

# Tworzywa Sztuczne Przemysle

ISSN 2082-6877

DWUMIESIĘCZNIK

T W O R Z Y W A P O L I M E R O W E W N A U C E I P R A K T Y C E

REKLAMA



Gdziekolwiek,  
Jestesmy bliżej niż myslisz

**YUDO** Rozwiązania wielogniazdowe  
dla poprawy jakości produktu

## Łatwo, Estetycznie, Wydajnie.

Od pojemników, nakrętek i zamknięć, kosmetyków, wyrobów medycznych po higienę osobistą, rozwiązania systemów gorąco kanałowych YUDO usprawniają produkcję i jakość produktów w różnych sektorach branży opakowaniowej.



# SPIS TREŚCI

## LIPIEC/SIERPIEŃ 2023 r.

### ROTOMOULDING

- 4 Światowa konferencja ARMO wraca na salony
- 5 Rotomoulding – przegląd rozwiązań wybranych firm
- 8 Roto4mat – liderzy innowacji w produkcji technicznych elementów z tworzyw sztucznych przy użyciu metody rotomouldingu
- 10 Rotovia wiodącym graczem w dążeniu do zrównoważonej przyszłości w rotomouldingu
- 12 Maszyny do odlewania rotacyjnego

### BARWNIKI, DODATKI, ŚRODKI POMOCNICZE

- 17 Zrównoważone barwienie tworzyw sztucznych
- 18 Pionierska powłoka Antistatic Direct Plus – łatwy i szybki proces malowania tworzyw polimerowych
- 22 Badanie wpływu pasty zwiększającej poślizg farb na współczynnik tarcia, COF, dla folii PET

### KONTROLA JAKOŚCI I BADANIE TWORZYW

- 27 Jak poradzić sobie z wyzwaniami na produkcji przetwórstwa tworzyw?
- 30 Jak promieniowanie UV wpływa na materiały?
- 32 Czym kieruję się, wybierając urządzenie do pomiarów barwy

### TWORZYWA POLIMEROWE

- 34 Badania właściwości mechanicznych
- 40 Opracowanie nowej generacji materiału polimerowego i osłon do samochodowych układów hamulcowych – wyniki projektu
- 42 Badania właściwości termicznych

### MASZYNY, URZĄDZENIA, APLIKACJE

- 50 7 sposobów na skrócenie czasu przestoju w produkcji dzięki usługom cyfrowym OTTO firmy Busch

### PODSUMOWANIE TARGÓW PLASTPOL ORAZ NAGRODZENI

- 52 PLASTPOL 2023 – milionowe kontrakty i wspaniała atmosfera
- 53 WITTMANN wtrysk wspomagany gazem AIRMOULD®
- 54 Spektrometr FTIR Shimadzu zwycięzcą konkursu PLASTPOL
- 55 Grupa Azoty Polyolefins S.A. zdobywa nagrody na 27. Targach Plastpol w Kielcach
- 56 Energooszczędne suszarki RDL-R z odzyskiem sprężonego powietrza – VGT Polska
- 58 Kolejne sukcesy w DREMECO!
- 59 Biodegradowalny granulata BIOCOM r-starch

### RECYKLING

- 60 ALPLA rozbudowuje zakład recyklingu w Polsce – rocznie przetworzy 2,75 mld butelek z tworzywa sztucznego
- 61 Rozdrabniacz VRZ do wstępnego rozdrabniania w firmach recyklingowych i przemyśle surowcowym

#### Redaktor naczelna

Ewa Majewska  
ewa.majewska@tworzywasztuczne.biz  
tel. kom. 797 125 418

#### Dyrektor marketingu i reklamy

Katarzyna Mazur  
katarzyna.mazur@tworzywasztuczne.biz  
tel. kom. 797 125 417

#### Dział prenumeraty

prenumerata@tworzywasztuczne.biz

#### Wydawca

Media Tech s.c.  
mediatech@tworzywasztuczne.biz

#### Adres redakcji

ul. Żorska 1/45  
47-400 Racibórz  
redakcja@tworzywasztuczne.biz  
tel./faks 32 733 18 01

[www.tworzywasztuczne.biz](http://www.tworzywasztuczne.biz)

#### Rada Programowa

dr inż. **Wojciech Głuszewski**  
dr hab. inż. **Adam Gnatowski** *prof. PCz*  
dr inż. **Jacek Iwko**  
dr inż. **Tomasz Jaruga**  
prof. dr hab. inż. **Jacek W. Kaczmar**  
dr inż. **Jacek Nabiątek**  
dr inż. **Paweł Palutkiewicz**  
dr inż. **Marta Piątek-Hnat**  
prof. nadzw. dr hab. inż.  
**Andrzej Pusz**  
prof. dr hab. inż. **Janusz Sikora**  
dr inż. **Łukasz Wierzbicki**  
dr inż. **Piotr Żach**

Każdy z członków Rady Programowej dwumiesięcznika „Tworzywa Sztuczne w Przemysle”, który podczas dwóch kolejnych lat nie opublikuje żadnego artykułu, potraktowany zostanie jako rezygnujący z członkostwa.

Redakcja nie odpowiada za treść reklam oraz artykułów promocyjnych. Zastrzegamy sobie prawo do skracania i adiustacji tekstów. Przedruk i rozpowszechnianie artykułów i reklam opracowanych przez redakcję są zabronione bez zgody wydawcy.

# NOWOŚĆ!

## Premiera MASZINY HYBRYDOWEJ Dni otwarte 13-25.09.2023

OREX ROTOMOULDING Sp. z o.o. | ul. Cieszyńska 6, 43-520 Chybie, Polska



Nowoczesna i dynamiczna firma,  
o powierzchni produkcyjnej ponad 9,000 m<sup>2</sup>.



25 lat doświadczenia w branży formowania  
rotacyjnego.



Najwyższej klasy komponenty wiodących  
producentów: Weishaupt, Nord, Schneider,  
SKF, B&R, SIEMENS, SMC, SICK.



Własne profesjonalne Centrum Obróbki Stali  
(laser, wysokiej jakości maszyna cnc).



Pomyślnie zrealizowane projekty w ponad  
25 krajach na całym świecie.



Serwis gwarancyjny  
i pogwarancyjny.

SILVER SPONSOR

### OREX<sup>®</sup>

Rotomoulding machines

Stand 28



## SILVER SPONSOR AT ARMO 2023

10-12 SEPTEMBER | POZNAŃ, POLAND

REGISTER NOW: [WWW.ARMO2023.COM](http://WWW.ARMO2023.COM)



e-mail: [orex@orex.pl](mailto:orex@orex.pl)  
[www.orex-rotomoulding.pl](http://www.orex-rotomoulding.pl)

# Światowa konferencja ARMO wraca na salony

ARMO 2023 to wiodąca na świecie, międzynarodowa konferencja poświęcona formowaniu rotacyjnemu, która po dłuższej przerwie spowodowanej pandemią, zawita w Polsce, w tętniącym życiem Poznaniu, w dniach 10–12.09.2023. Organizatorem ARMO 2023 jest Stowarzyszenie ROTOPOL i Brytyjska Federacja Tworzyw Sztucznych (BPF), członkowie Affiliation of Rotational Moulding Organizations (ARMO).



ARMO (Affiliation of Rotational Moulding Organizations) to globalny sojusz 12 głównych stowarzyszeń zajmujących się formowaniem rotacyjnym, zlokalizowanych w różnych regionach świata. Są to: AFR (Francja), ARM (Ameryka Północna), ARMA (Australazja), ARMSA (Afryka Południowa), ARM – CE (Europa Środkowa), ANIPAC (Meksyk), IT-RO (Włochy), BPF (Wielka Brytania), CPPIA (Chiny) Nordic ARM (Skandynawia), StAR (Indie i Azja) oraz ROTOPOL (Polska).

Poprzednia edycja wydarzenia ARMO odbyła się w Hamburgu w 2018 roku i zgromadziła 567 uczestników oraz 52 wystawców. Tematem przewodnim tegorocznej konferencji będzie „Zrównoważone formowanie rotacyjne”. Wydarzenie odbędzie się w tradycyjnym formacie: trzech dni obejmujących tematyczne prezentacje międzynarodowych prelegentów, targi i kolację branżową. Dostępny będzie również dodatkowo pakiet turystyczny dla małżonków i partnerów. Organizatorzy tegorocznej edycji ARMO pragną powielić sukces ARMO2018 w Hamburgu i przyciągnąć podobną, a może i wyższą liczbę uczestników oraz wystawców.

Złotymi sponsorami wydarzenia są firmy LyondellBasell i Matrix Polymers. Srebrnymi sponsorami są Corcoran Chemicals/Total Energies, Dram srl, Ingenia Polymers, Kingspan Water and Energy, Maus, Modelmakerij Hengelo, Orex Rotomoulding, Persico, Polymer Link i Rotovia. Brązowymi sponsorami są Alloyplast/JL Goor, Boca, Gerbaldo Polimeri, MPLAST (Indie), Poliplast, Polivinil Rotomachinery, Resinex, Rotospace, SAT Thermique i Ultra Polymers.

Phil Maddox, przewodniczący Grupy Formowania Rotacyjnego BPF, stwierdza: – Cieszymy się, że możemy współpracować z Rotopolem przy kolejnym przełomowym wydarzeniu ARMO. Szereg ostatnich zmian w połączeniu z wieloma wspólnymi wyzwaniami, przed którymi stoją producenci, oznacza, że apetyt branży formowania rotacyjnego na tworzenie sieci i zrozumienie najnowszych innowacji jest większy niż kiedykolwiek.

Prezes Rotopolu prof. Marek Szostak stwierdza: – Niezmiernie cieszymy się, że we wrześniu będziemy mogli powitać społeczność ARMO w Polsce; na obiektach Międzynarodowych Targów Poznańskich oraz na Politechnice Poznańskiej. ROTOPOL jest bardzo aktywnym graczem w tym obszarze przetwórstwa tworzyw sztucznych. Zrzesza 29 aktywnych członków, w tym 24 rotomoulderów z około 70 działających obecnie w Polsce zakładów formowania rotacyjnego.

ARMO 2023 to wydarzenie, które uznane zostało przez dużą część globalnej społeczności formowania rotacyjnego za obowiązkowe w kalendarzu światowych spotkań. Nie zwlekaj więc, zarejestruj się i poznaj, w prawdziwie międzynarodowej atmosferze, najnowsze osiągnięcia technologiczne i innowacje branżowe, w pięknym polskim mieście Poznań.

Szczegółowe informacje dotyczące tego globalnego wydarzenia oraz możliwość rejestracji znajdziesz na stronie [www.armo2023.com](http://www.armo2023.com).

[www.armo2023.com](http://www.armo2023.com)



**ARMO**  
2023 10-12 SEPTEMBER  
POZNAN, POLAND


**10-12**  
September  
2023



THE LEADING INTERNATIONAL  
**ROTATIONAL MOULDING CONFERENCE**



Scan here to secure  
your tickets for ARMO  
2023; the world's leading  
international rotational  
moulding conference.

 Poznan, Poland

[www.ARMO2023.com](http://www.ARMO2023.com)

# Rotomoulding – przegląd rozwiązań wybranych firm



Alloyplast Sp. z o.o.  
ul. Torowa 107/111  
62-800 Kalisz  
tel. +48 501 537 725  
alloyplast@alloyplast.pl

**Alloyplast** is a leading company specializing in providing raw materials for the rotational molding industries. Our areas of expertise encompass a full range of services, including polymer coloring by extrusion, pulverizing, marble effects and polymer modification. We are ready to oversee the entire production process, from raw material storage to delivering finished products to clients, both in Poland and around the world. We stand by our clients at every stage of cooperation, offering comprehensive technical and sales support.

Furthermore, we offer services in the sale of alternative raw materials that can seamlessly replace the currently used materials without any changes in production processes. Alloyplast is a fusion of knowledge, quality, and determination that shapes the future of plastic processing.



CENTINO  
ul. Ropczycka 1a  
61-316 Poznań  
tel. 660 763 769

W dziedzinie rotomouldingu jesteśmy w Polsce liderem w zakresie projektowania wyrobów (głównie zbiorników podziemnych i naziemnych), a także prowadzenia obliczeń wytrzymałościowych tych wyrobów.

Oferujemy szeroki wachlarz usług, między innymi:

- produkcja form stalowych i aluminiowych do odlewania rotacyjnego;
- projekty wyrobów odlewanych rotacyjnie, szczególnie zbiorników;
- doradztwo technologiczne, usuwanie problemów technologicznych, minimalizacja strat w wyrobach;
- wdrażanie technologii rotomouldingu i uruchomienie produkcji u naszych klientów;
- obliczenia wytrzymałości wyrobów z tworzywa polimerowego (np. polietylen) ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk nieliniowych. Obliczenia są akceptowane przez jednostki wydające aprobaty techniczne (np. ITB czy IOŚ) oraz przez zewnętrzne jednostki certyfikujące wyroby również zagraniczne jak TUV Rheinland lub TUV SUD;
- optymalizacja kształtu zbiorników, ilości i położenia żeber, grubości ścianek wyrobów.



ILLION Sp. z o.o.  
ul. Twarda 18  
00-105 Warszawa  
tel. 606 203 300  
biuro@illion.pl  
www.illion.pl

Świadczymy usługi na potrzeby formowania rotacyjnego, począwszy od opracowania koncepcji produktu, poprzez projekt do wykonania formy.

Przygotujemy projekty produktów i form stalowych lub aluminiowych do wykonania odlewów na podstawie projektów 3D stworzonych przez nas lub dostarczonych przez klienta. Nasze formy odznaczają się bardzo dużą dokładnością oddania detali oraz szczelnością.

Wszystkie opracowania powstają przy użyciu programów do modelowania 3D z pełną wizualizacją przestrzenną. Przeprowadzamy też adaptacje istniejących projektów do realizacji w technice rotomouldingu.

Oferujemy wykonanie odlewów rotacyjnych z wykorzystaniem form powierzonych lub wykonanych przez nas na zlecenie klientów. Produkcja od półproduktów po gotowe wyroby z dostawą do wybranego miejsca w Polsce i w Europie.



OREX ROTOMOULDING  
Sp. z o.o.  
ul. Cieszyńska 6  
43-520 Chybie  
tel. +48 32 440 83 15  
fax +48 32 440 83 16  
orex@orex.pl  
www.orex-rotomoulding.pl

**OREX ROTOMOULDING Sp. z o.o.** jest ekspertem w produkcji maszyn, form oraz specjalistycznych urządzeń do rotomouldingu. Jako zaufany dostawca nowoczesnych i wytrzymałych maszyn typu Karuzela, Shuttle i Rock & Roll, OREX współpracuje z firmami na całym świecie. Własne, profesjonalne centrum obróbki stali (laser, maszyna CNC) umożliwia wykonanie najbardziej skomplikowanych części i podzespołów. W najnowszej ofercie firmy znajduje się maszyna hybrydowa, której premiera odbędzie się 13-25.09.2023.

Zapraszamy na dni otwarte w **OREX ROTOMOULDING Sp. z o.o.**  
**ul. Cieszyńska 6, 43-520 Chybie.**



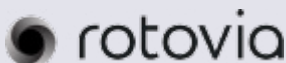
Roto4mat Mariusz Głód  
Wojska Polskiego 3  
39-300 Mielec  
tel. +48 17 749 3939  
biuro@roto4mat.pl  
www.roto4mat.pl

#### **Roto4mat – Twój Partner w Realizacji Projektów: Od Koncepcji do Precyzyjnego Detalu**

Roto4mat to zaawansowany producent technicznych elementów z tworzyw sztucznych, oferujący kompleksową obsługę - od projektu po finalny detal. Jakość i precyzja naszych produktów opierają się na innowacyjnej metodzie rotomouldingu oraz profesjonalnym podejściu do tworzenia form i produkcji.

Nasza firma łączy w sobie doświadczenie z pasją, aby dostarczyć formy i produkty spełniające najwyższe standardy. Nasz zespół projektowy pracuje ramię w ramię z klientami, tworząc unikalne kształty i detale. Dzięki zaangażowaniu, elastyczności i trosce o środowisko (ISO 14001) mamy zaszczyt realizować nawet najbardziej wymagające projekty.

Odwiedź naszą stronę internetową, aby dowiedzieć się więcej o naszych usługach projektowania, tworzenia form i produkcji. Jesteśmy gotowi do pracy na każdym etapie, by tworzyć techniczne elementy zgodnie z Twoimi wyobrażeniami!



Rotovia Międzyrzecz  
Sp. z o.o.  
ul. Zakaszewskiego 9  
66-300 Międzyrzecz  
tel. 957429415  
www.rotovia.com

**Rotovia Międzyrzecz Sp. z o.o.**, należąca do Grupy Rotovia, jest wiodącym producentem wyrobów z tworzyw sztucznych wytwarzanych w procesie rotomouldingu.

Firma świadczy kompleksowe usługi począwszy od produkcji elementów z tworzyw sztucznych, montażu niezbędnych akcesoriów, aż po dostawę finalnego produktu. Rotovia Międzyrzecz dostarcza rozwiązania dostosowane do indywidualnych potrzeb klientów w wielu segmentach przemysłu, takich jak produkcja maszyn budowlanych, rolniczych, autobusów, części samochodowych, energii odnawialnej, systemów kanalizacyjnych i sieci przesyłowych. Specjalizuje się w m.in. w produkcji zbiorników paliwa, wody, hydraulicznych, AdBlue, elementów kabin pojazdów, placów zabaw, zderzaków.

Firma posiada certyfikaty ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 oraz IATF 16949. Jest członkiem Rotopolu, ARM-CE i Polskiej Izby Gospodarczej Maszyn i Urządzeń Rolniczych.



SWIMER Łukasz Otremba  
87-100 Toruń  
ul. Płaska 64  
biuro@swimer.pl  
tel. +48 56 681 47 22

**SWIMER Łukasz Otremba** to uznany na świecie lider w produkcji wyrobów z polietylenu w technologii rotomouldingu. Firma prowadzi działalność w Toruniu i od samego początku buduje swoją silną pozycję na rynku krajowym i zagranicznym. Flagowymi produktami firmy są znane niemal na całym świecie zbiorniki do magazynowania płynów. Ponadto usługowo produkuje różnego rodzaju pojemniki, skrzynie, bariery drogowe, elementy architektury zewnętrznej i ogrodowej, donice, zabawki oraz wyroby dla przemysłu jachtowego. SWIMER wykorzystuje najnowsze technologie produkcyjne i organizacyjne, posiada nowoczesny park maszynowy z laboratorium badawczo – rozwojowym, dysponuje własnym działem konstrukcyjnym i wyspecjalizowaną kadrą inżynierską zorientowaną na zrealizowanie zleconych projektów.

# Roto4mat – liderzy innowacji w produkcji technicznych elementów z tworzyw sztucznych przy użyciu metody rotomouldingu

W świecie dynamicznego rozwoju tworzyw sztucznych Roto4mat wybija się jako czołowy producent technicznych i wymagających elementów przy użyciu metody rotomouldingu. Oferujemy produkty najwyższej jakości, poparte certyfikatem ISO 9001, co potwierdza nasze zaangażowanie w doskonałość i zrównoważone działanie.

## INNOWACYJNOŚĆ PRZEZ ROTOMOULDING

Rotomoulding, czyli formowanie rotacyjne, to nasza specjalność. Dzięki tej zaawansowanej technologii, Roto4mat tworzy techniczne i wymagające elementy z tworzyw sztucznych o doskonałej trwałości i wyjątkowym kształcie. W oparciu o tę technologię, jesteśmy w stanie zrealizować projekty od samego początku, uwzględniając potrzeby i wizje naszych klientów. Dzięki temu nasze produkty są nie tylko funkcjonalne, ale także estetyczne i zgodne z oczekiwaniami.

## WSZECHSTRONNOŚĆ ZASTOSOWAŃ

Produkty Roto4mat znajdują szerokie zastosowanie w wielu sektorach przemysłowych. Specjalizujemy się w tworzeniu technicznych produktów i detali, które spełniają najbardziej wymagające standardy. Nasza oferta jest elastyczna i dostosowywana do indywidualnych potrzeb.

## CERTYFIKOWANA JAKOŚĆ I INNOWACJE

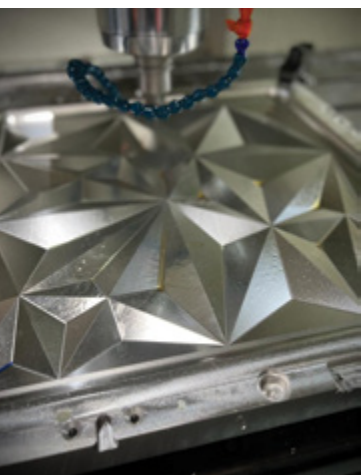
Posiadamy certyfikat ISO 9001, co świadczy o naszym zaangażowaniu w ciągłe doskonalenie jakości naszych produktów i procesów. Działamy z myślą o zaspokojeniu oczekiwań klientów oraz osiągnięciu najwyższych standardów branżowych.

## WSPÓŁPRACA I ZAANGAŻOWANIE KLIENTA

Roto4mat kładzie nacisk na współpracę i partnerstwo z klientami. Nasi projektanci pracują ściśle z klientami, aby zapewnić dostarczenie produktów, które spełniają ich wymagania w stu procentach. Zawsze jesteśmy gotowi sprostać wyzwaniom i dostarczyć rozwiązania, które przynioszą korzyści.

## ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ I OCHRONA ŚRODOWISKA

Produkty Roto4mat nie tylko wyróżniają się jakością, ale także troską o środowisko. Nasze zaangażowanie w zrównoważony rozwój potwierdza naszą misję ochrony środowiska. Dzięki trwałym produktom zmniejszamy wpływ na generowanie odpadów.



Zapraszamy do odwiedzenia naszej strony internetowej, gdzie dowiesz się więcej o naszej firmie.

Jeśli masz pytania lub potrzebujesz wsparcia w przygotowaniu swojego projektu, chętnie pomożemy. Skontaktuj się z nami już dziś!

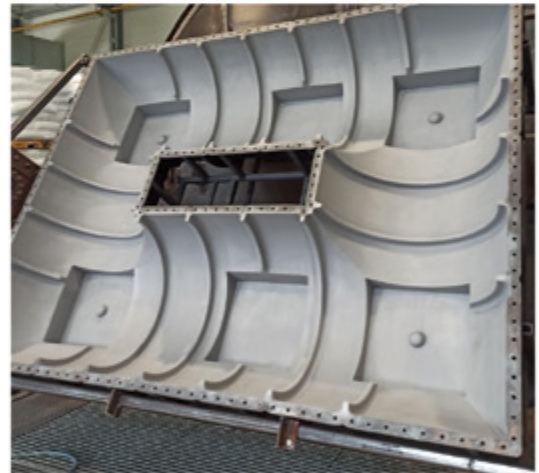
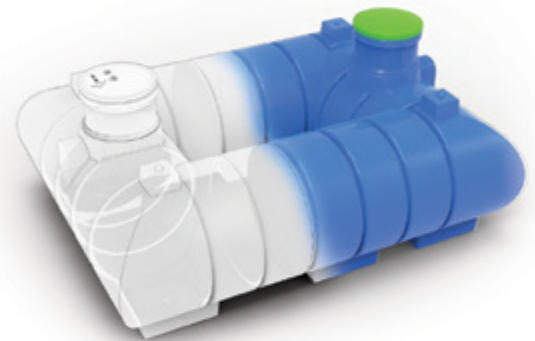
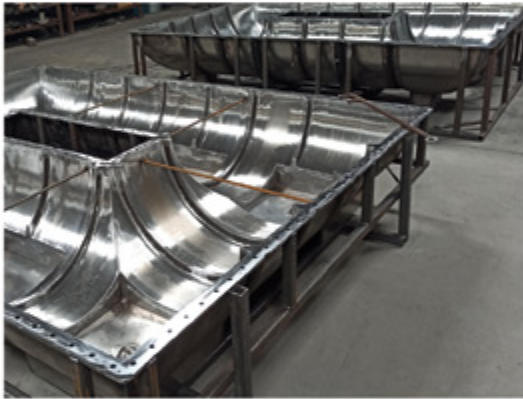


Roto4mat Mariusz Głód  
 Wojska Polskiego 3, 39-300 Mielec  
 tel. +48 17 749 39 39  
 biuro@roto4mat.pl, www.roto4mat.pl



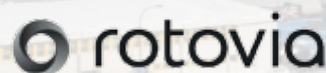
Świadczymy usługi na potrzeby formowania rotacyjnego począwszy od opracowania koncepcji produktu, poprzez projekt i wykonanie formy.

