

**AGNIESZKA KRZAKAŁA, MICHAŁ MURZYN**

e-mail: agnieszka.krzakala@izoblok.pl

IZOBLOK S.A., Chorzów

**Produkcja wyrobów ze spienionego polipropylenu z metalowymi wzmocnieniami****Wstęp**

Spieniony polipropyleen EPP (*Expanded PolyPropylene*) jest piankowym tworzywem znajdującym szerokie zastosowanie ze względu na swoje unikalne właściwości, jak wysoka absorpcja energii, odporność na uderzenia, izolacja termiczna, niska nasiąkliwość, odporność na działanie wody i chemikaliów oraz stosunkowo wysoki stosunek wytrzymałości do masy [Bouix i in., 2009; Wang i in., 2017]. Spieniony polipropyleen jest również szeroko wykorzystywany jako materiał konstrukcyjny ze względu na możliwość uzyskiwania wyrobów w szerokim zakresie gęstości od 15 do nawet 300 g/dm<sup>3</sup> [Neopolen® P, 2014]. Ponadto stosowany jest do produkcji opakowań w przemyśle spożywczym, do produkcji kasków, nakolanników itp., głównie jednak znajduje zastosowanie w branży motoryzacyjnej do wytwarzania siedzeń, zderzaków, zagłówków, pojemników narzędziowych, osłon przeciwsłonecznych oraz różnego rodzaju wypełnień. Zastępowanie tradycyjnie stosowanych w motoryzacji tworzyw wyrobami z EPP pozwala na obniżenie całkowitej masy pojazdu, co umożliwia ograniczenie emisji spalin i zmniejszenie zużycia paliwa. Powyższe czynniki oraz możliwość pełnego recyklingu EPP wpływają na o ciągły wzrost jego zastosowania.

Firma IZOBLOK S.A. dotychczas produkowała kształtki tylko z EPP, jednak biorąc pod uwagę zapotrzebowanie koncernów motoryzacyjnych na innowacje w branży EPP, głównie dotyczące łączenia pianki z elementami metalowymi lub innymi tworzywami sztucznymi (np. ze względu na potrzeby zwiększenia wytrzymałości wyrobu) podjęła działania zmierzające do opracowania metod produkcji kształtek wielotworzywowych. W ramach projektu finansowanego z funduszy unijnych przeprowadzono prace badawczo-rozwojowe mające na celu określenie możliwości produkcji innowacyjnego rozwiązania kształtek z polipropylenu spienionego z metalowymi wkładkami usztywniającymi.

Celem projektu było określenie możliwości produkcji wyrobów ze spienionego polipropylenu z metalowymi wkładkami. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań nad wkładką do bagażnika samochodu. Praca wymagała zaprojektowania (także pod kątem doboru materiału) metalowej wkładki wzmocniającej oraz opracowanie metody formowania uwzględniającej skurcz EPP.

**Opis badań****Założenia i metodyka**

Pomimo wielu zalet wyroby ze spienionego polipropylenu nie zapewniają odpowiedniej sztywności, np. w porównaniu ze sztywnością wyrobów metalowych. Przykładem zastosowania, gdzie sztywność jest istotnym czynnikiem, może być badana wkładka do bagażnika samochodowego. W przypadku montażu zbiornika na LPG, we wnęce koła zapasowego torus zbiornika nie zawsze idealnie wpasowuje się w tę wnękę. Powstała przestrzeń powoduje zapadnięcie się wykładziny oraz negatywnie wpływa na funkcjonalność bagażnika. Podjęto zatem próbę stworzenia lekkiej, a zarazem wytrzymałej wkładki do bagażnika samochodowego.

Założono wykonanie wkładki w kształcie cienkiej, polipropylenowej płyty. Jednakże płyta taka nie wykazując wystarczającej sztywności, nie zabezpiecza przed zerwaniem pod wpływem ciężaru bagażu. Aby temu zapobiec, zdecydowano się zastosować metalowe zbrojenie, zatapiane w procesie produkcyjnym. Rozwiązanie to jest innowacyjne z punktu widzenia połączenia funkcjonalności i wytrzymałości.

