wood fiber composites: effect of maleic anhydride on tensile properties and morphology analysis. *Applied Mechanics and Materials*, 695, 592-595, 2014.
- [6] Viet C. X., Ismail H., Masa A., Silane-coupled kenaf fiber filled thermoplastic elastomer based on recycled high density polyethylene/natural rubber blends. *Polímero*, 2021.
- [7] Rackl M., Curve Fitting for Ogden, Yeoh and Polynomial Models in ScilabTEC, 7th International Scilab Users Conference, Paris, 2015.
- [8] Kut S., Ryzinska G., Niedzialek B., Numerical analysis and experimental verification of elastomer bending process with different material models, *Engineering*, 2016. (brak zbieżności z żadnym z modeli).