- Profesjonalne doradztwo.
- Kompleksowa usługa projektowania, projekty 3D, wizualizacje komputerowe.
- Adaptacja istniejących produktów do technologii formowania rotacyjnego.
- Opracowanie dokumentacji technicznej.
- Wykonanie form stalowych i aluminiowych.
- Produkcja od półproduktów po gotowe wyroby.



Na życzenie zamawiającego dokonujemy też opracowania odlewów (frezowanie, wiercenie, wycinanie) oraz montażu produktów złożonych z wielu elementów. Gotowe wyroby możemy zapakować i zorganizować transport do wybranego miejsca w Polsce i w Europie.

# Rotovia wiodącym graczem w dążeniu do zrównoważonej przyszłości w rotomouldingu



Formowanie rotacyjne tworzyw sztucznych staje się coraz bardziej popularną technologią wytwarzania produktów z tworzyw sztucznych dla różnych sektorów przemysłu. Rotovia, jedna z czołowych firm, zmienia oblicze branży rotomouldingu, wprowadzając ją w nową erę doskonałości i zrównoważonego rozwoju.

**R**otovia to międzynarodowa firma zajmująca się formowaniem rotacyjnym z ponad 50-letnią historią jako lider w branży produkcji tworzyw sztucznych. Firma o globalnym zasięgu, która swoją silną pozycję zbudowała na grupie przedsiębiorstw działających i współpracujących ze sobą w branży rotomouldingu.

Dzięki bogatemu dziedzictwu i wieloletniemu doświadczeniu, firma od pół wieku produkuje wysokiej jakości, niezwykle trwałe produkty z tworzyw sztucznych, które zaspokajają potrzeby różnych branż i zastosowań.

Rotovia jest obecna na arenie międzynarodowej, z zakładami w wielu krajach i obsługuje klientów na różnych rynkach, z wielu branż. Posiada dziesięć zakładów produkcyjnych zlokalizowanych w siedmiu krajach, w Europie, w tym w Polsce, Niemczech, Niderlandach, Francji oraz w Kanadzie i w Islandii.

Dzięki tej wyjątkowej pozycji firma jest aktywna na wielu różnych rynkach, takich jak energia odnawialna, rolnictwo, rekreacja, budownictwo i pojazdy. Są to przykłady rynków, na których Rotovia z powodzeniem działa od wielu lat i dla których wytwarza wiele różnych produktów formowanych rotacyjnie.

Głównym filarem działalności firmy jest custom rotomoulding, ale firma jest również znana z wprowadzania na rynek nowatorskich produktów i usług pod markami Sæplast, VARIBOX oraz Temptra.

## **ZAANGAŻOWANIE W ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ BRANŻY FORMOWANIA ROTACYJNEGO**

Rotovia posiada swoją strategię rozwoju do 2028 roku, która w dużej mierze koncentruje się na zrównoważonym rozwoju, będącym dla firmy tematem priorytetowym. Wśród głównych założeń organizacji jest ponowne wykorzystywanie ponad 20% materiałów w swoich nowych produktach. Rotovia planuje odzyskiwać od klientów wyroby wycofane z użycia, aby poddać je powtórnemu przetworzeniu. Działanie to poprawi wykorzystanie produktów w ramach obiegu zamkniętego i przyczyni się do dalszego wdrażania koncepcji zrównoważonego rozwoju.

Ponowne wykorzystanie produktów jest kluczem do zmniejszenia wpływu produktu na środowisko w całym okresie jego użytkowania. Oszczędza zasoby i zmniejsza ilość odpadów spowodowanych procesem produkcyjnym oraz odpadów wytwarzanych

przez produkty o krótkim okresie użytkowania. Dla Rotovii niezwykle istotne jest projektowanie z myślą o recyklingu. Dążenie do tworzenia bardziej zrównoważonych produktów stanowi ważny krok w kierunku budowania bardziej odpowiedzialnej gospodarki obiegu zamkniętego i ochrony naszej planety.

## **ROTOVIA SPONSOREM KONFERENCJI ARMO 2023**

Głębokie zaangażowanie w rozwój branży formowania rotacyjnego, a także szerzenie idei zrównoważonego rozwoju w przetwórstwie tworzyw sztucznych przyczyniło się do udziału w tegorocznej konferencji ARMO.

ARMO to wiodąca na świecie, międzynarodowa konferencja gromadząca producentów oraz ekspertów z branży formowania rotacyjnego. Poprzednia edycja konferencji, która w 2018 roku odbyła się w Hamburgu, zgromadziła 52 wystawców i ponad pół miliona uczestników. Tegoroczne spotkanie przedstawicieli branży rotomouldingu odbędzie się w Poznaniu w dniach 10-12 września pod hasłem przewodnim „Zrównoważone formowanie rotacyjne”.

Rotovia jako jeden z kluczowych sponsorów zamierza przyczynić się do sukcesu wydarzenia i współpracować z innymi liderami branży, aby sprostać obecnym wyzwaniom stawianym branży tworzyw sztucznych.

Podczas prelekcji pod hasłem „Rotovia – nasza droga do zrównoważonego rozwoju” CEO Rotovii Dadi Valdimarsson zaprezentuje działania firmy na rzecz zmniejszenia śladu węglowego, zużycia energii i minimalizacji ilości odpadów. W ten sposób Rotovia chce zwrócić uwagę na najważniejsze kwestie związane z działalnością w obszarze tworzyw sztucznych, a także zainspirować pozostałe organizacje do przyjęcia ekologicznych praktyk i zrównoważonych działań w sektorze rotomouldingu.

Więcej informacji na temat działalności Rotovii można znaleźć na stronie internetowej: [www.rotovia.com](http://www.rotovia.com) oraz na kanałach firmy: You Tube: <https://www.youtube.com/@rotovia-hf>; LinkedIn: <https://linkedin.com/company/rotovia>.

**Rotovia hf**  
**Gunnarsbraut 12**  
**620 Dalvík, Islandia**

# ARE YOU LOOKING FOR A POWDER FOR ROTOMOULDING?



SEE WHAT ALLOYPLAST  
CAN DO FOR YOU?



Coloring by extrusion, pulverizing, marble effects and polymer modification



Formulating new innovative raw materials to achieve required physical, chemical, and aesthetic properties for better adaptation to the final application.



New formulation of innovative raw materials to achieve required physical, chemical, and aesthetic properties for better adaptation to the final application.



Sale of alternative raw materials enabling the replacement of those previously used, without the need to make changes in the customer's production process.



Providing excellent service in sales and technical support.

## OUR AREAS OF OPERATION

1

**PULVERIZATION**  
(GRINDING)

2

**COLORING OF PLASTICS**  
BY EXTRUSION

3

**MODIFYING PLASTICS**  
TO IMPROVE THEIR PROPERTIES

ALLOYPLAST Sp. z o.o.

A = ul. TOROWA 115, HALA A15, 62-800 KALISZ, M = alloyplast@alloyplast.pl, T = +48 501 537 725

[www.alloyplast.pl](http://www.alloyplast.pl)

# Maszyny do odlewania rotacyjnego

Karolina Głogowska

Do produkcji wielkowymiarowych wytworów takich jak zbiorniki na wodę lub olej, pojemniki na odpady, przydomowe oczyszczalnie ścieków, kajaki, separatory, bariery drogowe i inne wykorzystuje się technologię odlewania rotacyjnego. To metoda produkcyjna, która umożliwia wyprodukowanie według podanej formy odlewniczej zarówno bardzo prostych, jak i wielce złożonych wyrobów z termoplastycznych tworzyw polimerowych. Odlewanie rotacyjne jest procesem przetwórczym, w którym wykorzystuje się siłę odśrodkową działającą na odlewane tworzywo, znajdujące się w gnieździe formującym formy odlewniczej. Podczas tego procesu załadowana tworzywem forma obraca się w różnych płaszczyznach, w efekcie czego ciekłe lub uplastycznione tworzywo jest równomiernie rozprowadzone po wszystkich ściankach gniazda formującego. W zaprezentowanym artykule scharakteryzowano proces, maszyny i urządzenia do formowania rotacyjnego tworzyw polimerowych. Omówiono wady i zalety tej metody przetwórczej.

Odlewanie rotacyjne jest jedną z wielu obecnie stosowanych technologii przetwórstwa tworzyw polimerowych. Wyróżnia się wśród innych metod przede wszystkim tym, że stosowana jest głównie do produkcji wyrobów wewnątrz pustych typu powłokowego, w których grubość ścianek można w prosty sposób regulować poprzez zmianę wzajemnego stosunku prędkości obrotowej formy wokół osi pionowej i poziomej. Odlewanie rotacyjne jest procesem cyklicznym i wyróżnia się w nim następujące fazy: załadunek, ogrzewanie, chłodzenie i wyładunek (rys. 1) [3, 4]. W fazie załadunku do otwartej formy odlewniczej wsypywana jest odważona porcja tworzywa, najczęściej w postaci proszku. W fazie nagrzewania forma jest już zamknięta i rozpoczyna się jej nagrzewanie, tworzywo przechodzi w stan plastyczny lub ciekły i na skutek siły odśrodkowej wywołanej ruchem obrotowym formy zaczyna przylegać do ścianek gniazda formującego [1]. Po wyjęciu formy odlewniczej z układu grzewczego następuje faza chłodzenia, ruch obrotowy formy wciąż jest kontynuowany, a tworzywo zestala się i przyjmu-

je ostateczny kształt odlewu. Gdy tworzywo ochłodzi się na tyle, aby zachować nadany mu kształt, forma zostaje otwarta i odlew zostaje usunięty z formy.

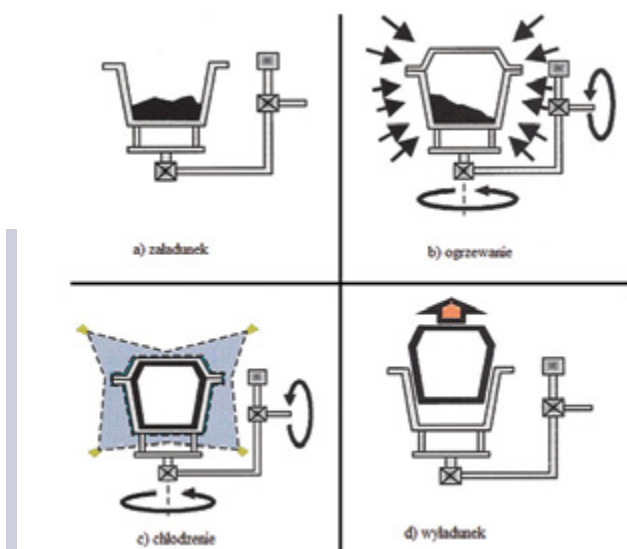
## MASZYNY DO ODLEWANIA ROTACYJNEGO

W połowie lat dziewięćdziesiątych nastąpił gwałtowny rozwój technologii odlewania rotacyjnego. Stało się to możliwe między innymi w wyniku opracowania przez producentów maszyn bardziej wydajnych i ekonomicznych urządzeń z automatycznymi systemami kontroli przebiegu procesu. Ze względu na rozwiązania konstrukcyjne maszyny do odlewania rotacyjnego można podzielić na: wrzecionowe, karuzelowe, liniowo-wahadłowe, skrupowe i kołyskowe [2, 3].

Na wyposażeniu laboratorium Katedry Procesów Polimerowych na Politechnice Lubelskiej znajduje się maszyna do odlewania rotacyjnego typu wrzecionowego. Wygląd urządzenia do odlewania rotacyjnego został przedstawiony na rysunku 2.

Urządzenie składa się z następujących układów:

- układu grzewczego, w którym na skutek ruchów obrotowych formy i wrzeciona realizowana jest funkcja mieszania tworzywa i kształtowania odlewu;



Rys. 1. Fazy procesu odlewania rotacyjnego: a) załadunek, b) ogrzewanie, c) chłodzenie, d) wyładunek [6]



Rys. 2. Wygląd urządzenia do odlewania rotacyjnego znajdującego się na wyposażeniu laboratorium Katedry Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej: 1 - układ grzewczy, 2 - układ rotacyjny, 3 - forma odlewnicza, 4 - układ sterowania i regulacji, 5 - podstawa, 6 - wentylator

- układu narzędziowego;
- układu sterowania i regulacji;
- podstawy z osłoną i wentylatora do chłodzenia formy.

Układ sterowania umożliwia bezstopniową zmianę prędkości obrotowej zarówno wrzeciona, jak i formy odlewniczej. Zmiana prędkości obrotowych wrzeciona oraz formy odbywa się niezależnie; jest to kluczowe z punktu widzenia odpowiedniego doboru obu prędkości obrotowych, umożliwiającego otrzymanie odlewów o regulowanej grubości ścianki.

Charakterystykę techniczną urządzenia do odlewania rotacyjnego zaprezentowano w tabeli 1.

Następnymi rodzajami urządzeń do odlewania planetarnego, stosowanych w przemyśle jest maszyna trójramienna typu karuzelowego (rys. 3). Maszyny te mają jeden piec i dwa obszary chłodzenia. Wynika to z faktu, że czas chłodzenia ma największy wpływ na długość całego cyklu procesu odlewania. Istnieje jednak możliwość, przy specyficznej produkcji, innego podziału stref, np. dwie strefy grzania lub dwie strefy załadunku i rozładunku. Można również spotkać czteroramienne, pięcioramiennym maszyny karuzelowe, które mają określoną ilość stref grzania, chłodzenia oraz załadunku – rozładunku zgodnie z indywidualnymi życzeniami producenta wyrobów.

Maszyny do odlewania rotacyjnego rodzaju liniowo-wahadłowego mogą pracować w układzie liniowym albo w układzie kołowym (rys. 4). W maszynie pracującej w układzie liniowym forma transportowana jest w linii prostej po prowadnicy. Zaletą tego układu jest fakt, że czas pobytu w piecu, chłodzenia oraz przebywania w obszarze załadunku-rozładunku są całkowicie niezależne. Jednocześnie dla każdej fazy procesu może być dobrany opty-

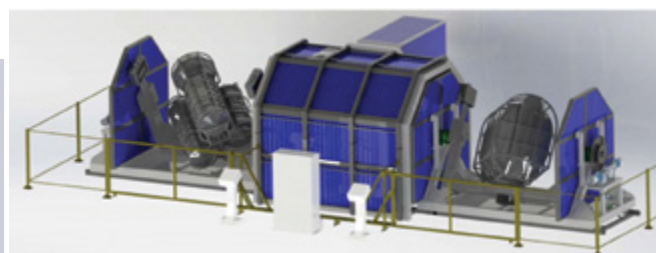
malny czas. W porównaniu z innymi typami maszyn do odlewania rotacyjnego ten typ maszyny jest także ekonomiczny z punktu widzenia oszczędności powierzchni produkcyjnej. Jednakże posiada on jedną zasadniczą wadę, mianowicie czas cyklu jest dla tych maszyn bardzo długi ze względu na fakt, że w chwili gdy pracuje jeden z układów maszyny, dwa pozostałe stoją nieużytecznie. Skutkiem tego maszyny takiego typu mogą być stosowane tylko dla produkcji małoseryjnej.

Maszyny typu skorupowego charakteryzują się tym, że grzanie i chłodzenie odbywa się w jednej komorze (rys. 5). Formy montowane są zazwyczaj w osi poziomej i po napełnieniu ich proszkiem, górną część komory zamyka się, a wtłoczone do niej gorące powietrze grzeje obracającą się formę. Na końcu etapu grzania, zimne powietrze lub strumienie wody kierowane bezpośrednio na formę chłodzą ją z żadaną szybkością. Ten typ maszyny, podobnie jak liniowa maszyna wahadłowa, jest ekonomiczny z punktu widzenia zapotrzebowania na powierzchnię produkcyjną, ale mało ekonomiczny, jeśli chodzi o jej wydajność.

Jednym z najwcześniejszych typów maszyn do odlewania rotacyjnego była tzw. „kołyska” (rys. 6). Charakteryzuje się ona tym, że forma obraca się nad otwartym płomieniem ognia, a cała maszyna kołysze się w przód i w tył. Przy takim rozwiązaniu trudna jest jednak kontrola grubości ścianki, więc rozwiązanie to stosowane jest tylko w krajach o niższym poziomie technicznym.

Tabela 1. Charakterystyka techniczna stanowiska do odlewania rotacyjnego

Wielkość charakteryzująca maszynę	Jednostka	Wartość
Zewnętrzne wymiary formy	mm	200x200x200
Maksymalna prędkość obrotowa formy	obr./min	33
Maksymalna prędkość obrotowa ramienia	obr./min	33
Masa zespołu rotacyjnego	kg	80
Masa zespołu grzejnego wraz z podstawą	kg	300
Całkowita masa urządzenia	kg	400
Wymiary gniazda formy odlewniczej	mm	180x180x180
Moc napędu ruchu obrotowego formy	kW	0,25
Moc napędu ruchu obrotowego ramienia	kW	0,25
Moc komory grzejnej	kW	12



Rys. 4. Maszyna do odlewania rotacyjnego typu liniowo-wahadłowego [9]



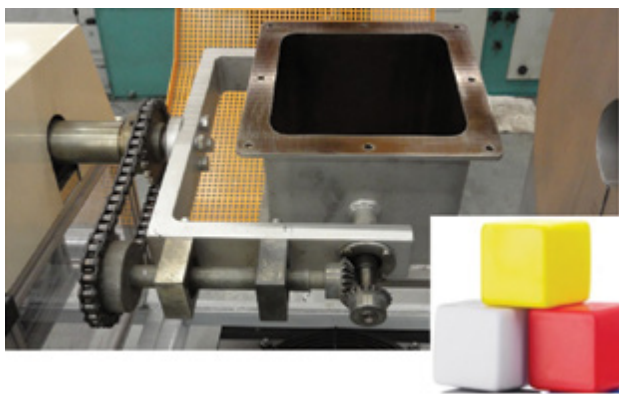
Rys. 3. Maszyna do odlewania rotacyjnego typu karuzelowego trójramienna: 1- formy odlewnicze, 2 - układ grzewczy, 3 - ramię mimośrodowe, 4 - układ chłodzenia [1]



Rys. 5. Maszyna do odlewania rotacyjnego typu skorupowego [4]



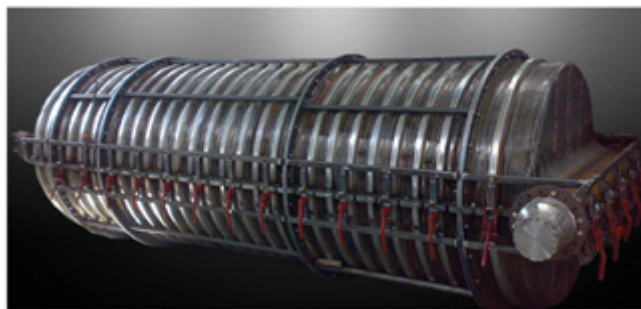
Rys. 6. Maszyna do odlewania rotacyjnego typu kołyskowego [2]



Rys. 8. Wygląd formy odlewniczej do odlewania rotacyjnego znajdującego się na wyposażeniu laboratorium Katedry Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej oraz wykonanego wytworu

Formy do odlewania rotacyjnego wykonywane są ze stali lub aluminium. W zależności od kształtu wyrobu finalnego, formy różnią się między sobą pod względem stopnia skomplikowania, a co za tym idzie kosztu wytworzenia. Najtańsze w wykonaniu formy stalowe stosowane są najczęściej w przypadku niezbyt skomplikowanych kształtów. Formy aluminiowe – odlewane lub kształtowane w procesie obróbki maszynowej - umożliwiają osiągnięcie praktycznie dowolnych kształtów, stanowiąc doskonałe możliwości w zakresie projektowania nowych wyrobów. Dzięki odpowiedniej konstrukcji formy mogą być wieloelementowe w zależności od skomplikowania produktu. Dodatkowo formy mogą być wykonane jako formy modułowe, dzięki temu można uzyskać wiele wariantów produktu, oszczędzając koszty wytworzenia wielu podobnych form (rys. 7).

Wygląd formy odlewniczej do odlewania rotacyjnego znajdującego się na wyposażeniu laboratorium Katedry Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej oraz uzyskanego wytworu zaprezentowano na rysunku 8. Forma odlewnicza jest wykonana z grubościennego, stalowego profilu. Wnętrze formy jest wypolerowane, aby zapewnić łatwe wyciągnięcie uformowanego odlewu. Forma od góry i od dołu jest zamknięta pokrywami mocowanymi do kołnierza za pomocą śrub. Do korpusu formy są przyspawane czopy łożyskowe w łożyskach ramienia. Na dłuższym z czopów jest umieszczone koło zębate stożkowe, służące do przekazywania ruchu obrotowego.



Rys. 7. Stalowa forma modułowa [7]



Rys. 9. Przykłady wyrobów z tworzyw polimerowych otrzymanych za pomocą odlewania rotacyjnego [10]

Z uwagi na sposób nagrzewania formy odlewniczej wśród maszyn do odlewania rotacyjnego występują maszyny z formami ogrzewanymi pośrednio (w komorze grzewczej przy pomocy gorącego powietrza) lub bezpośrednio (rezystancyjnie lub płomieniowo, bez komory cieplnej) [5].

Odlewania rotacyjne stwarza różnorodne możliwości i znajduje szeroki zakres zastosowań. Jest idealną metodą wytwarzania wielu produktów, od części pojazdów i urządzeń, zbiorników paliwa i pojemników na żywność, po produkty użytkowe, gdzie kluczową rolę odgrywa estetyka (rys. 8). Obszar zastosowania odlewania rotacyjnego można podzielić na cztery główne podgrupy:

- zbiorniki wody;
- produkty techniczne (obudowy, prowadnice, zbiorniki hydrauliczne);
- przemysł samochodowy (zbiorniki paliwa, oleju i wody, deski rozdzielcze, prowadnice, obudowy filtrów, dachy, osłony);
- logistyka (palety, pojemniki na odpady).

#### WADY I ZALETY ODLEWANIA ROTACYJNEGO

Do podstawowych zalet odlewania rotacyjnego należą:

- możliwość wytwarzania pustych wewnątrz wyrobów bez konieczności stosowania dodatkowych operacji;
- brak naprężeń wewnętrznych w odlewach;
- niskie koszty form w porównaniu do innych technologii;
- krótki czas wytworzenia formy;
- brak lub niewielkie straty tworzywa w procesie produkcji;
- możliwość jednoczesnej produkcji różnorodnych wyrobów z użyciem jednej maszyny;
- możliwość produkcji wyrobów ze zintegrowanymi elementami metalowymi (np. kołnierze, elementy gwintowane) wykorzystywanymi do montażu osprzętu [1, 9].

Do wad odlewania rotacyjnego można zaliczyć:

- długi czas cyklu wytwarzania odlewu;
- niską wydajność;
- dużą energochłonność i niską sprawność;



## ROTOMOULDING

Zobacz co możemy dla Ciebie wyprodukować...



- odpowiednią konstrukcją odlewów, w której należy unikać ostrych krawędzi i gwałtownych zmian wymiarów [5].