**Formowanie kształtek ze spienionego polipropylenu** prowadzi się metodą SCM (*Steam Chest Molding*) pozwalającą na uzyskiwanie wyrobów o skomplikowanych kształtach w szerokim przedziale gęstości. W trakcie produkcji spienione granule są zgrzewane za pomocą pary wodnej podawanej pod odpowiednim ciśnieniem. Proces obejmuje pięć etapów [Raps i in., 2015; Ge i in., 2017]:

- zamykanie formy,
- napełnianie formy granulatem,
- zgrzewanie granulatu parą wodną o ciśnieniu 7÷8 bar,
- chłodzenie i stabilizacja wyrobu do temperatury ok 80°C
- wypychanie gotowego wyrobu z formy.

**Skurcz po uformowaniu** jest istotnym zagadnieniem w produkcji wyrobów z EPP. W zależności od gęstości uformowanej części skurcz może wynosić od 1,8÷2,7% [ARPRO 4635 FR Moulding Guide; Neopolen® P, 2016]. Aby otrzymać wyrób o odpowiednich rozmiarach konieczne jest dodatkowe ich wygrzewanie w temperaturze 80°C, szczególnie w przypadku wyrobów o niskiej gęstości.

**Zakres prac badawczo-rozwojowych** obejmował część projektowo-obliczeniową, a następnie produkcję zaprojektowanych wyrobów i ocenę ich właściwości.

Przyjęto, że całkowita masa wkładki (EPP oraz metalowe zbrojenie) nie może przekroczyć 3,5 kg. Ponad to założono, że wkładka ma przenosić obciążenia równomiernie rozłożonej masy równej 100 kg, przy czym strzałka ugięcia nie powinna przekraczać 10 mm.

Uwzględniono również sposób mocowania metalowego wzmocnienia na ruchomym stemplu formy. Jednocześnie wkładka, jako element widoczny dla użytkownika pojazdu, powinna mieć atrakcyjny wygląd zewnętrzny.

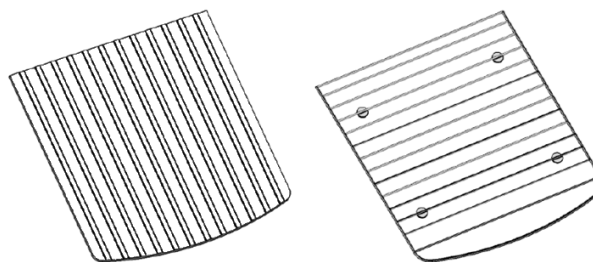
**Aparatura**

Wyroby czyli wkładki do bagażnika z metalowym wzmocnieniem wytwarzane były przy użyciu maszyny *Erlenbach EHV 1650×1380*, z zastosowaniem standardowych parametrów przetwórczych dla EPP.

**Materiały**

Podstawą do projektowania była wkładka standardowo stosowana w bagażniku samochodu osobowego typu kombi o wymiarach 1230×880 mm. Wstępny projekt wkładki przedstawiono na rys. 1.

**Zbrojenie.** W projekcie założono wykonanie obwodu wkładki z drutu o średnicy 8 mm metodą gięcia z dospawanymi poprzeczkami. Rozważano zastosowanie stali oraz aluminium. W celu doboru odpowiedniego metalu (ze względu na znaczną różnicę gęstości) porównano masę modelowego zbrojenia. W przypadku zastosowania stali masa wyniosłaby 6,2 kg natomiast w przypadku aluminium – 2,1 kg. Ze względu na przyjęte założenie, że masa całej wkładki nie przekroczy 3,5 kg, stal jako materiał konstrukcyjny została odrzuco-



Rys. 1. Przykładowy projekt wkładki do bagażnika

na. W celu dalszego ograniczenia masy wyrobu podjęto próbę ograniczenia ilości metalowych elementów wzmacniających (decydujących w głównej mierze o masie całkowitej wyrobu) zaproponowano rozwiązanie w postaci metalowych teowników niepołączonych ze sobą. W tym przypadku masa wzmocnienia wyniosłaby 1,67 kg. Jednakże takie rozwiązanie nie zapewniłoby odpowiedniej sztywności projektowanego elementu oraz stanowiłoby duże utrudnienie w zastosowaniu do seryjnej produkcji powodując komplikacje związane z osadzaniem teowników w gnieździe formy. Na tej podstawie stworzono trzecią koncepcję: wykorzystanie żłobień wykonanych w samym EPP, jako dodatkowego elementu usztywniającego, zamiast teowników, wykorzystanie rur prostokątnych wykonanych z aluminium i połączenie całości spoinami.