**PODSUMOWANIE**

Odlewanie rotacyjne stwarza różnorodne możliwości i znajduje szeroki zakres zastosowań. Jest idealną metodą wytwarzania wielu produktów, od części pojazdów i urządzeń, zbiorników paliwa i pojemników na żywność, po produkty użytkowe, gdzie kluczową rolę odgrywa estetyka. Produkty wytworzone w tej technologii po zakończeniu okresu eksploatacji mogą być w pełni przetwarzalne i poddane recyklingowi.

Rosnąca wciąż ilość tworzyw możliwych do przetwórstwa metodą odlewania rotacyjnego stanowi dodatkowy stimulator rozwoju konstrukcji maszyn realizujących ten proces przetwórczy oraz współpracujących z nimi form odlewniczych, mający na celu zapewnienie zachowania coraz bardziej zaawansowanych warunków przetwórstwa oraz sprostanie rosnącym wymaganiom dotyczącym jakości odlewów i opłacalności wytwarzania elementów z tworzyw otrzymywanych metodą odlewania rotacyjnego [1, 4].

**LITERATURA**

[1] R.M. Anandha, J.M. Throne: Principles of rational molding, Polymer Engineering and Science 2004. Vol. XII, 237-264.  
 [2] J. Bursa: Rotacyjne formowanie polimerów – ponownie docenione. Seminarium Tworzywa Sztuczne w Budowie Maszyn 2006. Vol. VI, 85-90.  
 [3] R.J. Crawford, M.P. Kearns: Practical Guide to Rotational Molding. Rapra Technology Limited 2003.

[4] R.J. Crawford: Rotational Moulding of Plastics. Research Studies Press 1996.  
 [5] T. Jachowicz: Rodzaje maszyn do odlewania rotacyjnego. Tworzywa Sztuczne i Chemia 2009. Vol. III, 72-76.  
 [6] magazynprzemyslowy.pl/produkcja/Technologia-odlewania-rotacyjnego-tworzyw-sztucznych,9566,1 (available: 10.08.2015).  
 [7] metria.pl/uslugi-rotot/formy-rotomoulding/ (available: 10.08.2015).  
 [8] I.G. Olson, G. Gogos, V. Pashon: Axisymmetric finite element models for rotational molding. International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow 1999. Vol. IX, 515-542.  
 [9] rotopol.put.poznan.pl/index.php?c=rotomolding-theory (available: 11.08.2015).  
 [10] M. Szostak: Maszyny w technologii odlewania rotacyjnego. Plastics Review 2003. Vol. II, 63-65.  
 [11] M. Szostak: Technologia odlewania rotacyjnego. Plastics Review 2002. Vol. IV, 60-68.

Artykuł został opublikowany w: „Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska”, 2017, nr 2, s. 115-118.

**mgr inż. Karolina Głogowska**  
**Politechnika Lubelska**  
 Katedra Procesów Polimerowych

REKLAMA

The advertisement features several covers of the magazine 'Tworzywa Sztuczne Przemysle'. The covers show various industrial and scientific topics related to plastics. The main text on the right side of the advertisement reads: 'Tworzywa Sztuczne Przemysle'. Below this, there are two call-to-action buttons: 'Zapraszamy do zakładki e-gazeta' (We invite you to the e-gazette section) and 'Pobierz plik www.tworzywasztuczne.biz' (Download the file from www.tworzywasztuczne.biz).



# Zrównoważone barwienie tworzyw sztucznych



**T**rendy w produkcji zrównoważonych produktów i opakowań, w tym tych wykonanych z przetworzonego plastiku, stale zyskują na znaczeniu w oczach coraz bardziej świadomych konsumentów. Jednak równocześnie, w dzisiejszym świecie, estetyka i design nadal odgrywają kluczową rolę jako wizytówka marek, a tym samym wpływają na ich sukces sprzedażowy. To sprawia, że wielu producentów opakowań stoi przed wyzwaniem: jak osiągnąć atrakcyjne kolory z użyciem materiałów pochodzących z recyklingu i jak uniknąć kompromisów w projektowaniu opakowań z tworzyw sztucznych.

W Lifocolor dostrzegliśmy znaczny wzrost zainteresowania kolorami wytwarzanymi z surowców wtórnych. Projekty związane z tym tematem są wyjątkowo złożone, ze względu na różnorodne rodzaje tworzyw z recyklingu dostępne na rynku oraz ich różne kolory i właściwości. Kluczem do płynnej i udanej procedury recyklingu jest wykorzystanie jednego rodzaju tworzywa w procesie reprodukcji. Jednak sytuacja staje się trudniejsza w przypadku wielobarwnych tworzyw sztucznych. W recyklingu mechanicznym nie ma procesu, który pozwoliłby na usunięcie koloru z mieszaniny. To oznacza, że recyklaty zawsze muszą być dodatkowo zabarwione. Wybór odpowiedniego barwnika do tworzyw sztucznych jest kluczowy, ponieważ rzeczywisty kolor recyklatu wpływa na ostateczny efekt kolorystyczny. Osiągnięcie maksymalnej intensywności koloru i jakości w koncentracie barwiącym oraz procesie barwienia polimeru wymaga zastosowania stabilnych pigmentów, które wytrzymają liczne cykle reprodukcji.

W przypadku jasnych recyklatów proces barwienia jest łatwiejszy, co umożliwi bardziej zróżnicowane projekty produktów. Są one również bardziej ekonomiczne, ponieważ dozowanie koncentratu barwiącego jest zazwyczaj niewielkie, wynoszące mniej niż pięć procent. Jasne recyklaty są szczególnie atrakcyjne dla firm, które chcą wytwarzać produkty w 100% z recyklingu, ponieważ pozwalają na pełną zawartość recyklatu w produkcie końcowym. Niestety, produkcja polimerów z recyklingu o jasnych kolorach jest bardziej kosztowna i trudniej dostępna na rynku. Z kolei ciemniejsze recyklaty wymagają większego wysiłku i nakładów finansowych na barwienie, ponieważ potrzebne jest zazwyczaj większe dozowanie koncentratu barwiącego, a różnorodność

kolorów, które można osiągnąć w produkcie końcowym, jest ograniczona. Jedną z możliwości kompromisu jest zastosowanie materiału pierwotnego w przedziale 20–70%, co pozwala zachować opłacalność produkcji, uzyskując zadowalający efekt kolorystyczny.

Dodatki do tworzyw sztucznych odgrywają zasadniczą rolę w poprawie jakości recyklatu, a wprowadzanie ich już na etapie pierwszego przetwarzania materiału może mieć pozytywny wpływ na cały cykl produkcji. W Lifocolor oferujemy różnorodne rozwiązania w zakresie koncentratów nadających się do recyklingu. Standardowe produkty z portfolio LifoCycle wspierają różne etapy procesu w gospodarce cyrkularnej. Nasza oferta obejmuje również masterbatche wykrywalne w bliskiej podczerwieni (NIR), które wspomagają sortowanie oraz nadające się do recyklingu barwniki do poliolefin i PET, które są oparte na wysokiej jakości stabilnych pigmentach odpornych na temperaturę.

Wykorzystując recyklaty, przetwórcy tworzyw sztucznych powinni wybierać między kreatywnym projektem a produktem nadającym się do recyklingu. O tym, że gospodarka cyrkulacyjna i innowacje kolorystyczne nie wykluczają się wzajemnie, świadczą nasze trendy kolorystyczne dla produktów codziennego użytku z serii Colour Road, a także nasza własna linia trendów kolorystycznych dla branży kosmetycznej Shades of Beauty & Care 2024. Nasze koncentraty barwiące do tworzyw sztucznych pod hasłem „Wieczne Kolory” wskazują drogę do właściwego recyklingu już na etapie przetwarzania i barwienia. Są one wyposażone w wyselekcjonowane pigmenty i wykazują wysoką odporność na temperaturę oraz migrację, co czyni je idealnymi do wielu cykli. Dzięki odpowiednim rozwiązaniom i innowacjom można osiągnąć estetyczny i zrównoważony design, który spełni oczekiwania zarówno klientów, jak i będzie wspierał cele zrównoważonego rozwoju.

**LIFOCOLOR FARBPLAST Sp. z o.o.**  
**ul. B. Raczkowskiego 2, 85-862 Bydgoszcz**  
**tel. +48 52 323 81 60**  
**sekretariat@lifocolor.pl, www.lifocolor.pl**

# Pionierska powłoka Antistatic Direct Plus – łatwy i szybki proces malowania tworzyw polimerowych

Katarzyna Suchoń, Ewa Langer

**Specjalistki Grupy Badawczej Farb i Tworzyw Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników opracowały i opatentowały nową metodę ochrony antystatycznej trudnych do malowania rur i podłoży termoplastycznych w szczególności HDPE i PP, która przewyższa dotychczasowe metody. Produkt charakteryzuje doskonałą przyczepność do podłoża i brak konieczności stosowania procesów aktywacji powierzchni i primingu.**

**G**rupa Badawcza Farb i Tworzyw od lat specjalizuje się w opracowywaniu nowoczesnych farb i powłok do zastosowań przemysłowych w odpowiedzi na realne potrzeby i problemy przedsiębiorców w szczególności z sektora MŚP.

Innowacyjna farba ANTISTATIC DIRECT PLUS pozwoliła naszym klientom na opracowanie i wprowadzenie na rynek trwałych i wytrzymałych rur termoplastycznych, odpornych na warunki zewnętrzne, takie jak wilgoć i temperatura, które znajdują zastosowanie w przemyśle wydobywczym.

Ewa Langer, lider obszaru: – Wspieramy mikro, małe i średnie przedsiębiorstwa we wdrażaniu nowoczesnych rozwiązań w zakresie farb. W szczególności, jako jedyni w Polsce, chętnie kompleksowo pomagamy innowacyjnym firmom, które chcą wdrażać nowe wyroby lakierowe w swoich procesach produkcyjnych z udziałem dotacji badawczo-rozwojowych. Naszymi klientami są nie tylko producenci wyrobów lakierowych. Najczęściej są to ambitne przedsiębiorstwa, które stosują procesy lakierowania w swojej produkcji i poszukują ekologicznych, innowacyjnych alternatyw, uproszczonego łańcucha dostaw lub wyższej jakości.

## OD PROBLEMU DO ROZWIĄZANIA

Projekt opracowania innowacyjnej powłoki Antistatic Direct Plus jest odpowiedzią na problemy produkcyjne i chęć poszerzenia oferty produktowej jednego z czołowych producentów rur z tworzyw termoplastycznych w Polsce, który poszukiwał ekonomicznego sposobu zabezpieczania wyrobu przed elektrycznością statyczną i zgłosił się do nas z tym problemem. Swoje wyroby kieruje on między innymi do branży wydobywczej, gdzie wszystkie materiały muszą spełniać rygorystyczne warunki w zakresie antystatyczności.

Klientowi zależało na stosowaniu wyrobu bez konieczności wdrażania procesów wstępnej obróbki podłoża przed malowaniem i na maksymalnym uproszczeniu technologii, bez stosowania procesów, które w przypadku elementów wielkogabarytowych, są kłopotliwe do przeprowadzenia.

Problem polegał na tym, że nie było skutecznego sposobu na uzyskanie ochrony antystatycznej dla tych elementów bez stosowania procesów aktywacji powierzchni. W przypadku chęci stosowania antystatycznych powłok lakierowych koniecznością było stosowanie obróbki powierzchni przed malowaniem, alter-



Zdjęcie 1. Twórcy opatentowanej powłoki ANTISTATIC DIRECT PLUS

natywą było stosowanie dodatków antystatycznych w masie, co przekłada się na wzrost kosztu produkcji.

– Kluczowym wyzwaniem w tym przypadku była niska energia powierzchniowa i mała zwilżalność materiału podłoża wykonanego z HDPE (polietylenu wysokiej gęstości) i PP (polipropylenu), co powoduje problemy z przyczepnością farb – wspomina Katarzyna Suchoń starszy specjalista badawczo-rozwojowy. W procesie malowania tworzyw polimerowych bardzo często konieczne jest stosowanie czasochłonnych i kosztochłonnych metod obróbki wstępnej podłoża polimerowego przed malowaniem poprzez prowadzenie procesów aktywacji plazmowej lub wyładowaniami koronowymi za pomocą specjalnie skonstruowanych i drogiej w zakupie i użytkowaniu komór lub głowic do aktywacji plazmowej czy koronowej. Możliwe są również dodatkowe operacje technologiczne nanoszenia warstw gruntujących zawierających promotory adhezji takie jak CPO (chlorowane poliolefiny) lub niechlorowane modyfikowane poliolefiny (APO), poliuretany zapewniające przyczepność powłoki lub stosowanie obu tych metod łącznie w przypadku niskiej ich skuteczności. Dobór odpowiednich środków jest jednak czasochłonny i nie zawsze gwarantuje satysfakcjonujące efekty. Podczas prac badawczych sprawdzaliśmy wszystkie te możliwości. Ostatecznie

jednak, mając na względzie potrzeby klienta i uproszczenie procesu produkcyjnego w jego zakładzie, opracowaliśmy unikalny antystatyczny wyrób lakierowy do rur z tworzyw polimerowych HDPE, który charakteryzuje się doskonałą przyczepnością do podłoża bez konieczności stosowania procesów aktywacji powierzchni (obróbki wstępnej powierzchni).

Opracowana przez dwuosobowy zespół nowa powłoka lakierowa ANTISTATIC DIRECT PLUS o doskonałej przyczepności do podłoża została zastosowana na rurach termoplastycznych w przemyśle górniczym.

### CO WYRÓŻNIA NASZĄ POWŁOKĘ?

Różnica pomiędzy ANTISTATIC DIRECT PLUS, a innymi farbami polega na sposobie zapewnienia odpowiednich właściwości na podłożu z trudnego do malowania tworzywa polimerowego. W konwencjonalnych farbach właściwość ta jest tworzona poprzez stosowanie primerów lub procesów aktywacji plazmowej czy koronowej, które zapewniają dobrą przyczepność powłoki, poprzez dodatkową przyczepną warstwę lub degradację powierzchni podłoża w celu poprawy adhezji powłoki lakierowej. Metody te wymagają dodatkowego oprzyrządowania, jednak są stosowane od wielu lat. Tradycyjne metody mają pewne wady i zalety, których zestawienie zebrano w tabeli 1.

Farba ANTISTATIC DIRECT PLUS przeznaczona jest do nadania powierzchniom rur i kształtek z termoplastycznych polimerów właściwości antystatycznych wymaganych w obszarach ich zastosowań np. w górnictwie czy wentylacji. Skład farby pozwala na otrzymanie powłoki o rezystywności  $10^7 \Omega$ . Może być stosowana do wytwarzania antystatycznych powłok na rurach, zbiornikach z tworzyw, obudowach i korpusach maszyn i urządzeń, płytach, foliach, meblach, np. przy produkcji sprzętu szpitalnego lub sprzętu przeznaczonego do eksploatacji

w pomieszczeniach zagrożonych powstawaniem elektryczności statycznej.

We wszystkich tych zastosowaniach w zależności od kształtu i gabarytu produktu końcowego producenci mogą napotykać problemy technologiczne podczas doboru powłok wykończeniowych gwarantujących odpowiednie parametry techniczne, bezpieczeństwa i estetyczne. W metodach tradycyjnych (aktywacja, priming) dodatkowym utrudnieniem może być koszt zakupu i dostosowania linii technologicznych wymagających stanowiska przygotowania powierzchni wyposażonego w system aktywacji plazmowej czy wyładowań koronowych, w szczególności w przypadku stosowania jako podłoża materiałów na bazie poliolefin, takich jak polipropylen czy polietylen.

Z naszych doświadczeń wynika, że koszt zakupu tego typu linii do aktywacji dla elementów o mało skomplikowanych kształtach i gabarytach zaczyna się od 40 000 zł (dane na rok 2021). Dla elementów dużych jest znacznie wyższy i często wymaga dostosowania stanowiska w zrobotyzowaną linię usprawniającą proces, co często jest poza zasięgiem firm z sektora MŚP stosujących dane technologie.

W farbie ANTISTATIC DIRECT PLUS zastosowano nowatorskie podejście oparte na kompozycji specjalnie dobranych żywic z grupami hydroksylowymi oraz grupami zawierającymi w strukturze polioliu modyfikowane chlorowane poliolefiny (CPO), stosowane w tradycyjnych primerach. W połączeniu z odpowiednio dobranymi utwardzaczami izocyjanianowymi pozwoliły na otrzymanie powłok o lepszych właściwościach niż dotychczas znane wyroby lakierowe do powlekania rur i kształtek z polipropylenu, polietylenu i ich mieszanin (tabela 1).

Składnik polioliowy zawierający żywicę akrylową z grupami CPO (chlorowane poliolefiny stosowane w promotorach adhezji) bezpośrednio w jej strukturze zapewnia uzyskanie wysokiej jakości,

Tabela 1. Zalety i wady stosowania obróbki wstępnej tworzyw polimerowych przed malowaniem

Farby antystatyczne dostępne na rynku + proces aktywacji plazmowej/ koronowej	Farby antystatyczne dostępne na rynku + warstwa primeru	ANTISTATIC DIRECT PLUS - jednowarstwowa kompozycja powłokowa do malowania tworzyw termoplastycznych
<ul style="list-style-type: none"> <li>poprawa przyczepności powłoki;</li> <li>dwuetapowy proces;</li> <li>aktywacja jest trudna w przypadku powierzchni o skomplikowanych kształtach;</li> <li>aktywacja wymaga drogiego sprzętu;</li> <li>aktywacja jest czasochłonna;</li> <li>aktywacja zwiększa koszt jednostkowy produktu końcowego;</li> <li>wymagany dodatkowy ciąg technologiczny, dla procesu aktywacji, optymalnie zrobotyzowany dla zapewnienia wysokiej jakości procesu;</li> <li>manualne prowadzenie procesu aktywacji bez zachowania ustalonego reżimu produkcyjnego, powoduje problemy jakościowe z przyczepnością do podłoża termoplastycznego, odpajanie powłoki;</li> <li>dłuższy czas przetwarzania;</li> <li>wysoka cena zabiegu aktywującego (aparatura, hala produkcyjna, odpowiednio wyszkolony personel - automatyk);</li> <li>trudności z doбором parametrów aktywacji przed zakupem urządzeń;</li> <li>ograniczenia w doborze robotów do obsługi głowic i kształtu detalu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>wymagane wysokie zużycie rozpuszczalników (stosowane roztwory primerów w stężeniu 5%, 95% stanowią wysokolotne rozpuszczalniki);</li> <li>2-etapowy proces;</li> <li>dłuższy czas przetwarzania;</li> <li>trudność w doborze odpowiedniego podkładu w warunkach przemysłowych, konieczność testowania wielu próbek primerów przed ustaleniem procesu;</li> <li>kompatybilność i jednorodność systemu, stosowanie jako dodatków do farb może powodować problemy z wyglądem powłoki, przyczepnością, żelowaniem, wtrąceniami i powodować wady powłoki lakierowej.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>łatwa aplikacja, tradycyjnym sprzętem lakierniczym;</li> <li>stosowana do wszelkiego rodzaju tworzyw polimerowych, w tym folii opakowaniowych i rur wykonanych z PP, PE, ABS i PVC;</li> <li>chroni powierzchnie przed gromadzeniem się kurzu i ładunków elektrostatycznych podczas użytkowania produktu;</li> <li>brak konieczności stosowania procesów wstępnej obróbki powierzchni przed malowaniem;</li> <li>brak konieczności zakupu skomplikowanych i drogich urządzeń do aktywacji;</li> <li>skrócony czas produkcji detali z tworzyw polimerowych;</li> <li>nie wymaga wielogodzinnych prac przygotowawczych;</li> <li>nie ma potrzeby stosowania podkładów ani procesów aktywacji;</li> <li>uzyskana powierzchnia jest bezpieczna w użyciu natychmiast po wyschnięciu pojedynczej warstwy powłoki;</li> <li>koszt uzyskanej ochrony antystatycznej jest niższy niż w przypadku stosowania dodatków antystatycznych w masie polimerów do produkcji wyrobów z tworzyw polimerowych.</li> </ul>



Zdjęcie 2. Farby ANTISTATIC DIRECT PLUS produkowane przez Sieć Badawczą Łukasiewicz - Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników

trwałej powłoki o znacznie poprawionej przyczepności do nieaktywowanego podłoża z termoplastycznych tworzyw polimerowych takich jak PP, PE, PP/PE, ABS, PVC.

Dla użytkownika idea farby ANTISTATIC DIRECT PLUS jest prosta: zamiast zmagać się z podkładami i procesami aktywacji, których stosowanie jest czasochłonne i kosztowne, można użyć jednej farby, aby zapewnić powierzchniom z tworzyw polimerowych ochronę przed gromadzeniem się ładunków elektrycznych, której potrzebują.

### **NIE TYLKO GÓRNICTWO...**

Wyniki badań przeprowadzonych przez specjalistów Grupy Badawczej Farb i Tworzyw potwierdziły, że rozwiązanie to jest skutecznym sposobem na zwiększenie trwałości wyrobu i odporności na warunki zewnętrzne, co pozwala na stosowanie rur z tworzyw polimerowych bez warstwy podkładowej i bez procesów aktywacji powierzchniowej. Nie ogranicza się jedynie do tak wąskich zastosowań przemysłowych.

Obecnie produkt wykorzystywany jest w górnictwie do zabezpieczenia antystatycznego rurociągów polietylenowych, które zapewniają lepszą odporność na korozję niż tradycyjne systemy oparte na stali.

Tego typu wyroby antystatyczne stosuje również branża meblarska (meble medyczne) czy producenci urządzeń.

Powłoka może znaleźć zastosowanie wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z gromadzeniem się ładunków elektrostatycznych na powierzchni elementów tworzywowych, w szczególności tych trudnych do malowania, wykonanych z termoplastów w miejscach, które mogą zagrażać bezpieczeństwu instalacji, urządzeń czy zakładów, w tym w szczególności:

- obudów elektronicznych;
- szaf sterowniczych;
- sal komputerowych;



Zdjęcie 3. Laureaci wyróżnieni w konkursie Innowator Śląska edycja 2022 w kategorii instytucja sektora badawczo-rozwojowego - dr inż. Ewa Langer, mgr inż. Katarzyna Suchoń wraz z dyrektorem Centrum Farb i Tworzyw w Gliwicach - dr inż. Mariolą Bodzek-Kochel

- czystych pokoiów;
- obudów serwerów;
- regałów;
- komponentów roboto-technicznych;
- hangarów lotniczych;
- obszarów zagrożonych wybuchem.

### **DOCENIONE PRZEZ EKSPERTÓW I PRAKTYKÓW**

Opracowana powłoka ANTISTATIC DIRECT PLUS z sukcesem została wdrożona przez klienta, który zgłosił się do nas z problemem antystatyczności rur.

Opracowane rozwiązanie techniczne, pomysł oraz zespół badawczy docenione zostały również przez zespół ekspertów konkursu „Innowator Śląska”, w którym opatentowana farba zdobyła wyróżnienie w kategorii instytucja sektora badawczo-rozwojowego.

Konkurs Innowator Śląska zorganizowano w 2022 roku już po raz 14 przez Górnośląski Akcelerator Przedsiębiorczości Rynkowej w ramach realizacji projektu „Enterprise Europe Network”, którego celem jest promowanie i nagradzanie najbardziej innowacyjnych podmiotów z województwa śląskiego. Kapituła konkursu wyróżnia firmy i instytucje badawczo – rozwojowe, które podejmują się nowatorskich zmian, wprowadzając najnowocześniejsze technologie, nowe produkty czy usługi i osiągając tym samym sukcesy biznesowe lub naukowe.

### **SZERSZE MOŻLIWOŚCI**

Opatentowana farba jest obecnie dostępna dla każdego przedsiębiorstwa zainteresowanego jej wdrożeniem w swoich procesach produkcyjnych. Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników prócz zaawansowanego zaplecza badawczego posiada również zaplecze produkcyjne, które umożliwi produkcję i sprzedaż na zamówienie opracowanych farb bezpośrednio do zainteresowanych odbiorców.