**Projekt formy** był kolejnym etapem pracy. Zaprojektowano innowacyjne rozwiązanie formy o wymiarach 1650×1380 mm odpowiednią do maszyny typu *EHV 1650×1380*.

**Montaż metalowego wzmocnienia w formie** powinien zapewnić stabilność położenia elementu w trakcie zasypu formy granulatem oraz jego zgrzewania, uwzględniając stosowanie wysokiego ciśnienia.

## Wyniki i ich omówienie

Dla każdej koncepcji zbrojenia prowadzone były obliczenia maksymalnej strzałki ugięcia. Wyniki obliczeń dla założonego przekroju przedstawiono w tab. 1.

Założono, aby strzałka ugięcia wynosiła nie więcej niż 10 mm. Jak wynika z tab. 1, założenie to zostało spełnione dopiero po zastosowaniu aluminiowego teownika i rury prostokątnej. W przypadku stali obliczane strzałki ugięcia były około trzykrotnie niższe niż kiedy w obliczeniach uwzględniano aluminium, jednakże stal została odrzucona jako materiał konstrukcyjny ze względu na masę finalnego wyrobu.

Zdjęcie gotowej formy przedstawiono na rys. 2, a widok wyprodukowanej wkładki pokazano na rys. 3.

Zastosowano sześć uchwytów magnetycznych, gdzie każdy z nich zapewniał utrzymanie ciężaru o masie 4 kg, ponadto zastosowano śruby mocujące wzmocnienie do formy. Na podstawie przedstawionych wyżej wyników, zaprojektowano wzmocnienie składające się z profili aluminiowych, tj. rury aluminiowej kwadratowej umieszczonej poprzecznie, kątownika aluminiowego umieszczonego podłużnie po bokach oraz śrub mocujących ramkę do formy.

W wyniku przeprowadzonych prób stwierdzono, że sposób mocowania metalowego insertu do formy może okazać się niewystarczający. Istniało ryzyko osunięcia się insertu podczas ruchu formy w trakcie formowania, co mogłoby doprowadzić do uszkodzenia formy.



Rys. 2. Forma do produkcji wkładki do bagażnika



Rys. 3. Uformowana wkładka do bagażnika

Tab. 1. Wartość strzałki ugięcia dla różnych profili i różnych materiałów zbrojenia

Materiał	Kształt	Wymiar [m]	Strzałka ugięcia, [mm]
stal	przekrój kołowy	$R = 0,004$	17
aluminium	przekrój kołowy	$R = 0,004$	53
stal	przekrój kwadratowy	$a = 0,008$	10,5
aluminium	przekrój kwadratowy	$a = 0,008$	32
aluminium	rura	$D = 0,01; d = 0,004$	22
aluminium	teownik	$0,018 \times 0,02-0,002$	9
aluminium	rura prostokątna	$a = 0,015; b = 0,010; \text{grubość } d = 0,0015$	7,9

W kolejnym etapie prac badawczo-rozwojowych przetestowano inne projekty wzmocnień, wykonane z profili zamkniętych (pełnych w środku), wykorzystano pręty o przekroju kwadratowym 10×10 mm oraz kołowym  $\varnothing 12$  mm. Analogicznie jak powyżej obliczono strzałki ugięcia dla projektowanych wzmocnień wynoszące dla przekroju kwadratowego 9,3 mm a dla przekroju kołowego 7,7 mm. Liczba prętów poprzecznych wynosi 8 w obydwóch przypadkach. Ponadto zaprojektowano ramkę w kształcie kratownicy, dla której wg obliczeń strzałka ugięcia wynosi 9,7 mm.

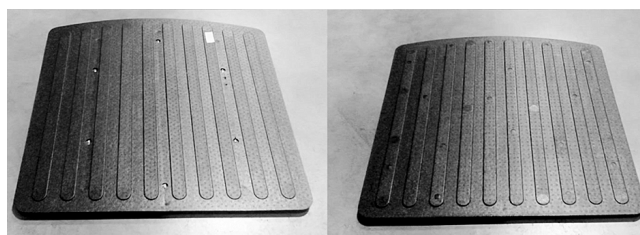
Zmieniono również sposób mocowania ramek w formie. Jak wspomniano powyżej, pierwotny sposób mocowania mógł spowodować uszkodzenie formy, ponad to był nieefektywny w przypadku produkcji seryjnej. W celu przyspieszenia montażu insertów w formie zastosowano tzw. piny (Rys. 4.).



Rys. 4. Piny stosowane do mocowania

W wyniku prowadzonych prób stwierdzono, że najlepsze rezultaty uzyskano dla insertów wykonanych z profili pełnych o przekroju kołowym. Otrzymane wyroby spełniały wymagania pod względem wyglądu (Rys. 5.). Zastosowany przekrój kołowy zapewnia dobre obsypanie prętów ramki. Spieniony polipropylen (EPP) swobodnie przepływa i jednorodnie wypełnia całą dostępną przestrzeń.

W przypadku zastosowania insertów w kształcie kratownicy stwierdzono wystąpienie szeregu odkształceń. Odkształcenia na wysokości spowodowane były brakiem możliwości izotropowego kurczenia się materiału. Skurcz w płaszczyźnie XY kompensuje się



Rys. 5. Wkładki do bagażnika z ramkami o przekroju kołowym

wygięciem elementu na wysokości. Takie zachowanie materiału dostarcza informacji, które należy wziąć pod uwagę w trakcie projektowania formy. W wypadku, gdy produkowany kompozyt EPP/metal posiada część metalową, która dominuje w danej płaszczyźnie można spodziewać się jej odkształcenia w kierunku prostopadłym do dominującego przekroju. Dodatkowym problemem wynikającym z różnicy rozszerzalności cieplnej EPP i aluminium, było pęknięcie części podczas stabilizacji w miejscach, gdzie występowały problemy z równomiernym wypełnieniem części granulatem przez dosypanie. Miejsce przerzedzenia stało się ogniskiem propagacji rozwarstwienia, które następowało wzdłuż ostrej krawędzi ramki.

Następnie przeprowadzono zgrubny pomiar strzałki ugięcia dla otrzymanych w drugim etapie wyrobów. Wyniki przedstawiono w tab. 2.

Tab. 1. Strzałka ugięcia dla profili pełnych

Rodzaj ramki	Rodzaj profilu	Masa [kg]	Wartość strzałki ugięcia, [mm]	
			obliczona	rzeczywista
wzdłużna	okrągły	3,372	7,7	14
wzdłużna	kwadratowy	3,231	9,3	17
kratownica	okrągły	3,474	9,7	11
kratownica	kwadratowy	3,976	9,7	13

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że najmniejsza wartość strzałki ugięcia przypada dla wkładki metalowej wykonanej z profilu okrągłego, ułożonego w kratownicę. Jednak masa wkładki wykonanej z zastosowaniem takiego profilu mieści się w pobliżu założonej granicznej masy równej 3,5 kg.

### Podsumowanie i wnioski

Prace rozwojowe realizowane w ramach niniejszego projektu pozwoliły skonfrontować istniejące pomysły i koncepcje z rzeczywistymi warunkami i problemami produkcyjnymi zatapiania wstawek metalowych w piankach EPP.

Stwierdzono, że:

- Wraz ze wzrostem ogólnych gabarytów części, trudniej jest utrzymać tolerancję wymiarową, a tym samym zapewnić spełnienie wymagań dotyczących długości i szerokości. Zagadnienie to komplikuje stosowanie metalowych wkładek, które nie podlegają skurczowi w taki sam sposób jak tworzywo sztuczne. Jednakże gabaryty części pozostawały w założonej tolerancji.