– Firmy zainteresowane tym innowacyjnym rozwiązaniem są bardzo zadowolone. W krótkim czasie mogą oni bowiem przetestować technologię poprzez kupno gotowego wyrobu, bez konieczności kupna licencji i samodzielnego poszukiwania dostawców i podwykonawców zajmujących się produkcją farb – wspomina Ewa Langer.

Gotowy wyrób jest dostępny na zamówienie w kraju, na miejscu. Znacznie skraca to również czas dostaw i niweluje problemy logistyczne wynikające z korzystania z dostawców zagranicznych.

– Nasze zaplecze badawcze pozwala na dalszy rozwój produktów, udoskonalenie wyrobu poprzez dodatkowe funkcjonalności (np. antykorozyjne, antibakteryjne), co przyczyni się do zwiększe-



**Zdjęcie 4. Hala produkcyjna Sieci Badawczej Łukasiewicz - Instytutu Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników**

nia zakresu zastosowań lub wykorzystania w innych branżach, lub typach wyrobów. Serdecznie zapraszamy wszystkie firmy do współpracy w poszukiwaniu nowych rozwiązań dla Państwa problemów i wyzwań – wskazuje Katarzyna Suchoń.

Artykuł został zamieszczony w czasopiśmie „Polimery dla Biznesu” nr 1/2023.

**mgr inż. Katarzyna Suchoń**

**dr inż. Ewa Langer**

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Centrum Farb i Tworzyw

REKLAMA



## **Dostawca specjalistycznych rozwiązań do przetwórstwa tworzyw sztucznych**

### **Koncentraty barwiące:**

- w granulacie
- w płynie
- na nośnikach

### **biodegradowalnych**

### **Monokoncentraty**

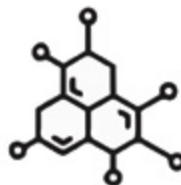
### **Compoundy i proszki do rotomouldingu**



Zapraszamy do kontaktu!

### **Dodatki do przetwórstwa tworzyw:**

- standardowe (m.in. UV, FR, AO, SL)
- specjalistyczne (modyfikatory MFR i udarność, absorbery zapachu i wilgoci, spieniacze, dyfuzory światła, dodatki matujące, antykorozyjne, zapachowe, do znakowania laserowego i inne).



GM Color Sp. z o.o.  
ul. Wojska Polskiego 65A  
85-825 Bydgoszcz  
tel. 52 515 35 35

### **Laboratorium badań materiałowych:**

- spektroskopia FTIR
- DSC
- XRF
- TGA
- badania mechaniczne/wytrzymałościowe
- przyspieszone badania starzeniowe UV
- inne



office@gmcolor.pl  
zamowienia@gmcolor.pl

# Badanie wpływu pasty zwiększającej poślizg farb na współczynnik tarcia, COF, dla folii PET

Małgorzata Zakrzewska, Halina Podsiadło

**T**worzywa sztuczne odgrywają znaczącą rolę w zrównoważonym rozwoju obejmującym ochronę środowiska oraz aspekty: społeczny i ekonomiczny. Trudno sobie wyobrazić współczesne życie bez tworzyw sztucznych.

Branża tworzyw sztucznych jest niezwykle istotną ze względu na wzrost gospodarczy, a to z powodu innowacji wprowadzonych dzięki tworzywom sztucznym w wielu sektorach światowej gospodarki, m.in.: w motoryzacji, przemyśle elektrycznym i elektronicznym, budownictwie, w produkcji opakowań na żywność i napoje oraz w wielu innych gałęziach. Producenci tworzyw sztucznych to prawdziwi mistrzowie pod względem oszczędności zasobów. Tworzywa te stanowią bowiem materiał pozwalający zaoszczędzić więcej surowców kopalnych niż zużywa się do ich produkcji. Innymi słowy: „więcej znaczy mniej”. Przykładowo, zastąpienie tworzyw materiałami alternatywnymi spowoduje wzrost:

- zużycia energii o 46%;
- emisji dwutlenku węgla również o 46%;
- ilości odpadów w całej Unii Europejskiej o 100 mln ton rocznie.

Tym samym można spodziewać się, że popularność tworzyw sztucznych jako wręcz wszechobecnego materiału będzie wzrastać, gdyż dzięki ich unikalnym właściwościom będą one znajdować coraz więcej innowacyjnych zastosowań. Od pewnego czasu w przemyśle opakowaniowym obserwuje się intensywny wzrost techniki fleksograficznej do zadrukowania różnorodnych opakowań, w tym i stosowanych do produktów spożywczych.

Współczynnik tarcia COF (*Coefficient of Friction*) jest bardzo ważnym parametrem w procesie zadrukowania techniką fleksograficzną. Dla podłoży foliowych szczególne znaczenie ma określenie statycznego i dynamicznego współczynnika tarcia. Podjęto badania mające na celu określenie wpływu pasty numer 70GH212148 na współczynnik tarcia dla folii PET [1–11].

Celem badań było sprawdzenie wpływu pasty o numerze referencyjnym 70GH212148 zwiększającej poślizg farb z serii Gecko Frontal Eco na współczynnik tarcia. Należy przy tym zaznaczyć, że wymagana jest niska jego wartość ze względu na szybko pracujące maszyny pakujące.

## UŻYTY SPRZĘT I METODYKA POMIARÓW

Badania współczynnika tarcia wykonywano dla folii/podłoży drukowych bezpośrednio po ich zadrukowaniu i po wysuszeniu w temperaturze 50°C, po upływie 20 minut.

Urządzenia wykorzystane do badań współczynnika tarcia to:

- labratester automatic, do sporządzenia wydruków,
- suszarka medyczo-laboratoryjna SML do suszenia wydruków,
- maszyna wytrzymałościowa Zwick/ Roell, do wykonywania pomiarów współczynnika tarcia, COF.

Badanym podłożem drukowym była folia poliestrowa, PET, dla której współczynnik tarcia ma wartość 0,709. Zadrukowywano ją następującymi farbami fleksograficznymi rozpuszczalnikowymi:

- Process Yellow nr 61GE802606;
- Process Magenta nr 62GE820916;
- Process Cyan nr 63GE820106;
- Process Black nr 69GE805006.

Lepkość wszystkich badanych farb wynosiła: 20±2 sekundy, mierzona w temperaturze 20±2°C. Ilość pasty dodawanej do farby drukarskiej wynosiła: 1%, 2% i 3% oraz maksymalna 5%, zgodnie z instrukcją techniczną (Informacja techniczna 11.4.00 PL, 02.2010).

Dodatkiem, którego wpływ na poślizg farb badano, była pasta o numerze referencyjnym: 70GH212148.

Zwiększa ona poślizg farb kolorowych oraz białych, serii:

- Gecko Frontal Eco, GFE;
- Gecko Frontal Uni, GFU;
- Gecko Frontal Shrink, GFS.

Ponadto poprawia odporność mechaniczną nadrukowanej farby powierzchniowej, przy czym nie można jej używać z farbami wykorzystywanymi do laminacji.

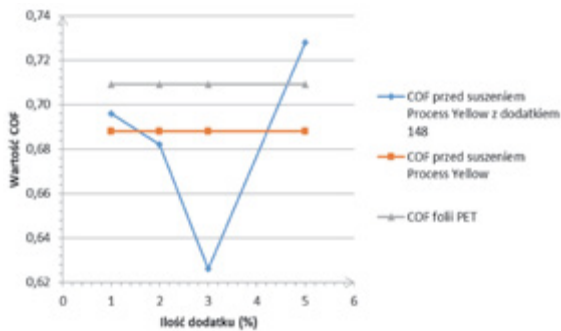
Uzyskane na podstawie przeprowadzonych badań wyniki przedstawiono w tabelach 1–12 i rysunkach 1–12. Dla każdej z używanych do badań farb podano zmiany liczbowe (w tabelach) i graficzne (na rysunkach) współczynnika COF, w zależności od ilości dodawanej pasty przed suszeniem i po nim oraz wspólnie, w celu uwypuklenia na zachodzące zmiany, również i wpływu suszenia. Osobno opracowano więc takie zestawienie liczbowe i graficzne.

Tym samym dla każdej z farb: Process Yellow, Process Magenta, Process Cyan i Process Black otrzymane wyniki badań dotyczące wpływu ilości pasty jako dodatku na współczynnik tarcia COF zamieszczono w 3 tabelach i na 3 rysunkach. Uwaga: rysunki przedstawiają zależność: oś X, oś odciętych przedstawia procentową ilość dodatku, oś Y, oś rzędnych, przedstawia wartość siły tarcia dynamicznego wyrażoną w niutonach.

Wyniki dla farby Process Yellow zestawiono w tabelach 1–3 i przedstawiono na rysunkach 1–3.

Tabela 1. Wpływ dodawanego dodatku na współczynnik tarcia folii przed suszeniem. (Źródło: opracowanie własne)

Ilość dodatku [%]	COF przed suszeniem Process Yellow z dodatkiem 148	COF przed suszeniem Process Yellow bez dodatku	COF folii PET
1	0,696	0,688	0,709
2	0,682		
3	0,626		
5	0,728		



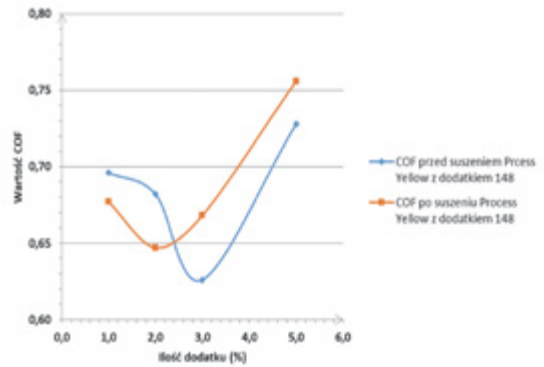
Rys. 1. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii przed suszeniem. (Źródło: opracowanie własne)

Najlepsze wyniki uzyskano przy ilości dodawanej pasty wynoszącej 2% i 3%. Można zauważyć, iż ten współczynnik tarcia wzrasta stopniowo w miarę dodawania większej ilości dodatku.

Tabela 2. Wpływ dodawanego dodatku na współczynnik tarcia folii po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)

Ilość dodatku [%]	COF przed suszeniem Process Yellow z dodatkiem 148	COF przed suszeniem Process Yellow bez dodatku	COF folii PET
1	0,677	0,717	0,709
2	0,647		
3	0,667		
5	0,756		

W tym przypadku obniżanie współczynnika tarcia nastąpiło po dodaniu 1%, 2% i 3% pasty. Wzrost miał miejsce po dodaniu 5% dodatku do farby drukarskiej.



Rys. 3. Porównanie wpływu dodawanej pasty na współczynnik tarcia przed suszeniem i po suszeniu

Współczynnik COF z dodatkiem przed suszeniem uległ obniżeniu, podobnie jak i po suszeniu przy ilości 2% i 3% dodatku, podczas gdy 5% powodował jego gwałtowny wzrost.

Wyniki dla farby Process Magenta zamieszczono w tabelach 4–6 i na rysunkach 4–6.

Tabela 4. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii przed suszeniem. (Źródło: opracowanie własne)

Ilość dodatku [%]	COF przed suszeniem Process Magenta z dodatkiem 148	COF przed suszeniem Process Magenta bez dodatku	COF folii PET
1	0,707	0,742	0,709
2	0,674		
3	0,672		
5	0,667		

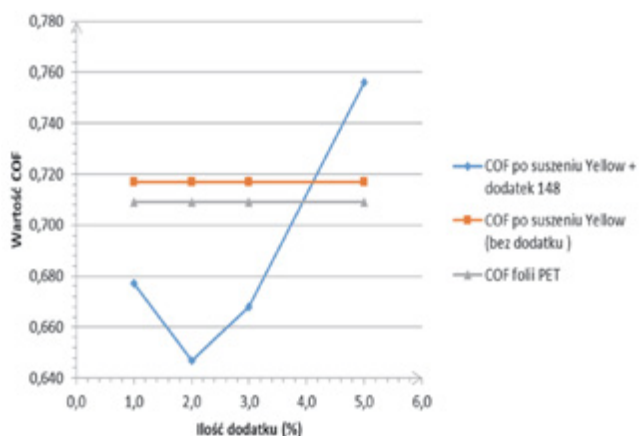
REKLAMA

**TURN ON**

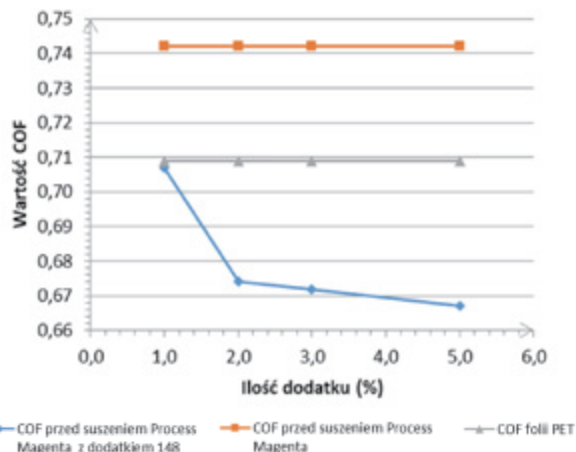
Versatile yet specific - we always offer exactly the right tool for solutions perfectly tailored to you. **GRAFE** - Turning Good into Great.

**FUTURE IN PLASTICS**

turn-on.grafe.com



Rys. 2. Wpływ pasty na współczynnik tarcia dla folii po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)



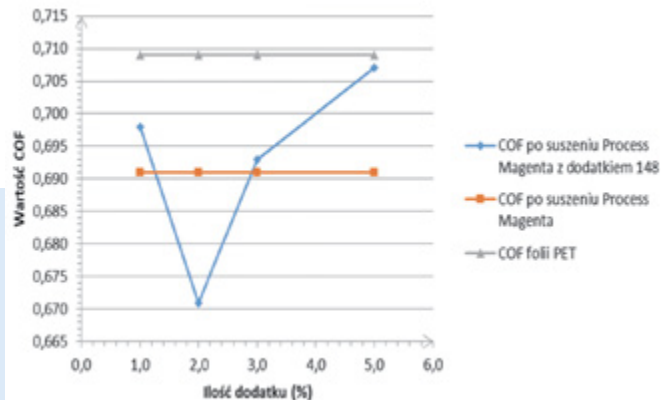
Rys. 4. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii przed suszeniem. (Źródło: opracowanie własne)

Tabela 3. Porównanie wpływu dodawanej pasty na współczynnik tarcia COF farby Process Yellow przed i po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)

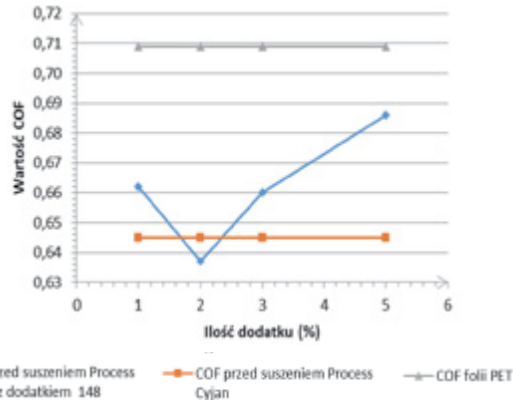
Ilość dodatku [%]	COF przed suszeniem z dodatkiem 148 Process Yellow	COF po suszeniu z dodatkiem 148 Process Yellow
1	0,696	0,677
2	0,682	0,657
3	0,626	0,668
5	0,728	0,756

Tabela 5. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)

Ilość dodatku [%]	COF po suszeniu Process Magenta z dodatkiem 148	COF po suszeniu Process Magenta bez dodatku	COF folii PET
1	0,698	0,691	0,709
2	0,671		
3	0,693		
5	0,707		



Rys. 5. Wpływ pasty na współczynnik tarcia farby Process Magenta dla folii po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)



Rys. 7. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii przed suszeniem. (Źródło: opracowanie własne)

W tym przypadku dla samej farby bez dodatku zaobserwowano obniżenie współczynnika tarcia, a jego wzrost po dodaniu 3% i 5% dodatku.

Tabela 6. Porównanie wpływu dodatku dodawanego do farby Magenta Yellow na współczynnik tarcia folii przed suszeniem i po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)

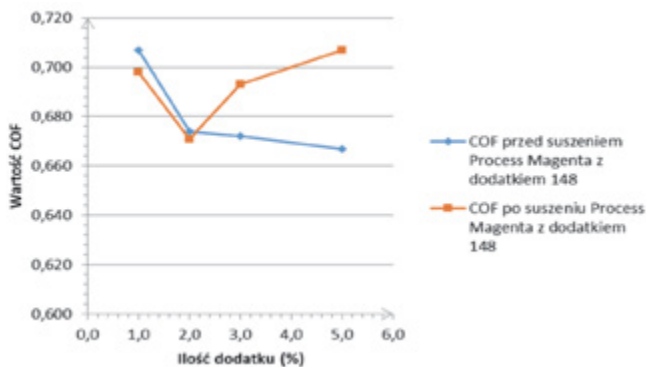
Ilość dodatku [%]	COF przed suszeniem z dodatkiem 148 Process Magenta	COF po suszeniu z dodatkiem 148 Process Magenta
1	0,707	0,698
2	0,674	0,671
3	0,672	0,693
5	0,667	0,707

W tym przypadku sama farba bez dodatku obniża współczynnik tarcia z wartości 0,709 na 0,645.

Tabela 8. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)

Ilość dodatku [%]	COF przed suszeniem Process Cyan z dodatkiem 148	COF przed suszeniem Process Cyan bez dodatku	COF folii PET
1	0,590	0,675	0,709
2	0,605		
3	0,606		
5	0,626		



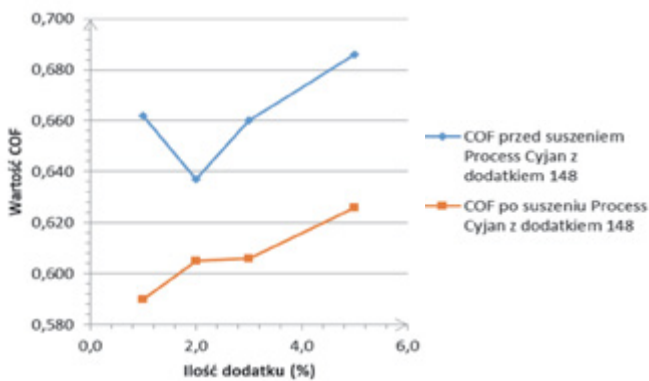


Rys. 6. Porównanie wpływu dodatku na współczynnik tarcia folii przed suszeniem i po suszeniu

Ilość 1% i 2% dodatku obniża COF, zaś ilość 3% i 5% powoduje jego wzrost. Wyniki dla farby Process Cyjan przedstawiono w tabelach 7–9 i na rysunkach 7–9.

Tabela 7. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii przed suszeniem. (Źródło: opracowanie własne)

Ilość dodatku [%]	COF przed suszeniem Process Cyjan z dodatkiem 148	COF przed suszeniem Process Cyjan bez dodatku	COF folii PET
1	0,662	0,645	0,709
2	0,637		
3	0,660		
5	0,686		



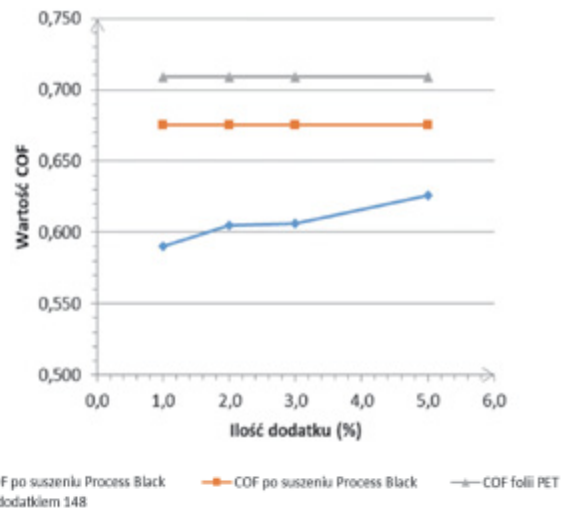
Rys. 9. Porównanie wpływu dodatku na współczynnik tarcia folii przed suszeniem i po suszeniu

Obniżenie COF nastąpiło w obydwu przypadkach przy ilości 1%, przy 2%, 3% i 5% następował natomiast jego wzrost.

Wyniki dla farby Process Black zamieszczono w tabelach 10–12 i na rysunkach 10–12.

Tabela 10. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii przed suszeniem. (Źródło: opracowanie własne)

Ilość dodatku [%]	COF przed suszeniem Process Black z dodatkiem 148	COF przed suszeniem Process Black bez dodatku	COF folii PET
1	0,610	0,700	0,709
2	0,571		
3	0,566		
5	0,554		

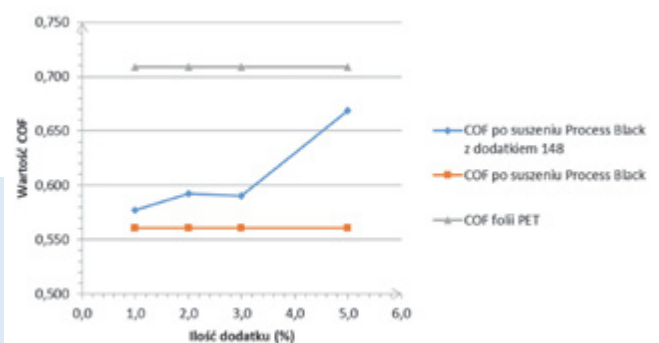


Rys. 8. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)

Dodatek obniża COF przy ilości 1%, zaś po dodawaniu 2%, 3% i 5% następował jego wzrost.

Tabela 9. Porównanie wpływu dodatku dodawanego do farby Process Cyjan na współczynnik tarcia folii przed suszeniem i po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)

Ilość dodatku [%]	COF przed suszeniem z dodatkiem 148 Process Cyjan	COF po suszeniu z dodatkiem 148 Process Cyjan
1	0,662	0,590
2	0,637	0,605
3	0,660	0,606
5	0,686	0,626

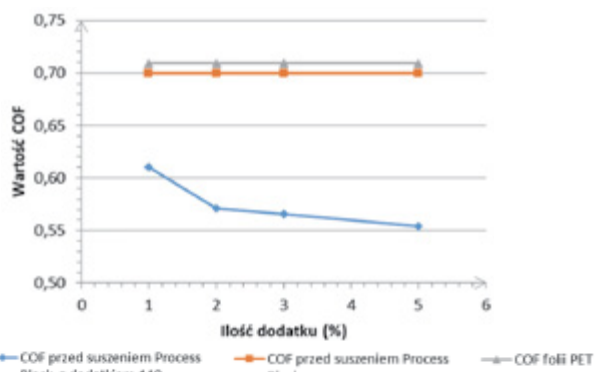


Rys. 11. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)

Dodatek obniża współczynnik tarcia wraz z ilością dodawania do farby.

Tabela 12. Porównanie wpływu dodatku dodawanego do farby Process Black na współczynnik tarcia folii przed suszeniem i po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)

Ilość dodatku [%]	COF przed suszeniem z dodatkiem 148 Process Black	COF po suszeniu z dodatkiem 148 Process Black
1	0,610	0,577
2	0,571	0,592
3	0,566	0,590
5	0,554	0,669



Rys. 10. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii przed suszeniem. (Źródło: opracowanie własne)

W tym przypadku sama farba bez dodatku obniża współczynnik tarcia.

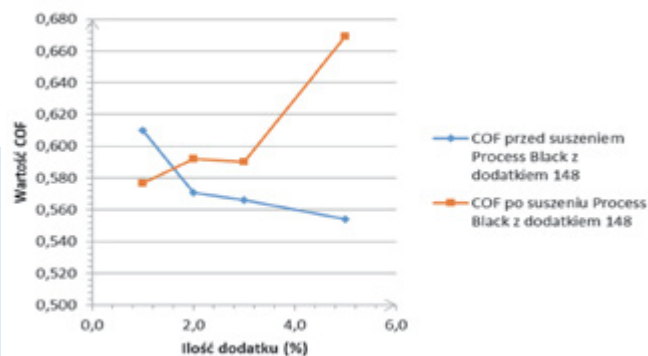
Tabela 11. Wpływ dodatku na współczynnik tarcia folii po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)

Ilość dodatku [%]	COF przed suszeniem Process Black z dodatkiem 148	COF przed suszeniem Process Black bez dodatku	COF folii PET
1	0,577	0,561	0,709
2	0,592		
3	0,590		
5	0,669		

Współczynnik tarcia z dodatkiem po suszeniu zwiększa się w miarę dodawania dodatku do farby.

#### PODSUMOWANIE

Dodatek pasty o numerze referencyjnym 70GH212148 wpływa na współczynnik tarcia folii PET. Na podstawie przeprowadzonych



Rys. 12. Porównanie wpływu dodatku na współczynnik tarcia folii przed suszeniem i po suszeniu. (Źródło: opracowanie własne)

badan można zauważyć, że przy ilości pasty 2% i 3% wpływa ona na współczynnik tarcia, raz obniżając go, raz podwyższając. Maksymalna ilość dodatku wynosząca 5% w większości przypadków podwyższa współczynnik tarcia dla farb z serii Gecko Frontal Eco na foliach z PET. Ponadto, na podstawie uzyskanych wyników, można stwierdzić, iż sama farba w zależności od receptury i zastosowanego koncentratu może zmienić współczynnik tarcia zadrukowanej folii.

#### LITERATURA u autora.

Artykuł został zamieszczony w czasopiśmie „Acta Poligraphica”, 2017, Vol. 10.

dr inż. Małgorzata Zakrzewska

Hubergroup Polska

prof. dr hab. inż. Halina Podsiadło

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji  
Zakład Technologii Poligraficznych

INFORMACJA PRASOWA

## Kolejna kadencja wiceprezesa rady PIPT

Podczas walnego zgromadzenia Izby, które odbyło się online 29 maja, dr Andrzej Mochoń został wybrany na kolejną kadencję wiceprezesa rady PIPT.

Polska Izba Przemysłu Targowego działa od 2006 roku jako izba gospodarcza przedsiębiorców branży targowej i branż związanych z organizacją targów, wystaw i eventów. Andrzej Mochoń w latach 2010–2011 był prezesem rady PIPT, później objął funkcję wiceprezesa, którą piastuje nadal.

- Branża targowa to żywy organizm, zmienia się, przekształca, dotykają ją kryzysy, obecnie to skutki wojny w Ukrainie i inflacji – mówi prezes Andrzej Mochoń. Jednocześnie to bardzo pozytywna branża budująca biznesowe relacje oparte na zaufaniu. Targi Kielce to nie tylko znane i cenione wystawy. Nieustannie pracujemy nad tworzeniem nowych wydarzeń, tylko od zeszłego roku przybyło nam kilka bardzo udanych spotkań targowych jak choćby dedykowane służbom mundurowym Targi Polsecure, Kongres i Targi Dekarzy, Błacharzy, Cieśli DACH FORUM czy kontrakcje branży kosmetycznej i farmaceutycznej Slavic B2Beauty. Na swój debiut jesienią czekają Targi Branży Opakowaniowej IN-PACK oraz Międzynarodowy Kongres dla branży logistycznej LogInPack, do naszego kalendarza wracają w nowym wydaniu Targi Marek Własnych. Jest jeszcze dużo do zrobienia, nie tylko w skali naszego ośrodka, ale także w ramach rady PIPT. Cieszę się, że mam na to kolejne 4 lata – dodaje prezes Mochoń.

dr Andrzej Mochoń  
wybrany na kolejną  
kadencję wiceprezesa  
rady PIPT



Zgodnie z misją, Polska Izba Przemysłu Targowego promuje targi jako jeden z najważniejszych instrumentów komunikacji bezpośredniej i marketingu dla firm z różnych sektorów gospodarki oraz zachęca przedsiębiorców do udziału w targach w charakterze wystawców i zwiedzających.

Targi Kielce to jeden z liderów branży targowej w Polsce. Wśród organizatorów wystaw z Europy Środkowo - Wschodniej, kielecki ośrodek znajduje się na drugiej pozycji pod względem liczby wystawców i wynajętej powierzchni. Dzięki działalności Targów zarówno w mieście, jak i regionie świętokrzyskim rozwija się bogata infrastruktura usług okołotargowych i turystyki biznesowej. Spółka dba także o promocję miasta na arenie międzynarodowej.

Źródło: Targi Kielce S.A.

# Jak poradzić sobie z wyzwaniami na produkcji przetwórstwa tworzyw?

Tomasz Babiarz

**S**pecyfika sektora przetwórstwa tworzyw sztucznych wiąże się z szeregiem komplikacji, które sprawiają, że efektywne zarządzanie produkcją staje się nie lada wyzwaniem. W ramach całej branży, produkcja metodą wtrysku wymaga bardzo szczególnego podejścia do organizacji procesów produkcyjnych. Firmy działające w tym sektorze dostarczają swoje wyroby do bardzo restrykcyjnych odbiorców narzucających szereg wymogów związanych z terminami realizacji, oczekiwaniami cenowymi oraz odpowiednią dokumentacją. Aby działać sprawnie, należy odpowiednio gospodarować surowcem, odpadami oraz precyzyjnie planować produkcję. Dodatkowym wyzwaniem, szczególnie w obszarach mniej zautomatyzowanych, jest ograniczona dostępność pracowników.

Jak narzędzia IT pomagają w zarządzaniu produkcją w branży przetwórstwa tworzyw sztucznych?

## **KOSZTOWNE KONSEKWENCJE NIETERMINOWYCH DOSTAW**

Producenci w branży przetwórstwa tworzyw sztucznych, produkujących metodą wtrysku detale dla innych firm, muszą spełnić bardzo restrykcyjne wymogi swoich odbiorców. W szczególności dotyczą one terminowości realizacji dostaw. Wszelkie opóźnienia w realizacji mogą skutkować surowymi karami umownymi oraz wstrzymaniem współpracy z partnerem. Wobec tego, jakiegokolwiek nieplanowane zmiany w zakresie dostępności surowca, zasobów maszynowych czy personelu produkcyjnego mogą wpłynąć nawet na to, czy firma dalej będzie funkcjonować. Jak przygotować organizację produkcji na nieprzewidywalne sytuacje, zwiększając w ten sposób bezpieczeństwo działania przedsiębiorstwa?

## **Rozwiązanie – zaawansowane planowanie i harmonogramowanie produkcji**

Wysoki wskaźnik OTIF (*On Time In Full*) uzyskuje się właściwie planując i harmonogramując produkcję. Przy wykorzystaniu systemu do planowania i harmonogramowania produkcji klasy APS (*Advanced Planning and Scheduling*), uwzględniając w planie produkcyjnym wszystkie niezbędne i dostępne zasoby (maszyny, formy, surowiec, operatorów), przebrojenia i przestoje oraz inne ograniczenia procesowe, można precyzyjnie określić termin realizacji zlecenia. Co więcej, bazując na danych historycznych zarejestrowanych w systemie MES (*Manufacturing Execution System*) na temat tego, ile trwa uruchomienie produkcji na danej formie po przebrojeniu przez konkretnego pracownika, możemy również w planie produkcyjnym uwzględnić czas potrzebny na wyprodukowanie pierwszego poprawnego detalu. System klasy APS umożliwia także wydłużenie horyzontu planowania. Dzięki temu możliwe jest agregowanie zleceń i wydłużenie partii produkowanych na jednej formie, co jest niezwykle korzystne ze względu na czasochłonność i kosztowne przebrojenia. Harmonogramowanie operacji może być realizowane według określonych parametrów, np. typu granulatu, dodawanych barwników, czy użytej formy. System APS uwzględnia macierze zależności związane z zastosowaniem kon-



kretniej formy na konkretnej wtryskarce. Dobry system klasy APS daje również możliwość tworzenia różnych scenariuszy planów produkcyjnych w zależności od przyjętych kryteriów. Precyzyjne odwzorowanie specyfiki firmy wtryskowej związanej z formami wielogniazdowymi to jeden z elementów, który wyróżnia zaawansowane systemy klasy APS. Ułatwia pracę planisty, gdy pojawiają się formy wielogniazdowe, w których równocześnie wytwarzać można różne detale w ramach jednego cyklu.

## **CERTYFIKATY I ATESTY WYROBÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH**

Drugim, często spotykanym wymogiem w branży przetwórstwa tworzyw sztucznych jest konieczność zapewnienia stałej wysokiej jakości produkowanych detali. Czasem niezbędna jest tu weryfikacja poprawności wykonania każdego pojedynczego elementu. Niektórzy z odbiorców, szczególnie w branży automotive, poza kontrolą jakości każdej sztuki oczekują od swoich dostawców zapewnienia traceability co do sztuki. Oznacza to, że producent musi wykazać, z jakiej partii granulatu wykonany jest konkretny detal, co wiąże się z koniecznością ewidencjonowania i kontrolowania granulatu – problem złożony w przypadku zastosowania zasypu centralnego, który zasila wiele maszyn. W zasypie centralnym trudno też określić, kiedy skończy się dana partia surowca. Jak poradzić sobie z tymi problemami?

## **Rozwiązanie – monitorowanie i ewidencja produkcji z traceability**

Dobry system klasy MES wspiera procesy kontroli jakości dzięki ewidencjonowaniu wszystkich działań na produkcji oraz para- ▶

metrów przebiegu procesu produkcyjnego. Jest to o tyle istotne, że w przypadku technologii wtrysku nawet niewielka zmiana parametrów procesu (np. temperatura czy ciśnienie) może znacząco wpłynąć na jakość wyrobów gotowych. Dzięki systemowi MES z funkcją traceability dokładnie wiadomo, który detal został wykonany, kiedy i na jakiej maszynie oraz przez którego operatora. Dodatkowo funkcjonalność traceability pozwala na określenie, z jakiej partii granulatu wykonany jest dany detal. W systemie klasy MES ewidencjonowane jest zużycie danej partii granulatu, co pozwala także spełnić restrykcyjne wymogi dla odbiorców z branży samochodowej, przemysłu spożywczego, farmaceutycznego czy wyrobów medycznych. Analizując dane historyczne z systemu MES, które wskazują na jakiej założonej formie, na jakiej wtryskarce, kto i co wyprodukował, można określić czy ilość braków jest w normie. Odchylenie może oznaczać konieczność regeneracji formy. Analiza ilości braków pozwala także skontrolować działania pracownika określającego detale prawidłowe i wadliwe, wskazując czy jego oceny są zbyt restrykcyjne czy zbyt mało rygorystyczne. Dodatkowo czynności kontroli jakości realizowane przez operatora są wspierane poprzez udostępnienie mu dokumentacji wyrobu na terminalu produkcyjnym. Pracownik może zobaczyć zdjęcie lub rysunek wzorcowego detalu z kilku perspektyw, może też przejrzeć jego potencjalne wady jakościowe. Pozwala to zminimalizować ryzyko akceptacji wadliwego lub odrzucenia dobrego detalu w manualnym procesie kontroli jakości.

### **DOSTĘPNOŚĆ PARKU MASZYNOWEGO I OGRANICZONA ŻYWOTNOŚĆ FORM WTRYSKOWYCH**

Kolejnym charakterystycznym problemem w przypadku przetwórstwa tworzyw sztucznych metodą wtrysku jest odpowiednie zarządzanie parkiem maszynowym oraz formami. Formy wtryskowe, będące niejednokrotnie bardzo kosztownym oprzyrządowaniem, czasem powierzonym przez zleceniodawcę, wymagają kontroli żywotności oraz odpowiedniego planowania działań konserwacyjnych i regeneracyjnych. Jak plany te powiązać z organizacją produkcji?

#### **Rozwiązanie – synchronizacja planów produkcyjnych z działaniami służb UR i zarządzanie narzędziownią**

Terminowość dostaw wymaga właściwego zarządzania utrzymaniem ruchu. Pojawia się także potrzeba synchronizacji planów produkcyjnych z planami remontowymi i planowanymi przeglądami maszyn. W tym pomaga system klasy CMMS (*Computerized Maintenance Management Systems*), który integruje się z systemem APS, dzięki czemu planista w systemie APS podczas tworzenia planu będzie uwzględnił dostępność poszczególnych zasobów, w wyniku czego otrzyma wiarygodne terminy realizacji zleceń. Jeśli któreś zlecenie nie będzie mogło być zrealizowane w terminie, istnieje możliwość korekty planu remontowego. Poza wspieraniem działań prewencyjnych, które zwiększają dostępność zasobów, system CMMS pomaga także szybko i sprawnie wyeliminować nieplanowane przestoje. Dzięki połączeniu systemu CMMS z panelem operatorskim systemu klasy MES, pracownik szybko może zgłosić awarię, której sam nie jest w stanie usunąć, a taka informacja natychmiast trafia do szefa UR, który generuje zlecenie serwisowe, wysyłane automatycznie na telefon komórkowy technika służb UR. Technik na miejscu awarii może określić planowany termin przywrócenia maszyny do działania, co znów ujmowane jest w planach produkcyjnych. Zarejestrowane w systemie MES dane o ilości braków i przestojach maszyny wskazują, kiedy konieczna będzie wymiana lub regeneracja formy. Dane dotyczące ilości dostępnych form, ich gniazdowości (w przypadku form wielogniazdowych), planowanej

żywotności czy regeneracji mogą być odzwierciedlone w planie produkcyjnym tworzoną w systemie APS. Wykorzystanie dodatkowo systemu klasy TCS (*Tool Control System*) do zarządzania narzędziownią pozwala na automatyzację zbierania informacji o zużyciu form przy jednoczesnej ich pełnej identyfikowalności.

### **PRECYZYJNE ROZLICZANIE KOSZTÓW I WŁAŚCIWE ZARZĄDZANIE MAGAZYNAMI**

Specyfika branży przetwórstwa tworzyw sztucznych w technologii wtryskowej związana jest z trudnością w określeniu ilości zużytego tworzywa na dany detal. Surowiec jest trudno policzalny ze względu na różne parametry fizykochemiczne, trudno określić normy zużycia oraz rzeczywiste zużycie konkretnej partii granulatu na daną partię produkcyjną. Dodatkowo pojawia się problem z niedokładnymi wypraskami, nadmiary w wypraskach, puste cykle pracy maszyny oraz wadliwe detale po przebrojeniu i ustawieniu maszyn. W konsekwencji wyzwaniem jest precyzyjne określenie aktualnych stanów magazynowych, co z kolei wpływa na utrzymywanie zbyt wysokich lub niskich zapasów i albo generuje problemy z terminową realizacją zleceń, albo zbyt duże koszty logistyczne. Realizowane inwentaryzacje (czasem tylko raz w roku) post factum wskazują na braki zgodności danych w systemie ERP (*Enterprise Resources Planning*) ze stanem faktycznym. Wyzwania te nakładają się na bardzo niską marżowość niektórych wyrobów, co w połączeniu z rosnącymi kosztami surowców, energii i pracowników sprawia, że niektórzy producenci działają na granicy opłacalności. Jak precyzyjnie rozliczać koszty produkcji, by zapewnić rentowność działalności operacyjnej?

#### **Rozwiązanie – automatyzacja zbierania danych i analityka zarządcza**

Aby precyzyjnie rozliczać koszty i stany magazynowe konieczna jest szczegółowa i precyzyjna ewidencja produkcji. W systemie MES rejestrowane są wszystkie parametry procesu produkcyjnego oraz wykonywane operacje. Na terminalu produkcyjnym operator musi wskazać ilość wyprodukowanych prawidłowych i wadliwych elementów. Ilość elementów wyprodukowanych ewidencjonowana jest w systemie MES i automatycznie trafia do systemu ERP lub WMS (*Warehouse Management System*). Ewidencja wyrobów wadliwych wpływa na dalszy proces zarządzania brakami i odpadami (o czym poniżej). Rejestrowane są zużycia ponadnormatywne, które są sygnałem do zweryfikowania prawidłowości prowadzenia procesu, stanu technicznego maszyn i form oraz kompetencji pracownika. Większą precyzję zbierania danych z maszyn zapewnia system MES z funkcjonalnością IoT (*Internet of Things*). W ten sposób ogranicza się ryzyko popełnienia błędu przy wprowadzaniu danych przez operatora. Na podstawie liczby, wagi lub ilości wykonanych detali oraz wagi lub ilości braków, możliwe jest wyliczenie zużycia surowca oraz precyzyjne rozliczenie kosztów danego zlecenia produkcyjnego. Z kolei projekcję kosztów umożliwia system zarządzania technologiami TCW (*Technology Creator Wizard*), w którym możliwe jest wyliczenie TKW (technicznego kosztu wytworzenia).

### **MOŻLIWOŚĆ ODZYSKU ODPADÓW PRODUKCYJNYCH**

Każde przebrojenie maszyny wiąże się z dużym prawdopodobieństwem powstania detali niekompletnych lub wadliwych podczas ponownego ustawiania maszyny, natomiast sama specyfika technologii wtrysku powoduje, że w zależności od formy i kształtu detalu mogą powstawać nadmiary w wypraskach. Charakterystyczną cechą przetwórstwa tworzyw sztucznych jest możliwość ponownego wykorzystania części odpadów produkcyj-

nych, ale wymaga to właściwego nadzoru i nadawania nowego numeru partii produkcyjnej. Jak tego dokonać?

#### **Rozwiązanie – szczegółowa ewidencja wyrobów zbrakowanych**

Możliwość zmyłkowania powstałych wyrobów wadliwych pozwala z jednej strony ograniczać koszty produkcji (ponowne wykorzystanie surowca), a z drugiej – koszty związane z utylizacją odpadów, wpisując się w trendy związane z gospodarką obiegu zamkniętego. System klasy MES pozwala na szczegółową ewidencję wyrobów zbrakowanych w podziale na te, które trafiają do młynkowania i te, które trafiają do złomu. Surowiec, który ponownie trafia po regranulacji do produkcji, pojawia się na stacjach magazynowych i jest zaewidencjonowany w kolejnych zleceniach produkcyjnych w celu zapewnienia pełnego traceability produkcji. Zarządzanie brakami i odpadami oraz ponownie wykorzystywanym surowcem gwarantuje, że z jednej strony spełnione są wszelkie wymogi związane z jakością wyrobów gotowych, a z drugiej, że na rynek nie trafiają produkty bez zarejestrowanej genealogii.

#### **OGRANICZONA DOSTĘPNOŚĆ PRACOWNIKÓW**

Rosnące koszty pracownicze i ograniczona dostępność pracowników powodują, że niezwykle istotnym staje się właściwe planowanie obsady, uwzględniające nie tylko potrzebną ilość pracowników, ale także ich uprawnienia i kwalifikacje. Rotacje, nieplanowane absencje oraz równocześnie stale rosnące koszty pracownicze utrudniają zarządzanie produkcją, szczególnie w obszarach mało zautomatyzowanych (np. prace montażowe).

#### **Rozwiązanie – właściwe planowanie grafików pracy**

System do planowania czasu pracy HRM (*Human Resource Management*) uwzględni rzeczywiste zapotrzebowanie na

pracowników oraz równocześnie zapewnia zgodność grafików z kodeksem pracy. Przełożony nie musi już zastanawiać się, czy zaplanowany grafik spełnia obowiązujące przepisy. Nie musi się także martwić, czy zaplanowane zadania zostaną zrealizowane. Przy planowaniu grafiku pracy system klasy HRM bierze pod uwagę dostępność pracowników o odpowiednich kompetencjach oraz ich prośby grafikowe. W przypadku nieplanowanych absencji, szybko można zareagować, zmieniając harmonogram produkcji w zależności od dostępnych pracowników o określonych umiejętnościach lub uprawnieniach. Dodatkowo wprowadzenie samoobsługi pracowniczej w ramach platformy XPRIMER pozwala usprawnić komunikację wewnętrzną oraz odciążać kierowników od uciążliwych czynności związanych z wnioskami urlopowymi pracowników, planowaniem i zarządzaniem nieobecnościami. Równocześnie zwiększa się efektywność pracy działów administracyjnych, gdyż wprowadzony zostaje elektroniczny obieg dokumentów, procesy przebiegają szybciej, są bardziej transparentne i ograniczone zostaje ryzyko popełnienia błędu. Istnieje ścisły związek między zapotrzebowaniem na zasoby ludzkie wynikającym z zadań w systemie APS a grafikami pracy pracowników. Digitalizacja obu procesów ułatwia ich wzajemną komunikację i osiągnięcie równowagi między zadaniami do realizacji a dostępnością pracowników.

#### **Tomasz Babiarz**

ekspert w zakresie usprawniania procesów sterowania produkcją w eq system

**Tekst ukazał się na portalu tworzywa.pl**

REKLAMA



Agencja Anticorr Gdańsk Sp. z o.o.  
ul. Tarcice 11, 80-718 Gdańsk  
biuro@anticorr.pl tel: 58 343 25 53

## Urządzenia kontrolno-pomiarowe

Kompleksowa oferta

Profesjonalne doradztwo

Wsparcie techniczne



[www.anticorr.pl](http://www.anticorr.pl)

**Techniki badawcze i pomiarowe**

# Jak promieniowanie UV wpływa na materiały?

**WPLYW PROMIENIOWANIA UV NA MATERIAŁY**

Promieniowanie ultrafioletowe (UV) może mieć znaczący wpływ na różne materiały. Wpływ ten zależy od rodzaju materiału, jego składu chemicznego, struktury i zastosowania. Głównymi właściwościami, które ulegają zmianie w wyniku oddziaływania promieniowania UV są m.in. zmiana koloru, wyglądu powierzchni, pogorszenie wytrzymałości materiału oraz zmniejszenie stabilności termicznej.

Podczas intensywnej ekspozycji materiału na promieniowanie UV następuje degradacja pigmentów używanych do barwienia tworzyw sztucznych. Materiały słabej jakości, które nie są w żaden sposób zabezpieczane przed promieniowaniem, mogą tracić intensywność kolorów, a przez utratę „żywej” barwy – produkt matowieje. Dodatkowo światło słoneczne powoduje wydłużanie się łańcuchów polimerowych na powierzchni tworzyw sztucznych, co prowadzi do powstawania mikropęknięć, co wpływa zarówno na wygląd materiału, jak i jego właściwości fizyczne. Taka degradacja powierzchniowa materiału znacząco wpływa na wytrzymałość, elastyczność oraz stabilność termiczną tworzywa. Należy pamiętać zatem, że odpowiednio zaprojektowane i zabezpieczone tworzywa sztuczne będą miały dłuższą żywotność i zachowają swoje właściwości, nawet w przypadku silnej ekspozycji na zewnętrzne warunki atmosferyczne.

**STARZENIE SIĘ MATERIAŁÓW – APARATURA BADAWCZA**

Istnieje możliwość sprawdzenia odporności materiału na wieloletnią ekspozycję na promieniowanie UV. W tym celu wykonuje się badania starzeniowe, które pozwalają w sposób znormalizowany, ale jednak wciąż teoretyczny, w krótkim czasie zasymulować, jak materiał może się zachowywać po dłuższym okresie eksploatacji, np. po 10 latach wpływu warunków zewnętrznych na powłokę malarską czy tworzywo sztuczne. Do badań wykorzystywane są komory starzeniowe lub klimatyczne. Umożliwiają one symulowanie ekstremalnych warunków atmosferycznych takich jak wysoka/niska temperatura, wilgotność, promieniowanie UV. Komory te są szeroko stosowane przy badaniach trwałości, testach jakości, np. przy kontroli jakości w branży motoryzacyjnej, elektronicznej i przemysłowej. Metodyka badawcza opisana jest dość szeroko w normach PN-EN ISO 16474-1, PN-EN ISO 16474-2, PN-EN ISO 16474-3.