- Konieczne jest zapewnienie pewnego i prostego sposobu pozycjonowania wszelkich wstawek i wzmocnień na formie, aby uniemożliwić ich wypadanie lub przesuwanie podczas ruchu stempla formy na maszynie. Magnes nie zawsze jest najlepszym rozwiązaniem, aczkolwiek bardzo ułatwia mocowanie wstawek wykonanych ze stopów żelaza.
- Kształt wstawki może mieć wpływ na poprawny zasyp pianki w gnieździe formy. Dodatkowo trzeba zwracać uwagę, na odległość wstawki od powierzchni stempla/gniazda. W przeciwnym razie mogą powstać niedosypania lub pęknięcia.
- W zależności od konstrukcji wstawki należy mieć na uwadze możliwość występowania domen, które mogą powodować pęknięcie tworzywa EPP, zwłaszcza w miejscach słabo zasypanych.

Wiedza nabyta w czasie prób pozwoli w przyszłości na opracowanie lepszych sposobów mocowania wstawek na formie i produkowania doskonalszych, wzmacnianych kształtek z polipropylenu spienionego.

### LITERATURA

- ARPRO 4635 FR *Moulding Guide* (12.2017): <http://arpro.com/tech-docs/tech-docs.php>
- Bouix R., Viot P., Lataillade J.L. (2009). Polypropylene foam behaviour under dynamic loadings: Strain rate, density and microstructure effects. *Int. J. Impact Eng.*, 36(2), 329-342. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2007.11.007
- Ge C., Ren Q., Wang S., Zheng W., Zhai W., Park, C.B. (2017). Steam-chest molding of expanded thermoplastic polyurethane bead foams and their mechanical properties. *Chem. Eng. Sci.*, 174, 337-346. DOI: 10.1016/j.ces.2017.09.011
- Neopolen® P 92 HD (2014). *Technical information*, (12.2017): [https://products.basf.com/documents/pim;save/en/8799338801621.Neopolen\\_AE\\_P\\_92\\_HD.pdf](https://products.basf.com/documents/pim;save/en/8799338801621.Neopolen_AE_P_92_HD.pdf)
- Neopolen® P 9235 (2016). *General Technical Information* (12.2017): [https://worldaccount.basf.com/wa/plasticsAP~en\\_GB/function/conversions:/publish/common/upload/foams/neopolen\\_technical\\_leaflets/Neopolen\\_P\\_technical\\_information.pdf](https://worldaccount.basf.com/wa/plasticsAP~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/foams/neopolen_technical_leaflets/Neopolen_P_technical_information.pdf)
- Raps D., Hossieny N., Park C. B., Altstädt V. (2015). Past and present developments in polymer bead foams and bead foaming technology. *Polymer*, 56, 5-19. DOI: 10.1016/j.polymer.2014.10.078
- Wang L., Hikima Y., Ishihara S., Ohshima M. (2017). Fabrication of light-weight microcellular foams in injection-molded polypropylene using the synergy of long-chain branches and crystal nucleating agents. *Polymer*, 128, 119-127. DOI: 10.1016/j.polymer.2017.09.025

*Projekt zrealizowano przy wsparciu funduszy unijnych w ramach programu OP IE 2007-2013. Działanie 1.4*

### Czasopismo naukowo-techniczne

## INŻYNIERIA I APARATURA CHEMICZNA

Chemical Engineering and Equipment

ukazuje się od 1961 roku

Czasopismo jest poświęcone problemom obliczeń procesowych i zagadnieniom projektowo-konstrukcyjnym aparatury i urządzeń stosowanych w przemysłach przetwórczych, w tym szczególnie w przemyśle chemicznym, petrochemicznym, rolno-spożywczym, jak również w energetyce, gospodarce komunalnej i w ochronie środowiska.

Przeznaczone jest zarówno dla pracowników badawczych, projektantów, konstruktorów, jak i dla menadżerów oraz inżynierów ruchomych.

W czasopiśmie publikowane są artykuły naukowe o szerokim spektrum tematycznym, obejmującym problematykę procesów i operacji jednostkowych inżynierii chemicznej, bio- i nanotechnologie, inżynierię biomedyczną, recykling, bezpieczeństwo procesowe oraz obliczenia i projektowanie aparatów w aspekcie poprawy wydajności, lepszego wykorzystania surowców, oszczędności energii i ochrony środowiska.

Publikowane prace są recenzowane przez specjalistów. Autorzy artykułów opublikowanych w „Inżynierii i Aparaturze Chemicznej” uzyskują 7 punktów (od 2015 r.) do oceny parametrycznej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.