**JAK OCENIĆ WPLYW PROMIENIOWANIA UV?**

Ocena próbek po badaniu w komorze starzeniowej jest kluczowym etapem, który pozwala zrozumieć, jak materiały lub produkty zachowały się pod wpływem symulowanych warunków atmosferycznych. Proces oceny różni się w zależności od typu materiału lub produktu, którego dotyczy badanie, oraz celów badawczych.

**Wizualna inspekcja:** Pierwszym krokiem jest dokładna wizualna inspekcja próbek. Analizuje się wszelkie zmiany w wyglą-



*Agencja Anticorr Gdańsk w swojej ofercie posiada szeroki asortyment komór starzeniowych i klimatycznych, pozwalający dobrać rozmiar komory roboczej oraz funkcjonalność urządzenia w zależności od potrzeb klienta.*



**Komora starzeniowa Xentest 2200**

dzie: kolor, połysk itp. w porównaniu z próbkami, które nie były narażone na testy.

Pomiar połysku jest techniką używaną do określenia zdolności powierzchni materiału do odbijania światła. Jest to ważny parametr, który odzwierciedla jakość powierzchni, estetykę i wizualne wrażenia związane z danym materiałem. Połysk jest mierzony na podstawie ilości światła odbitego pod określonym kątem w stosunku do ilości światła padającego na powierzchnię. Do sprawdzenia połysku powierzchni materiału używa się urządzenia zwanego połyskomierzem. Miernik ten możemy zakupić w wersji jednokątowej 60° oraz trójkątowej 20, 60, 85° w zależności od potrzeb i wymagań badawczych.



Połyskomierz  
TestAN DT-268



Kolorymetr  
porównawczy DT-145

*Interpretacja wyników to często nie lada wyzwanie.*

*Warto w takim przypadku zwrócić się o pomoc do wykwalifikowanego laboratorium badawczego.*

*Laboratorium Anticorr Gdańsk nie tylko wykona analizę wyników, ale również zrealizuje wszystkie niezbędne badania i pomiary od A do Z przy pomocy profesjonalnego sprzętu. Zachęcamy do zapoznania się z naszą ofertą badawczą oraz sprzętu kontrolno-pomiarowego.*

Spektrofotometr  
DT-302



Pomiar koloru natomiast jest techniką używaną do określenia różnicy koloru między dwoma lub większą ilością próbek oraz do porównania koloru próbki względem standardu kolorystycznego. Do pomiaru koloru używa się urządzeń zwanych spektrofotometrami lub kolorymetrami. Wyniki pomiaru koloru mogą być wyrażane w różnych przestrzeniach barw, takich jak RGB (Red, Green, Blue), CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Key/Black) w zależności od konkretnego zastosowania.

**Porównanie z próbkami kontrolnymi:** Porównanie wyników z próbkami kontrolnymi, które nie były poddawane starzeniu, jest kluczowe do zrozumienia, jak zmiana warunków atmosferycznych wpłynęła na badane materiały lub produkty. Ocenę warto przeprowadzić w jednolitych warunkach oświetlenia, wykorzystując np. kabinę świetlną. Kabinę te umożliwiają obserwację próbek pod wybranym źródłem światła, tj. D65, Tl84, F/A, UV, CWF, U30.

**Pomiar właściwości fizycznych:** W zależności od badanego materiału lub produktu, mogą być wykonywane różne pomiary właściwości fizycznych, takich jak twardość, wytrzymałość na rozciąganie, elastyczność, odporność na ścieranie itp.

**Interpretacja wyników:** Ostatecznym etapem jest interpretacja wyników i sporządzenie raportu zawierającego wnioski z badania w komorze starzeniowej. To pozwoli na zrozumienie, czy materiały spełniają oczekiwania jakościowe i trwałościowe oraz czy wymagają ewentualnych dostosowań lub poprawek.



Kabina świetlna  
ColorCab 6+

Agencja Anticorr Gdańsk

# Czym kieruję się, wybierając urządzenie do pomiarów barwy



Kiedy sprawdzamy detal, czy odbiega od wzorca, to przykładamy te elementy obok siebie i patrzymy, czy kolory są takie same. A jeśli jest różnica, to jak duża? Jak ją opisać? O ile się różni kolor? No właśnie, jak to przełożyć na produkcję, jeśli chcemy produkować w przyszłości zgodne kolory i zapewnić sobie magazyn produktów bez martwienia się, z której to partii jest, by przypadkiem nie pomieszać, bo klient otrzyma kilka sztuk z widoczną różnicą koloru. Takie wątpliwości zawsze będą się pojawiać, dopóki kolor będziemy oznaczać wyłącznie słownym opisem na podstawie oceny oczami. Nasz wzrok zauważa różnice dosyć dokładnie, ale do opisu wielkości tych różnic potrzebujemy już urządzenia pomiarowego. Dlaczego? Bo to właśnie pomiar wskaże nam liczbowo, o ile „rozbiega” się kolor. Jeśli do tych sytuacji dodamy kwestię zastępowania osób z powodu urlopu i innych sytuacji, to czy firma będzie cała zamknięta, bo właśnie kolorysta jest na wakacjach?

Jeśli już czujemy się przekonani o wartości urządzenia pomiarowego, to pojawia się pytanie – jakie urządzenie wybrać? W tym celu warto odpowiedzieć na kilka pytań, które jednoznacznie podpowiedzą nam, jakie urządzenie będzie najlepsze.

**A**le za nim odpowiemy na pytania, które jednoznacznie wskażą nam to właściwe urządzenie dla nas, warto dowiedzieć się, jak to się dzieje, że urządzenie mierzy kolor? Pokrótkę jest to ten sam proces, jak my widzimy kolor. Czyli światło z urządzenia oświetla mierzoną próbkę i czyta, jakie długości fali zostały odbite w zakresie widzialnym. Ten tryb nazywa się pomiarem w odbiciu, natomiast dla próbek, które są przezroczyste mierzy się, ile światła zostało przepuszczone przez tę właśnie próbkę i nazywa się to pomiarem w przeźroczu lub transmisji.

Przejdźmy teraz do pytań, które pomogą nam jasno sprecyzować urządzenie, które spełni nasze potrzeby. Pierwsze z nich – niemal najważniejsze – czy urządzenie będzie przeznaczone na wewnętrzne potrzeby firmy w celu osiągnięcia i kontrolowania pewnych standardów produkcji, czy może potrzebujemy urządzenia ze względu na projekt dla naszego klienta. Kwestia ta dotyczy istotnej cechy urządzenia, jaką jest geometria. To ona jest najważniejsza na początku wyboru urządzenia, jeśli potrzebujemy porównywać wyniki. Dlaczego? Bo jeśli porównujemy wyniki pomiarów, to należy to wykonywać na danych zmierzonych z tej samej geometrii. W tej chwili należy się wszystkim czytelnikom krótkie wyjaśnienie, co to jest ta geometria? Otóż jest to rodzaj

oświetlenia i ustawienie detektorów urządzenia względem próbki. Jest to przypisane do konkretnego urządzenia i nie podlega modyfikacjom. Czyli nie ma możliwości zamiany samej tylko geometrii i nie ma specjalnych kalkulatorów przeliczających wyniki koloru z jednej geometrii w inną. W znakomitej większości występują dwie wiodące geometrie pomiarowe: d/8 i 45/0. Pierwsza z nich oznacza oświetlenie rozproszone wewnątrz białej kuli, a detektory pomiarowe są ustawione pod kątem ośmiu stopni względem prostej prostopadłej do próbki. Własność tej geometrii pozwala na pomiar w trybach SCI i SCE. Co to oznacza? Otóż jest to cecha wyłącznie geometrii d/8 i nie występuje w geometrii 45/0. Oznacza to, że można wykonać pomiar z uwzględnieniem połysku próbki (SCI) lub właśnie wyłączyć ten połysk (SCE). Czyli urządzeniem w geometrii d/8 można zmierzyć w jednym czasie w dwóch trybach lub jednym z nich. Drugi typ geometrii to konstrukcja z oświetleniem skierowanym pod kątem 45 stopni do powierzchni próbki, w której detektory są ustawione prostopadle do próbki.

Natomiast jeśli urządzenie wybieramy dla siebie, a nie ze względu na projekt, to decyzyjność pójdzie w innym kierunku. To znaczy, że nie wybieramy urządzenia z powodu geometrii pomiarowej, jaka jest u naszego klienta, tylko ze względu na własne potrzeby. Takie podejście skłania nas do bliższego przyjrzenia



Przenośny spektrofotometr CM-25cG z geometrią 45°c:0° i autentycznym czujnikiem połysku 60°





Spektrofotometr  
i połyskomierz  
CM-36dGV  
do pomiaru barwy  
w odbiciu  
i w transmisji

się wszystkim detalom, próbkom i surowcom, jakie zamierzamy mierzyć w bliskim i dalszym horyzoncie czasowym. Czyli przechodzimy do kwestii rodzaju mierzonych próbek. W tym miejscu istotne jest, jaki kształt i pole powierzchni płaskiej mają części detali. Dlaczego to jest tak ważne? Z tego powodu, że dla wykonania poprawnych pomiarów potrzebne jest całkowite przykrycie pola pomiarowego urządzenia. W znakomitej większości jest to osiągalne, bo spektrofotometry mają pola pomiarowe o małych rozmiarach, np.: otwór pomiarowy jest o średnicy 6 mm, a urządzenie zmierzy kolor z pola o średnicy 3 mm. Jak widać, obecnie urządzenia są gotowe, by sprostać wymaganiom stawianym w produkcji coraz śmielszych kształtów.

Jeśli natomiast w naszej pracy potrzebujemy kontrolować surowce w postaci proszków, płynów, żeli czy past, to warto zastosować większe pole pomiarowe, a mierzony surowiec przełożyć do szalki ze szkła optycznego. Przestrzeganie zachowywania odpowiedniej ilości, tak by następowało pełne przykrycie pola pomiarowego bez prześwitywania, sprawi, że pomiar będzie poprawny, a wyniki przedstawią autentyczną wartość koloru. Zapewne w całej pracy kontroli są jeszcze płyny i surowce, które warto byłoby sprawdzić pod kątem przepuszczalności światła i barwy.

Poza tym należy wiedzieć, czy urządzenie w dłuższym horyzoncie pracy będzie przeznaczone do detali nieprzeźroczystych czy również do przeźroczystych. Odpowiedź determinuje, jakie urządzenie wybierzemy: przenośne czy stacjonarne. Jeśli długoterminowo będą sprawdzane tylko próbki w postaci ciała stałego, które są nieprzeźroczyste, to warto rozważyć urządzenie przenośne, na przykład model CM-700d lub CM-26dG, który jest w geometrii d/8 lub model CM-25cG wykonany w geometrii 45/0. Jeśli natomiast pojawi się kwestia pomiarów próbek nieprzeźroczystych i przeźroczystych, to mamy odpowiedź – urządzenie stacjonarne. Możemy wybrać CM-5 lub CM-36dG. Oba są urządzeniami, w których geometria pomiaru dla trybu pomiaru próbek nieprzeźroczystych jest wykonana w d/8. Kolejnym pytaniem wartym rozważenia jest kwestia kalibracji UV. Jeśli produkujemy wyroby, które zależą od tego zakresu, to w związku z tym potrzebujemy kalibrować urządzenie na ten właśnie zakres. Oznacza to, że należy wybrać urządzenie serii CM-36dG lub w wersji pionowej CM-36dGV. W przypadku urządzeń przenośnych będzie to model CM-26dG. Jeśli dodatkowo w naszej

pracy potrzebujemy mierzyć połysk pod kątem 60 stopni, to z całej oferty urządzeń mamy już te, które będą nam pomocne – dla nieprzeźroczystych – model CM-26dG, a dla wszystkich rodzajów będzie to model CM-36dG.

Z powyższej krótkiej instrukcji widać, że wybór urządzenia to kilka prostych odpowiedzi, które jasno uturują nam drogę, w jaki typ urządzenia warto zainwestować w rozpatrywanym horyzoncie czasowym.

Mam nadzieję, że w przystępny sposób dowiedzieliście się Państwo o ograniczeniach, gdy oceniamy kolor tylko oczami. Wiemy już, jakie urządzenie będzie pomocne, a w kolejnym wydaniu dowiecie się Państwo, jak odczytywać zmierzony kolor i omówimy kilka wskazówek dotyczących pomiarów. Jeśli chcecie Państwo poszerzyć wiedzę lub dowiedzieć się więcej o kontroli kolorów, to zapraszam do kontaktu.

Zapraszamy na seminarium  
Skontaktuj się z biurem w celu rejestracji



**Konica Minolta Sensing Europe B.V.**

**Sp. z o.o. Oddział w Polsce**

**ul. Skarbowców 23a, 53-025 Wrocław, tel. +48 71 734 52 11**

**info.poland@seu.konicaminolta.eu**

**www.konicaminolta.eu**

REKLAMA

**KONICA MINOLTA** Giving Shape to Ideas

**RETHINK COLOR MANAGEMENT**  
**SPEKTROFOTOMETR**  
**CM-26dG**

**SPEKTROFOTOMETR PRZENOŚNY Z WBUDOWANYM POŁYSKOMIERZEM (60°)**

- Wysoka użyteczność i wszechstronność funkcjonalna
- Idealne połączenie precyzji i łatwości obsługi
- Kompaktowa, lekka i ergonomiczna konstrukcja
- Japońska precyzja i niezawodność

www.konicaminolta.pl

## **Badanie wybranych właściwości polimerów termoplastycznych wykorzystywanych w druku 3D FDM w funkcji średnicy dyszy drukującej oraz sposobu formowania próbek – część 1.**

# **Badania właściwości mechanicznych**

Jacek Iwko, Mariola Robakowska, Oliwia Trzaska

**W pracy wyznaczono właściwości mechaniczne dziewięciu różnych polimerów stosowanych w procesie drukowania FDM. Badano statyczną wytrzymałość na rozciąganie i zginanie, uderność bez karbu i twardość metodą Brinella. Badania przeprowadzono w funkcji zmiennego rodzaju i stopnia wypełnienia próbek, różnej średnicy dyszy oraz różnych kierunków druku. W niniejszym opracowaniu przedstawiono szczegółowo tylko wyniki badań wytrzymałościowych w funkcji średnicy dyszy drukującej, omawiając krótko wpływ pozostałych czynników na badane właściwości. Ponadto zbadano wpływ sposobu formowania próbek (drukowanie i wtryskiwanie) na ich właściwości mechaniczne.**

Technologie druku trójwymiarowego (3D), nazywane również wytwarzaniem przyrostowym (AM, *Additive Manufacturing*) pojawiły się na rynku po raz pierwszy w latach 80. XX wieku. Gwałtowny wzrost zainteresowania nimi ma jednak miejsce w ostatniej dekadzie. Zwiększone zainteresowanie drukowaniem 3D obserwuje się zarówno ze strony przemysłu, jak również użytkowników domowych. Wytwarzanie przyrostowe jest coraz częściej wykorzystywane do projektowania i wytwarzania funkcjonalnych części i obiektów 3D. Drukowanie 3D polega na wytwarzaniu części poprzez selektywne dodawanie materiału w kolejnych warstwach przekroju, tworząc w ten sposób obiekt. AM obejmuje różnorodne technologie i jest alternatywą dla tradycyjnej produkcji ubytkowej (obróbka wiórowa, ścierna i erozyjna). Wzrost popularności AM jest spowodowany jego wieloma zaletami w porównaniu z innymi, tradycyjnymi procesami produkcyjnymi [1–4]. Podstawowym powodem jest duże rozpowszechnienie na rynku niedrogich, stacjonarnych drukarek 3D oraz dość duży wybór materiałów. Z technologicznego punktu widzenia, podstawowymi zaletami są kompleksowość i swoboda projektowania oraz możliwość wytwarzania struktur o bardzo skomplikowanych kształtach. Struktury te, co ważne, mogą zawierać również części ruchome. Ponadto brak dodatkowych narzędzi (jak głowice, formy wtryskowe itd.), szybkość wprowadzenia nowego wyrobu na rynek oraz brak lub minimalna ilość odpadów powoduje, że AM jest techniką przyjazną dla środowiska. Możliwe jest również nie tylko wykorzystanie jako materiału tworzyw sztucznych czy stopów metali, ale także betonu, czekolady czy tkanki żywej, co daje szeroki zakres zastosowań tych technologii [5].

Z drugiej strony wiele aspektów procesów AM wymaga jeszcze poprawy [6,7]. Duży koszt produkcji na większą skalę, mniejszy wybór materiałów i kolorów, ograniczony rozmiar drukarek 3D i ograniczona dokładność drukowanych struktur spowodowana przez strukturę *layer-by-layer* to podstawowe elementy ograniczające szerszy rozwój tej techniki na rynku. Ponadto, części drukowane mają zmniejszoną wytrzymałość mechaniczną w porównaniu z częściami o tej samej geometrii wytwarzanymi za pomocą tradycyjnych technik wytwarzania.

Wynika z tego, iż w technice AM występuje wiele obszarów, które wymagają dalszych badań [8].

Wraz z postępem rozwinęto się wiele technologii druku 3D. Niekiedy różnica między nimi jest niewielka – często jest to technologia, która przez niewielką modyfikację jest określana nową nazwą, w dużej mierze w celu obejścia praw patentowych lub dla usprawnienia danej technologii. Przełomem okazało się wygaśnięcie kluczowych patentów firmy Stratasys na technologię *Fused Deposition Modelling* (FDM) (patent US5121329A, który wygasł w 2009 r.), co wpłynęło znacząco na koszt produkcji drukarek korzystających z tej technologii [5]. Umożliwiło to rozwój niewielkich i tanich drukarek produkowanych głównie w Chinach na użytek indywidualny, co miało ogromny wpływ na największe rozpowszechnienie tej technologii druku 3D. Podobna przyszłość może czekać technologię *Selective Laser Sintering* (SLS), której patent (US5695707A) wygasł w 2014 r. [5], choć jest ona nadal stosunkowo drogą technologią.

FDM jest obecnie wciąż najpopularniejszą technologią na rynku druku 3D [9,10]. Ta technika AM tworzy wyroby poprzez stapianie polimeru termoplastycznego i nakładanie go warstwa po warstwie na podgrzewanym stole. Proces ten odbywa się w zamkniętej komorze utrzymującej podwyższoną temperaturę (dla większości materiałów) lub bez obecności komory (głównie drukowanie z PLA). Surowcem do procesu jest włókno polimerowe o standardowej średnicy 1,75 lub 2,85 mm. Włókno jest podawane do ogrzewanej dyszy wytłaczającej, gdzie polimer zostaje uplastyczniony. Stopiony polimer układany jest warstwami na podgrzewanym stole. Gdy polimer opuszcza dyszę wytłaczarki, zaczyna się zestalać. Drukarka nakłada polimer warstwę po warstwie, aż do uzyskania całego produktu.

Polimerem najczęściej stosowanym w technice FDM jest poli(kwas mlekowy) (PLA). Można tu jednak wykorzystać jeszcze takie polimery jak: PS, PET, PP czy TPU oraz różne kopolimery jak ABS, ASA czy blendy PC/ABS. Polimery te, choć należące do jednej grupy polimerów termoplastycznych, różnią się znacząco podstawowymi właściwościami mechanicznymi.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie w postaci porównawczej podstawowych właściwości mechanicznych

dziewięciu polimerów termoplastycznych sprzedawanych przez firmę 3D Printers w postaci filamentu do drukowania wyrobów w technice FDM, opisanych w dalszej części artykułu. Badania te wykonano z wykorzystaniem różnych średnic dysz drukujących, różnych rodzajów wypełnienia, różnego stopnia wypełnienia próbek oraz różnych kierunków druku. Ponieważ generalnie najlepsze właściwości uzyskano dla układu L-100-POZ (wypełnienie liniowe, stopień wypełnienia 100% oraz kierunek druku poziomy), przedstawione wyniki zostaną ograniczone dla tego układu, choć należy mieć na uwadze, że niektóre właściwości – głównie wydłużenie przy zerwaniu – były większe dla mniejszych stopni wypełnienia. Były to jednak sytuacje rzadkie i zostaną w dalszej części artykułu skomentowane.

## BADANIA

Do badań wykorzystano dziewięć polimerów termoplastycznych, oferowanych przez firmę 3D Printers: PLA, PLA-X, ABS-X, ASA-X, PC-ABS, HIPS, PP, PET-G, TPU. Podstawowe właściwości tych materiałów (dane producenta) przedstawiono w tabeli 1.

Próbki do badań wydrukowano za pomocą drukarki HBOT 3D F300. Dokładność jej druku (podana przez producenta) wynosi  $\pm 0,1$  mm. Pole robocze drukarki to 300x300x300 mm. Platforma robocza została wykonana ze szkła borokrzemowego. Średnica filamentu wynosiła 2,85 mm. Próbki do badań drukowano przy parametrach drukowania przedstawionych w tabelach 2 oraz 3. Po procesie drukowania próbek nie poddawano żadnej obróbce wykończeniowej. Pozostawiono je na 72 godziny w celu wysezonowania i przystąpiono do badań, opisanych poniżej.

Płytki do badań twardości metodą Brinella zostały wykonane techniką wtryskową (z powodu specyfiki tego badania – badanie punktowe na płaskiej powierzchni, płytki o wymiarach 10x10x5 mm). Parametry procesu wtryskiwania przedstawiono w tabeli 4.

Przedstawione wyniki dotyczą próbek z liniowym rodzajem wypełnienia, 100% stopniem wypełnienia i poziomym kierunkiem druku (próbki drukowane płasko na stole). Charakteryzowały się one generalnie najlepszymi właściwościami mechanicznymi. Ewentualne odstępstwa od tej reguły będą komentowane w wynikach.

W celu porównania właściwości wyrobów drukowanych oraz wtryskowych, zgranulowano po 1 kg filamentu każdego polimeru i tak uzyskany granulat wtrysnięto na wtryskarce Battenfeld Plus 350/75, uzyskując odpowiadające kształtki do badań. Parametry wtryskiwania dla poszczególnych polimerów przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 2. Stałe parametry drukowania próbek do badań na drukarce HBOT 3D F300

Parametr	Wielkość
Stopień wypełnienia próbek [%]	100
Rodzaj wypełnienia	liniowe
Kierunek drukowania próbek	poziomy
Prędkość drukowania [mm/s]	50

Tabela 1. Ogólne właściwości materiałów polimerowych do druku 3D FDM, oferowanych przez producenta.

Źródło: materiały reklamowe firmy 3D Printers

Materiał	PC-ABS	ABS-X	PP	PLA-X	PLA	ASA-X	HIPS	PET-G	TPU
Wytrzymałość na rozciąganie	●●●●○	●●●●○	●○○○○	●●●●○	●●●●●	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●●
Udarność	●●●●●	●●●●●	nie pęka	●●●●○	●○○○○	●●●●○	●●●●○	●●○○○	nie pęka
Elastyczność	●○○○○	●●○○○	●●●●○	●●●●○	○○○○○	●●○○○	●●●●○	●○○○○	●●●●●
Spajanie warstw	●●●●○	●●●●○	●●●●●	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●●
Skórcz przetwórczy	●●●●●	●●●●○	●●●●●	●○○○○	●○○○○	●●●●○	●●●●○	●●○○○	●○○○○
Skrawalność	●●●●○	●●●●●	○○○○○	●●●●○	●●●●○	●●●●●	●●●●●	●○○○○	○○○○○
Prędkość druku	●●●○○	●●●●○	●●○○○	●●●●●	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●○○	●○○○○
Odporność termiczna	●●●●●	●●●●○	●●●●●	●●●●○	●○○○○	●●●●○	●●●●○	●●●○○	●●●●○
Odporność chemiczna	●●○○○	●●○○○	●●●●●	●●●●○	●●●●○	●●○○○	●○○○○	●●●●○	●●○○○
Odporność na UV	●○○○○	●○○○○	●○○○○	●○○○○	●○○○○	●●●●●	●○○○○	●○○○○	●○○○○
Gęstość	●●○○○	●●●●○	○○○○○	●●●●○	●●●●○	●●●○○	●○○○○	●●●●●	●●●●○
Powierzchnia	lekki mat	lekki połysk	lekki połysk transparentny	lekki mat	połysk	lekki połysk	mat	połysk transparentny	lekki połysk

Tabela 3. Zmienne parametry drukowania próbek do badań na drukarce HBOT 3D F300

parametr ↓	polimer →	PLA	PLA <sub>x</sub>	ABS <sub>x</sub>	ASA <sub>x</sub>	PC-ABS	HIPS	PET-G	PP	TPU
Temperatura stołu roboczego [°C]		60	60	80	75	90	75	70	95	65
Temperatura dyszy [°C]		245	280	275	285	300	285	285	245	245
Średnica dyszy [mm]		$d_1 = 0,40$ mm, $d_2 = 0,60$ mm, $d_3 = 0,80$ mm, $d_4 = 1,0$ mm								
Wysokość warstwy [mm]		$h_1 = 0,20$ mm (dla $d_1$ ), $h_2 = 0,33$ mm (dla $d_2$ ), $h_3 = 0,45$ mm (dla $d_3$ ), $h_4 = 0,60$ mm (dla $d_4$ )								

Tabela 4. Parametry procesu wtryskiwania zgranulowanych filamentów

	PLA	PLAx	ABSx	ASAx	HIPS	PET-G	PC/ABS	PP	TPU
T1 [°C]	225	255	235	235	245	265	255	255	205
T2 [°C]	230	260	240	240	250	270	260	260	210
T3 [°C]	230	260	240	240	250	270	260	260	220
p <sub>wtr</sub> [MPa]	90	95	95	95	95	95	95	125	95
p <sub>doc</sub> [MPa]*	85/63	80/63	70/55	63/47	55/47	82/55	70/55	85/63	55/32
t <sub>doc</sub> [s]*	12/7	12/7	10/5	10/5	10/7	10/5	10/5	10/10	10/5
v <sub>stim</sub> [obr/min]	200								
t <sub>chłodz</sub> [s]	30	30	20	20	20	25	20	25	30
T <sub>formy</sub> [°C]	25	30	30	30	30	40	60	40	40

\* etap docisku podzielony był na dwie części, pierwszą i drugą

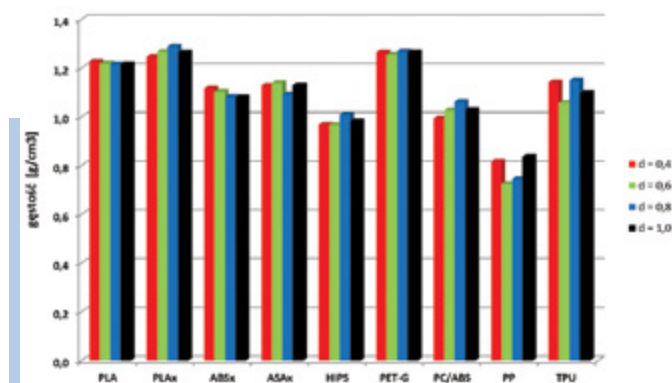
Tabela 5. Wyniki pomiarów wskaźnika szybkości płynięcia dla wszystkich badanych polimerów

polimer	MFR (płynność)	odchyłka	temperatura pomiaru	obciążenie
	[g/10 min]	[g/10 min]	[°C]	[kg]
PLA	9,1	0,1	200	2,16
PLAx	22,1	0,2	240	2,16
ABSx	8,8	0,2	245	2,16
ASAx	7,8	0,1	240	2,16
HIPS	4,7	0,1	240	2,16
PC-ABS	5,9	0,1	265	5
PET-G	14,7	0,1	230	2,16
PP	4,8	0,1	215	2,16
TPU	14,4	0,3	220	2,16

Proces wtryskiwania poprzedzony został badaniem wskaźnika szybkości płynięcia (MFR), którego wyniki były niezbędne dla prawidłowego przeprowadzenia procesu wtryskiwania. Wyniki badania MFR przedstawiono w tabeli 5.

Analiza właściwości mechanicznych próbek drukowanych obejmowała badania:

1. Wytrzymałość na rozciąganie: badania wytrzymałości na rozciąganie przeprowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Tinius Olsen model H25KT z głowicą pomiarową 10 kN. Podczas badania wytrzymałości na rozciąganie, wyznaczono równocześnie moduł sztywności podłużnej Younga oraz wydłużenie przy zerwaniu. Dla każdej serii pomiarowej badano 8 próbek.
2. Wytrzymałość na zginanie: z powodu wyników bardzo podobnych do wyników badania wytrzymałości na rozciąganie – moduł praktycznie identyczny, a wytrzymałość na zginanie większa o 50% od wytrzymałości na rozciąganie, co jest faktem powszechnie znanym – zatem wyniki te nie będą prezentowane w niniejszym artykule.
3. Udarność metodą Charpy’ego: badanie udarności wykonano wykorzystując młot Charpy’ego prod. Werkstoffpruefmaschinen Leipzig. Badano wyłącznie udarność bez karbu. Dla każdej serii pomiarowej badano 8 próbek.
4. Twardość metodą wciskania kulki (Brinella): Badanie twardości wykonano z wykorzystaniem twardościomierza Brinella prod. Werkstoffpruefmaschinen Leipzig. Polega ono na wciskaniu w próbkę materiału kulki stalowej o średnicy D=2,5 mm pod obciążeniem m=15 kg w czasie t=30 s, a następnie pomiarze średnicy odcisku i na tej podstawie wyliczeniu twardości. Dla każdej serii pomiarowej badano 8 próbek wykonanych techniką wtryskową.



Rys. 1. Wyniki pomiarów gęstości pozornej próbek dla wszystkich badanych polimerów w funkcji średnicy dyszy drukującej

## WYNIKI

### Gęstość pozorna

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki pomiarów gęstości badanych próbek. Ponieważ w próbkach drukowanych techniką FDM nawet przy zadanym stopniu wypełnienia równym 100% nie można mówić o litym materiale, gęstość tę nazwano gęstością pozorną.

Gęstość pozorną zmierzono poprzez pomiar masy oraz objętości belki o wymiarach 120x10x48 mm, którą wydrukowano specjalnie na potrzeby pomiaru gęstości pozornej. Wyznaczone gęstości pozorne w funkcji średnicy dyszy dla poszczególnych dziewięciu polimerów przedstawiono na rysunku 4. Widzimy, że gęstość pozorna w bardzo niewielkim stopniu zależy od średnicy dyszy. Różnice są największe dla polimerów elastycznych (PP oraz TPU).

Największą gęstość pozorną, rzędu 1,2 g/cm<sup>3</sup> wykazuje PLA, PLA<sub>x</sub> oraz PET-G. Gęstość rzędu 1,1 g/cm<sup>3</sup> ma ABS<sub>x</sub> oraz ASA<sub>x</sub>, gęstość ok. 1,0 g/cm<sup>3</sup> - HIPS oraz PC-ABS, natomiast najmniejszą gęstością pozorną wykazuje się PP – ok. 0,80 g/cm<sup>3</sup>.

**Wytrzymałość na rozciąganie**

Na rysunkach 2-4 przedstawiono wyznaczone wartości modułu sztywności Younga, wytrzymałości na rozciąganie oraz wydłużenia przy zerwaniu dla wszystkich badanych polimerów.

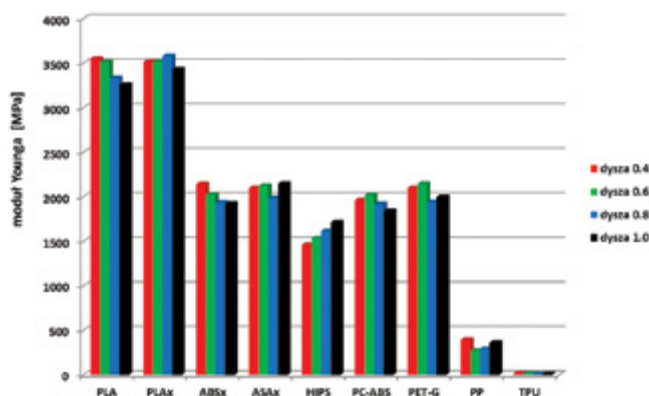
Najwyższe moduły sztywności obserwowane dla PLA oraz PLA<sub>x</sub> sięgają 3,5 GPa. Pozostałe polimery mają moduły na poziomie 2 GPa, PP – ok. 300 MPa, natomiast TPU – 30 MPa.

Na rysunku 3 pokazano zbiorczo wyznaczone wartości statycznej wytrzymałości na rozciąganie dla wszystkich badanych polimerów. Widzimy, iż najwyższą wartość wytrzymałości ma PLA (ok. 60 MPa), następnie PET-G (ok. 50 MPa), pozostałe polimery – ok. 35 MPa. Najmniejszą wytrzymałością, rzędu 10 MPa charakteryzują się HIPS, PP oraz TPU.

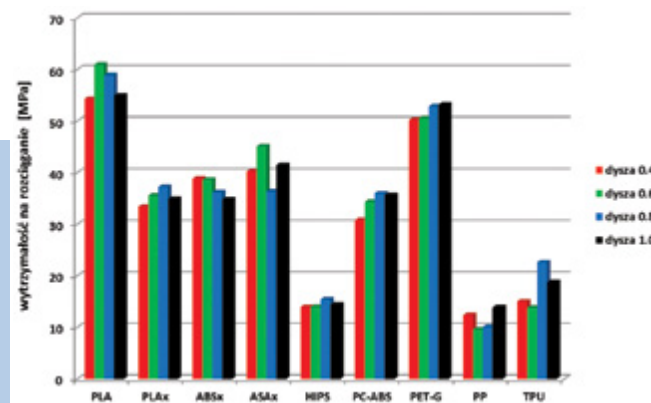
Na rysunku 4 przedstawiono wyniki pomiarów wydłużenia przy zerwaniu dla wszystkich badanych układów. Przedstawiono tutaj wyniki dla układu L-100-POZ, chociaż warto wskazać, iż wydłużenie dla innych układów często było znacznie większe np. dla próbek z 50% stopniem wypełnienia (układ L-050-POZ dla polimerów ABS<sub>x</sub>, ASA<sub>x</sub> oraz PC/ABS). Ponieważ zakres wydłużenia przy zerwaniu wahał się w granicach 1-600%, wydłużenie na wykresie przedstawiono w skali logarytmicznej. Widzimy, iż wydłużenie to dla większości polimerów oscyluje w granicach 2–5%, dla HIPS wynosi ok. 10%, a dla PP oraz TPU jest rzędu 500%.

Warto też dokonać porównania właściwości wytrzymałościowych dla próbek polimerów uzyskanych metodą wtryskiwania oraz drukowania 3D (tu do porównania wybrano próbki drukowane z wykorzystaniem dyszy 1,0 mm). Na rysunkach 5-7 przedstawiono porównanie modułu sztywności Younga, wytrzymałości na rozciąganie oraz wydłużenia przy zerwaniu dla próbek wykonanych metodą drukowania i wtryskiwania. Zauważyć można zgodnie z oczekiwaniami, iż w przypadku właściwości wytrzymałościowych lepszymi parametrami charakteryzują się generalnie próbki uzyskane technologią wtryskiwania. Jest to spowodowane inną strukturą obu rodzajów próbek. Próbki wtryskowe mają strukturę litą, zwartą i przez to będą bardziej wytrzymałe od próbek drukowanych, które były wytwarzane warstwa po warstwie i w zasadzie nie ma możliwości, aby wydrukować je w ten sposób, żeby były całkowicie wypełnione w środku. Nieidealna spójność warstw oraz niecałkowite wypełnienie (nawet dla założonego wypełnienia 100%) powodują, iż próbki uzyskane przy pomocy technologii druku 3D będą miały nieznacznie słabsze właściwości wytrzymałościowe, co faktycznie obserwujemy na wykresach 5–7.

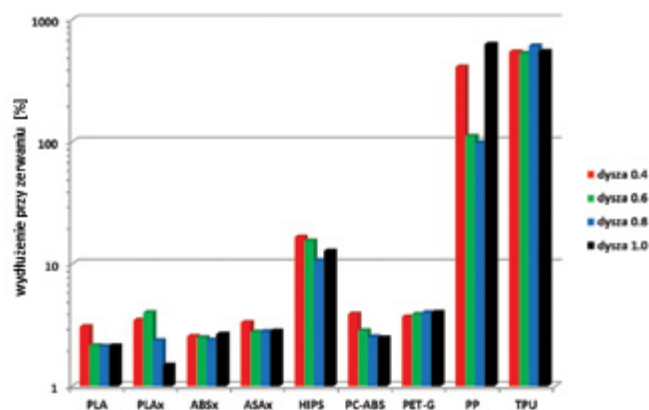
Różnice w module Younga są rzędu 200-500 MPa, jedynie HIPS wykazuje tendencję odwrotną. Tutaj próbki drukowane mają większą sztywność o ok. 200 MPa. W przypadku wytrzymałości na rozciąganie, różnice są rzędu 2-5 MPa. Tutaj z kolei PET-G zachowuje się inaczej niż pozostałe materiały. Wydłużenie przy zerwaniu jest zdecydowanie większe dla próbek wtryskowych – tutaj różnice są rzędu 2–10 razy.



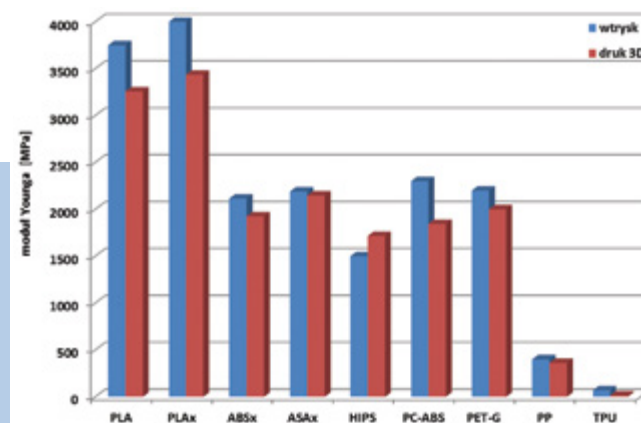
Rys. 2. Wyniki pomiarów modułu Younga dla wszystkich badanych polimerów w funkcji średnicy dyszy drukującej



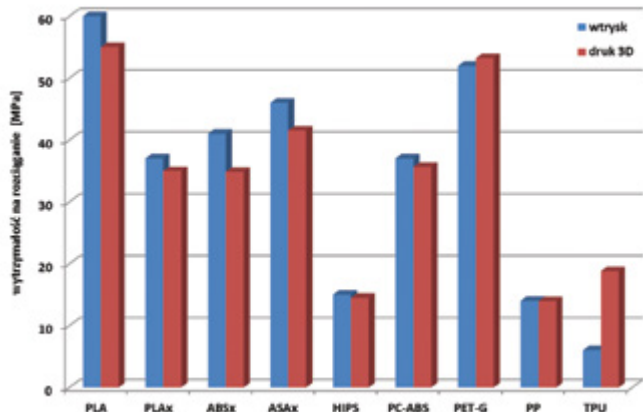
Rys. 3. Wyniki pomiarów wytrzymałości na rozciąganie dla wszystkich badanych polimerów w funkcji średnicy dyszy drukującej



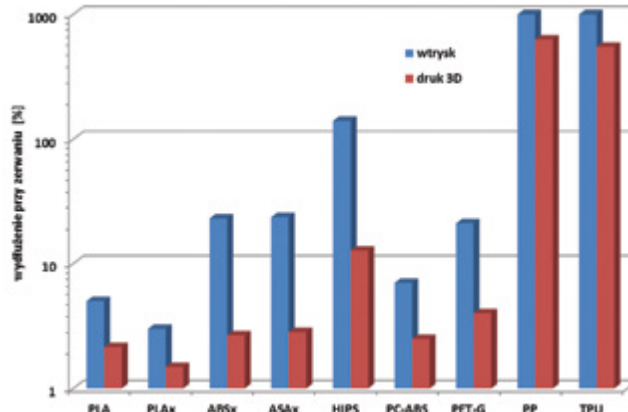
Rys. 4. Wyniki pomiarów wydłużenia przy zerwaniu dla wszystkich badanych polimerów w funkcji średnicy dyszy drukującej



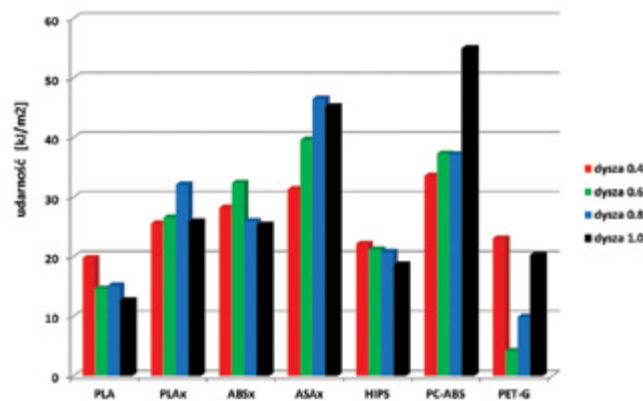
Rys. 5. Porównanie wartości modułu Younga dla próbek uzyskanych technologią wtryskiwania oraz druku 3D



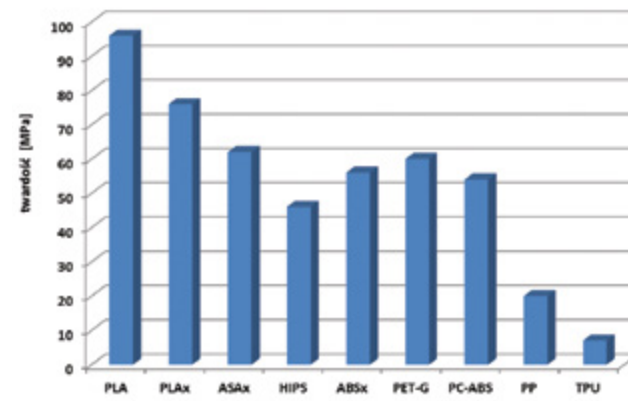
Rys. 6. Porównanie wartości wytrzymałości na rozciąganie dla próbek uzyskanych technologią wtryskiwania oraz druku 3D



Rys. 7. Porównanie wartości wydłużenia przy zerwaniu dla próbek uzyskanych technologią wtryskiwania oraz druku 3D



Rys. 8. Wyniki pomiarów udarności wg Charpy'ego bez karbu dla badanych polimerów w funkcji średnicy dyszy drukującej



Rys. 9. Wyniki pomiarów twardości dla wszystkich badanych polimerów

### Udarność

Na rysunku 8 przedstawiono wartości udarności bez karbu dla badanych polimerów w funkcji średnicy dyszy drukującej.

Największą udarnością, rzędu 40 kJ/m<sup>2</sup> charakteryzują się ASAx oraz PC/ABS. Następnie PLAx, ABSx oraz HIPS, których udarność jest na poziomie 20 kJ/m<sup>2</sup>. Najmniejszą odporność na uderzenie wykazują te polimery, które charakteryzowały się największym modułem sztywności i największą wytrzymałością – PLA oraz PET-G, rzędu 15 kJ/m<sup>2</sup>.

Zaobserwować można również znaczny wpływ średnicy dyszy na wartości udarności, który jest różny dla różnych polimerów. Średnica dyszy ma największy wpływ na udarność dla PET-G. Wyniki te potwierdziły się również przy mniejszych stopniach wypełnienia (20 i 50%). Różnice są tutaj bardzo duże – dla dyszy 0,4 oraz 1,0 mm udarność przekracza 20 kJ/m<sup>2</sup>, a dla dyszy 0,6 mm jest mniejsza od 5 kJ/m<sup>2</sup>. Z kolei polimer ABSx największą wartość udarności uzyskuje właśnie przy zastosowaniu dyszy 0,6 mm. Duże różnice w udarności występują również dla ASAx oraz PC-ABS (odpowiednio ok. 50% oraz 80%). W celu wyjaśnienia tych rozbieżności należałoby wykonać badania strukturalne, przede wszystkim mikroskopowe.

Wykonano również badania udarności metodą Charpy'ego dla polimeru PP oraz TPU. Niestety, PP i TPU jako polimery miękkie oraz elastyczne nie pękały podczas uderzania próbek nawet największym młotem (4 J). Również dodanie (nacięcie) karbów na próbkach nie spowodowało ich pęknięcia podczas uderzenia młotem. Próbki drukowane z polimeru PP oraz TPU są zatem całkowicie odporne na uderzenie.

Dokonano próby porównania udarności bez karbu próbek drukowanych i wtryskowych. Ponieważ jednak w przypadku próbek wtryskowych udało się zmierzyć udarność bez karbu tylko dla dwóch polimerów (PLA oraz ASAx), zatem porównanie takie jako niepełne nie będzie prezentowane.

### Twardość

Wykonano badania twardości metodą Brinella (metoda wiskania kulki) dla wszystkich badanych polimerów. Próbki do badań uzyskano, z racji specyfiki badania, techniką wtryskową (gładka powierzchnia, badanie średnicy odcisku wykonanego przez stalową kulkę). Wyniki badań przedstawiono na rysunku 9.

Największą twardość wykazują wyroby z PLA (ok. 95 MPa) oraz PLAx (ok. 75 MPa). PP i TPU charakteryzują się twardością nieprzekraczającą 20 MPa.

Ogólnie można zauważyć, że wartości twardości odzwierciedlają w pewnym stopniu parametry wytrzymałościowe, a dokładniej moduły sztywności poszczególnych polimerów. Analizując wartości modułów Younga oraz modułów gnących dla poszczególnych materiałów, można zauważyć podobieństwo do wyników pomiarów twardości. Największą sztywnością oraz twardością charakteryzują się PLA oraz PLAx, następnie ASAx, PET-G oraz ABSx.

### PODSUMOWANIE

W ramach przeprowadzonych badań wyznaczono właściwości wytrzymałościowe próbek z dziewięciu najczęściej stosowanych polimerów termoplastycznych wydrukowanych w technice FDM. Badano statyczną wytrzymałość, moduł sztywności, udarność i twardość wykonanych próbek w funkcji rodzaju i stopnia wypeł-

nienia, jak również kierunku druku i średnicy dyszy drukującej. W niniejszym opracowaniu ukazano tylko wyniki badań mechanicznych w funkcji średnicy dyszy. Z przedstawionych wyników widać, iż ma ona największy wpływ na udarność oraz wydłużenie przy zerwaniu badanych polimerów. Porównano ponadto właściwości wytrzymałościowe próbek drukowanych oraz wtryskowych. Nieznacznie wyższe właściwości mechaniczne wykazywały próbki wtryskowe.

Z wyników niepublikowanych warto wspomnieć, iż wartości wydłużenia przy zerwaniu w próbie wytrzymałości na rozciąganie są zdecydowanie największe dla próbek o wypełnieniu 50% (tu największe wartości wydłużenia odnotowano dla dyszy 0,4 oraz 0,6 mm). Wydłużenia tutaj są o 20 – 200% większe niż dla próbek z wypełnieniem 100%, przy czym reguła ta dotyczy praktycznie wszystkich badanych polimerów.

Warto też dodać, iż dla wszystkich zbadanych polimerów udarność bez karbu w minimalnym tylko stopniu zależy od stopnia wypełnienia próbek. Maksymalne różnice udarności dla próbek z wypełnieniem 20% i 100% nie przekraczają 25%.

#### LITERATURA

- [1] S.H. Huang, P Liu, A. Mokasdar, L. Hou: (2013), Additive manufacturing and its societal impact: a literature review, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 67, No. 5/8, pp. 1191-1203.
- [2] W. Gao, Y. Zhang, D. Ramanujan, K. Ramani, Y. Chen, C.B Williams, P.D. Zavattieri: (2015), The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering, Computer-Aided Design, Vol. 69, pp. 65-89.
- [3] A.J. Boydston, B. Cao, A. Nelson, R.J. Ono, A. Saha, J.J. Schwartz, C.J. Thrasher: (2018), Additive manufacturing with stimuli-responsive materials, Journal of Materials Chemistry A, Vol. 6 No. 42, pp. 20621-20645.
- [4] J.J. Schwartz, J. Hamel, T. Ekstrom, L. Ndagang, A.J. Boydston: (2020), Not all PLA filaments are created equal: an experi-

mental investigation, Rapid Prototyping Journal, Vol. 26, No. 7, pp. 1263–1276, doi: 10.1108/RPJ-06-2019-0179.

[5] M. Cotteleer: (2014), 3D opportunity: additive manufacturing paths to performance, innovation, and growth, Deloitte Rev, Vol. 14, pp. 5-19.

[6] Y. Huang, M.C. Leu, J. Mazumder, A. Donmez: (2015), Additive manufacturing: current state, future potential, gaps and needs, and recommendations, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 137 No. 1, pp. 1-10.

[7] J.W. Stansbury, M.J. Idacavage: (2016), 3D printing with polymers: challenges among expanding options and opportunities, Dental Materials, Vol. 32 No. 1, pp. 54-64.

[8] H.J. Steenhuis, L. Pretorius: (2017), The additive manufacturing innovation: a range of implications, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 28 No. 1, pp. 122-143.

[9] C. Balletti, M. Ballarin, F. Guerra: (2017), 3D printing: state of the art and future perspectives, Journal of Cultural Heritage, Vol. 26, pp. 172-182.

[10] J.B. Soares, J. Finamor, F.P. Silva, L. Roldo, L.H. Cândido: (2018), Analysis of the influence of polylactic acid (PLA) colour on FDM 3D printing temperature and part finishing, Rapid Prototyping Journal, Vol. 24, No. 8, pp. 1305-1316.

---

Artykuł powstał we współpracy Politechniki Wrocławskiej z Politechniką Poznańską.

---

**dr inż. Jacek Iwko**

**dr inż. Oliwia Trzaska**

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

**dr inż. Mariola Robakowska**

Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej  
ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań

INFORMACJA PRASOWA

## Compoundy TISAN Engineering w ofercie BESSPOL

BESSPOL to firma, która od ponad 30 lat dystrybuje na rynku polskim granulaty tworzyw sztucznych oraz środki pomocnicze do ich przetwórstwa. Oferujemy tworzywa i koncentraty renomowanych marek w szerokiej palecie barw. W zakres naszych usług wchodzi również doradztwo techniczne w zakresie odpowiedniego doboru materiału do docelowej aplikacji i warunków eksploatacji oraz technologii przetwórstwa. Firma nawiązała współpracę z czołowym tureckim compounderem, firmą TISAN, która oferuje szeroką gamę modyfikowanych termoplastów konstrukcyjnych.

TISAN Engineering Plastics to firma, która specjalizuje się w produkcji compoundów termoplastycznych tworzyw sztucznych (głównie na bazie poliamidów PA6, PA6.6, poliwęglanów PC oraz poliestrów PET, PBT) wykorzystywanych jako surowce do produkcji w wielu branżach. TISAN produkuje i oferuje konkurencyjne i korzystne produkty oraz rozwiązania dla klientów w oparciu o ich wymagania. Dostarczanie optymalnych rozwiązań pod kątem aplikacyjnym i użytkowym, kwalifikowanych produktów o odpowiedniej do wymagań jakości, elastyczność produkcji, szybkość obsługi w połączeniu z silną infrastrukturą techniczną i zasobami ludzkimi, zarówno w przypadku standardowych, jak i ekskluzywnych produktów na wszystkie rynki, to główne znaczniki działalności tureckiego partnera BESSPOL-u.

Firma oferuje szeroki zakres modyfikacji z użyciem wypełniaczy mineralnych oraz włókien (w tym włókna szklane, kulki szklane, włókna węglowe, włókna aramidowe) o różnym stopniu ich zawartości, a także w szerokiej gamie ich kombinacji (modyfikacje hybrydowe). Dostępne są również materiały o modyfikowanych właściwościach tribologicznych (ślizgowych), obniżonym współczynniku tarcia oraz poprawionych właściwościach przeciwyżyciowych zawierające PTFE i dwusiarczek molibdenu (MoS<sub>2</sub>). Dodatkowo możliwym jest zastosowanie stabilizatorów termicznych, środków smarnych i ułatwiających odformowanie, antystatyków oraz wszelkiego rodzaju modyfikatorów procesowych, które mogą być stosowane w gatunkach niewzmocnionych i wzmacnionych celem zmiany (poprawy) określonych właściwości materiału.

Istotny zakres modyfikacji termoplastów konstrukcyjnych stanowią gatunki odporne na promieniowanie UV oraz światło (LS), modyfikowane udarnościowo (HI), gatunki przeznaczone do znakowania laserowego, uniepalnione. Możliwym jest także opracowanie specjalnych formuł (receptur) materiałów wynikających zarówno z wymagań aplikacji, jak i użytkownika końcowego celem spełnienia określonych potrzeb rynkowych.

Więcej na <http://www.besspol.pl/>.

**Źródło: [www.tworzywa.pl](http://www.tworzywa.pl)**

# Opracowanie nowej generacji materiału polimerowego i osłon do samochodowych układów hamulcowych – wyniki projektu



Firma P.P.H.U. Przedsiębiorstwo Tworzyw Sztucznych A.H.A. Tomczak jest producentem wyrobów polimerowych dla motoryzacji z ponad 30-letnim stażem. Firma jest strategicznym dostawcą międzynarodowych koncernów motoryzacyjnych na całym świecie. Firma od ponad 20 lat posiada specjalistyczny certyfikat systemu zarządzania jakością w branży motoryzacyjnej IATF 16949, jak również certyfikaty ISO 9001 oraz ISO 14001 przyznawane przez renomowaną niemiecką organizację certyfikującą TUV CERT. PPHU PTS AHA Tomczak od wielu lat konsekwentnie realizuje strategię biznesową opartą o podnoszenie konkurencyjności firmy poprzez regularny rozwój i inwestycje w innowacje oraz najnowsze technologie.

PPHU PTS AHA Tomczak zrealizowało projekt badawczo-rozwojowy pt. „Opracowanie nowej generacji materiału polimerowego i osłon do samochodowych układów hamulcowych”. Nr projektu: RPLD.01.02.02-10-0016/18. Projekt współfinansowany w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego – Regionalny Program Operacyjny Województwa Łódzkiego na lata 2014-2020. Oś priorytetowa I – Badania, rozwój i komercjalizacja wiedzy.

Celem projektu było opracowanie nowej generacji materiału polimerowego i osłon przeznaczonych do samochodowych zacisków hamulcowych nowych modeli samochodów poprzez realizację prac B+R we własnych laboratoriach firmy oraz we współpracy z zewnętrznymi jednostkami naukowymi, a następnie rozpoczęcie produkcji osłon w ramach własnej działalności gospodarczej. Bezpośredni efekt realizacji projektu stanowi zwiększenie aktywności badawczo-rozwojowej PPHU PTS AHA Tomczak oraz podniesienie innowacyjności i konkurencyjności firmy poprzez uruchomienie produkcji wyrobów przeznaczonych do najbardziej zaawansowanych technicznie samochodów na świecie. W efekcie realizacji prac B+R zbadane zostało zachowanie oraz właściwości materiału i prototypów w środowisku laboratoryjnym oraz w otoczeniu stanowiącym model warunków rzeczywistego funkcjonowania.

W celu prawidłowej i skutecznej realizacji, projekt został podzielony na cztery etapy prac badawczo-rozwojowych. Etap nr 1 obejmował badania przemysłowe w zakresie przeprowadzenia analiz i zdefiniowania wymagań dotyczących parametrów materiału polimerowego i osłon oraz określenie wstępnych założeń dotyczących receptur materiałowych. Etap nr 2 zawierał badania przemysłowe w zakresie dyspersji, właściwości reologicznych oraz właściwości próbek materiałowych poddanych działaniu przyspieszonych starzeń. Etap nr 3 to prace w zakresie badań przemysłowych w środowisku laboratoryjnym. Ostatni, czwarty etap stanowił eksperymentalne prace rozwojowe w zakresie opracowania prototypów oraz wykonania testów w otoczeniu stanowiącym model warunków rzeczywistego funkcjonowania.

Projekt zakończył się sukcesem. Rezultatami projektu PPHU PTS AHA Tomczak są wyniki prac w zakresie badań fizyko-mechanicznych próbek materiałów oraz prototypów w stanie naturalnym oraz po przeprowadzaniu przyspieszonych starzeń w wysokich temperaturach, w suchym otoczeniu, w środowisku płynów hamulcowych, w środowisku smarów. Ponadto w efekcie



współpracy z jednostką naukową – Politechnika Łódzka, Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej – uzyskano wyniki badań dyspersji oraz badań w zakresie analizy jakościowego składu powierzchni przeprowadzanych na skaningowym mikroskopie elektronowym z mikroanalizą rentgenowską (SEM-EDS).



Wyniki prac B+R w zakresie całego projektu, założone rezultaty badań oraz kamienie milowe dla wszystkich etapów projektu zostały pozytywnie osiągnięte. W efekcie projektu opracowano nową generację materiałów polimerowych i osłony do samochodowych układów hamulcowych. Materiały oraz prototypy, będące efektem realizacji prac badawczo-rozwojowych, osiągnęły pozytywne wyniki spełniające założone wymagania.

Wszystkie założone dla projektu wskaźniki produktu oraz rezultatu bezpośredniego zostały osiągnięte. Projekt realizowany był zgodnie z polityką zrównoważonego rozwoju, z polityką równości szans kobiet i mężczyzn oraz z polityką równości szans i niedyskryminacji, w tym dostępności dla osób z niepełnosprawnościami.

W celu ochrony prawa własności przemysłowej efektów projektu, firma złożyła wniosek o udzielenie patentu na wynalazek do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej (zgłoszenie nr P.4.36278). Postępowanie patentowe jest w toku.

Formę wdrożenia wyników prac B+R przeprowadzonych w ramach projektu stanowiło wprowadzenie wyników przeprowadzonych prac B+R do działalności gospodarczej firmy. Wprowadzenie wyników przeprowadzonych prac B+R do działalności gospodarczej PPHU PTS AHA Tomczak przeprowadzone zostało poprzez rozpoczęcie produkcji na bazie uzyskanych wyników projektu.

W ramach prac wdrożeniowych nastąpiło zaprojektowanie dokumentacji 2D i 3D oraz wykonanie oprzyrządowań w metalu przy wykorzystaniu technik komputerowych programów CAD/CAM oraz sterowanych numerycznie frezerskich i tokarskich centrów obróbkowych CNC. Następnie przeprowadzone zostały próby

technologiczne oraz wykonane zostały partie próbne wyrobów na oprzyrządowaniu przy wykorzystaniu wcześniej opracowanej dokumentacji technologicznej i jakościowej APQP (*team feasibility commitment*, dokumentacja FMEA, plany kontroli procesu, analiza statystyczna kontroli procesu SPC, karty technologiczne, dokument PSW itd.). Wdrożenie produkcji nastąpiło na posiadanych przez firmę nowoczesnych prasach wtryskowych niemieckiej marki Klockner Desma. Maszyny wyposażone są w najnowsze technologie do produkcji wyrobów polimerowych.

Nastąpiło rozpoczęcie produkcji wyrobów polimerowych (osłon) przeznaczonych do zacisków hamulcowych nowych modeli samochodów, na bazie uzyskanych wyników projektu. Dostawy wyrobów odbywają się bezpośrednio do zakładów koncernów motoryzacyjnych. Tam odbywa się montaż wyrobów PPHU PTS AHA Tomczak do zacisków hamulcowych i następnie kompletne podzespoły układu hamulcowego dostarczane są na linię montażową, gdzie seryjnie produkowane są najnowsze modele samochodów.

Firma planuje kontynuację wdrażania efektów prac B+R przeprowadzonych w ramach projektu poprzez próby sprzedaży wyrobów do kolejnych klientów z branży motoryzacyjnej. Rezultaty projektu w połączeniu z handlowym *know-how* i ponad 30-letnim doświadczeniem na rynku, a także odpowiedni poziom jakości potwierdzony certyfikatami ISO 9001, IATF 16949 i ISO 140001 dają firmie realną przewagę nad konkurencją.

**P.P.H.U. Przedsiębiorstwo Tworzyw Sztucznych A.H.A. Tomczak**



Rzeczpospolita  
Polska



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



REKLAMA

**ZAPRASZAMY DO ZAMIESZCZENIA WPISU  
W NOWEJ EDYCJI KATALOGU BRANŻOWEGO  
„TWORZYWA SZTUCZNE W PRZEMYSŁE”**

**KATALOG BRANŻOWY**

Katalog dostępny będzie w formie elektronicznej na naszej stronie internetowej [www.tworzywasztuczne.biz](http://www.tworzywasztuczne.biz) w zakładce katalog oraz w formie drukowanej.

**Tworzywa Sztuczne  
Przemysłe**

**2024  
KATALOG  
BRANŻOWY**

ul. Żorska 1/45, 47-400 Racibórz  
tel. 32-733 18 01, kom. 570 498 067  
[katalog@tworzywasztuczne.biz](mailto:katalog@tworzywasztuczne.biz)  
[redakcja@tworzywasztuczne.biz](mailto:redakcja@tworzywasztuczne.biz)  
[www.tworzywasztuczne.biz](http://www.tworzywasztuczne.biz)

## Badanie wybranych właściwości polimerów termoplastycznych wykorzystywanych w druku 3D FDM w funkcji średnicy dyszy drukującej oraz sposobu formowania próbek – część 2.

# Badania właściwości termicznych

Jacek Iwko, Mariola Robakowska, Oliwia Trzaska

W pracy wyznaczono wybrane właściwości cieplne dziewięciu różnych polimerów stosowanych w procesie drukowania FDM. Badano temperaturę mięknięcia wg Vicata oraz temperaturę ugięcia pod obciążeniem. Badania przeprowadzono w funkcji zmienego rodzaju i stopnia wypełnienia próbek, różnych średnic dyszy oraz różnych kierunków druku. W niniejszym opracowaniu przedstawiono szczegółowo tylko wyniki badań w funkcji średnicy dyszy drukującej, omawiając krótko wpływ pozostałych czynników na badane właściwości. Zbadano ponadto wpływ sposobu formowania próbek na szybkość ugięcia w badaniu HDT. Wyniki pokazały, iż średnica dyszy drukującej nie ma znaczącego wpływu na temperaturę HDT. Sposób formowania próbek nie ma wyraźnego wpływu na temperaturę mięknięcia, natomiast ma bardzo duże znaczenie dla temperatury ugięcia pod obciążeniem.

**D**ruk trójwymiarowy (3D) jest jedną z technik wytwarzania przyrostowego (AM), pozwalającą na tworzenie obiektów o pożądanej formie poprzez budowanie warstwa po warstwie. Druk 3D obejmuje różne techniki, takie jak selektywne spiekanie laserowe (SLS), stereolitografia (SLA), wytłaczanie materiału (FDM), natryskiwanie spoiwa itp. [1,2]. Technika FDM jest jedną z najczęściej stosowanych technik druku 3D ze względu na łatwość użycia, niski koszt i przyjazność dla środowiska. FDM jest coraz częściej wykorzystywane w opracowywaniu produktów, prototypowaniu i procesach produkcyjnych w różnych branżach, w tym w motoryzacji [3], architekturze, sprzęcie medycznym [4] i lotnictwie [5]. Filamenty z dostępnych na rynku materiałów termoplastycznych, takich jak akrylonitryl-butadien-styren (ABS), poli(kwas mlekowy) (PLA), poliwęglan (PC), poliamid (PA) i polieteroke-tonoketon (PEKK) itp. są szeroko stosowane w procesie FDM [6]. Pomimo wielu zalet tej technologii istnieją wady tej techniki. Najważniejsze z nich to słabe właściwości mechaniczne wyrobów, ich warstwowa budowa oraz niedostateczna jakość powierzchni.

Obecne technologie w AM koncentrują się na poprawie właściwości mechanicznych i elektrycznych struktur drukowanych w 3D. Ale prawie nie ma literatury na temat eksperymentalnego określania właściwości termicznych produktów drukowanych w 3D. Dane dotyczące właściwości termicznych są ważne, ponieważ pokazują powstawanie wiązań między włóknami, a jakość tych wiązań wpływa na właściwości mechaniczne [6] i elektryczne [7].

Innym aspektem konieczności badania właściwości termicznych jest anizotropia właściwości i pogorszenie właściwości wyrobów z powodu naprężeń resztkowych, co często obserwuje się w wyrobach wytwarzanych technikami AM. Podczas narastania produktu powtarzające się nagrzewanie i chłodzenie materiału powoduje naprężenia i odkształcenia szczątkowe [8]. Narastanie naprężeń szczątkowych jest powszechnie obserwowane w systemach kompozytowych z powodu niedopasowania współczynników liniowej rozszerzalności cieplnej (CLTE). Na przykład niedopasowanie CLTE może powstać, gdy stopiony polimer jest drukowany na powierzchni polimeru szklanego [9]. Dlatego właściwości termiczne, takie

jak temperatura mięknięcia (ST), temperatura ugięcia pod obciążeniem (HDT), CLTE i przewodność cieplna odgrywają istotną rolę w wyborze materiału do produkcji produktu drukowanego.

Ponieważ właściwości termiczne są jednym z podstawowych czynników przy wyborze materiału do produkcji wyrobu drukowanego w 3D, niniejsza praca miała na celu ocenę, usystematyzowanie i analizę porównawczą głównych właściwości termicznych najczęściej stosowanych materiałów termoplastycznych. W tym celu postanowiono ocenić, usystematyzować i przeanalizować temperaturę mięknięcia materiału ograniczającą górną chwilową temperaturę pracy oraz temperaturę ugięcia pod obciążeniem wskazującą na górną temperaturę pracy ciągłej. Przeanalizowano dziewięć polimerów termoplastycznych sprzedawanych przez firmę 3D Printers w postaci filamentu do drukowania wyrobów w technice FDM, opisanych bardziej szczegółowo w poprzednim artykule (w części 1. niniejszej publikacji). Badania wykonano z wykorzystaniem różnych średnic dysz drukujących, różnych rodzajów wypełnienia, różnego stopnia wypełnienia próbek oraz różnych kierunków druku. W niniejszym artykule przedstawiono w postaci skróconej porównanie badanych temperatur dla różnych sposobów formowania próbek oraz, w przypadku temperatury HDT, w funkcji średnicy dyszy drukującej.

### BADANIA

Do badań wykorzystano dziewięć polimerów termoplastycznych, oferowanych przez firmę 3D Printers: PLA, PLA-X, ABS-X, ASA-X, PC-ABS, HIPS, PP, PET-G, TPU. Podstawowe właściwości tych materiałów przedstawiono w części 1. niniejszej publikacji w tabeli 1.

Tabela 1. Stałe parametry drukowania próbek do badań na drukarce HBOT 3D F300

Parametr	Wielkość
Stopień wypełnienia próbek [%]	100
Rodzaj wypełnienia	liniowe
Kierunek drukowania próbek	poziomy
Prędkość drukowania [mm/s]	50

Tabela 2. Zmienne parametry drukowania próbek do badań na drukarce HBOT 3D F300

parametr ↓	polimer →	PLA	PLAx	ABSx	ASAx	PC-ABS	HIPS	PET-G	PP	TPU
Temperatura stołu roboczego [°C]		60	60	80	75	90	75	70	95	65
Temperatura dyszy [°C]		245	280	275	285	300	285	285	245	245
Średnica dyszy [mm]		$d_1 = 0,40$ mm, $d_2 = 0,60$ mm, $d_3 = 0,80$ mm, $d_4 = 1,0$ mm								
Wysokość warstwy [mm]		$h_1 = 0,20$ mm (dla $d_1$ ), $h_2 = 0,33$ mm (dla $d_2$ ), $h_3 = 0,45$ mm (dla $d_3$ ), $h_4 = 0,60$ mm (dla $d_4$ )								

Próbki do badań wydrukowano za pomocą drukarki HBOT 3D F300. Dokładność jej druku (podana przez producenta) wynosi  $\pm 0,1$  mm. Pole robocze drukarki to 300x300x300 mm. Platforma robocza została wykonana ze szkła borokrzemowego. Średnica filamentu wynosiła 2,85 mm. Próbki do badań drukowano przy parametrach drukowania przedstawionych w tabelach 1 oraz 2. Po procesie drukowania próbek nie poddawano żadnej obróbce wykończeniowej. Pozostawiono je na 72 godziny w celu wysezonowania i przystąpiono do badań, opisanych poniżej.

Przedstawione wyniki dotyczą próbek z liniowym rodzajem wypełnienia, 100% stopniem wypełnienia i poziomym kierunkiem druku (próbki drukowane płasko na stole). Próbki te charakteryzowały się generalnie najlepszymi właściwościami mechanicznymi.

W celu porównania właściwości wyrobów drukowanych oraz wtryskowych, zgranulowano po 1 kg filamentu każdego polimeru i tak uzyskany granulat wtrysnięto na wtryskarce Battenfeld Plus 350/75, uzyskując odpowiednie kształtki do badań. Parametry wtryskiwania dla poszczególnych polimerów przedstawiono w części 1. niniejszej publikacji w tabeli 4.

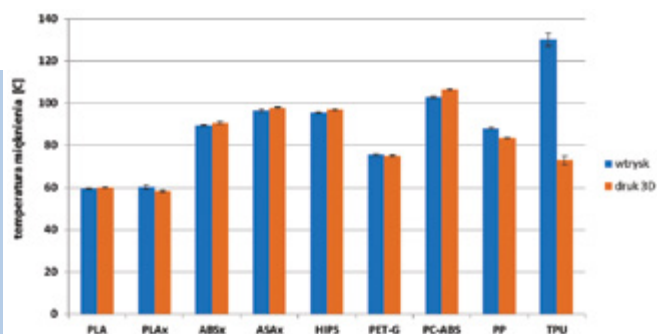
Analiza wybranych właściwości cieplnych próbek drukowanych obejmowała badania:

1. Temperatury mięknięcia wg Vicata (ST): Pomiaru temperatury mięknięcia dokonano z wykorzystaniem aparatu Vicat/HDT prod. Strefa usług 3D 2018. Badania temperatury mięknięcia wykonano przy obciążeniu próbek równym 10 N przy szybkości narastania temperatury oleju silikonowego równej 50°C/h. Dla każdej serii pomiarowej badano 6 próbek.
2. Temperatury ugięcia pod obciążeniem (HDT): Pomiaru temperatury ugięcia pod obciążeniem dokonano z wykorzystaniem aparatu Vicat/HDT prod. Strefa usług 3D 2018. Badania HDT wykonano przy obciążeniu próbek równym 1,8 MPa przy szybkości narastania temperatury oleju silikonowego równej 120°C/h. Dla każdej serii pomiarowej badano 6 próbek.

## WYNIKI

### Temperatura mięknięcia

Wykonano badania temperatury mięknięcia dla próbek drukowanych oraz dla próbek wtryskowych. Ponieważ pomiar tem-



Rys. 1. Porównanie temperatury mięknięcia dla badanych materiałów dla próbek uzyskanych wtryskowo oraz za pomocą druku 3D

peratury mięknięcia ma charakter punktowy (igła o przekroju 1 mm<sup>2</sup> pod obciążeniem 10 N zagłębia się w materiał w danym miejscu na powierzchni próbki pod wpływem wzrastającej temperatury), pomiaru tego dokonano (dla próbek drukowanych) tylko dla próbek ze 100% wypełnieniem, który charakteryzował się dla poszczególnych materiałów najwyższymi parametrami wytrzymałościowymi. Poniżej porównano wyniki tak przeprowadzonych pomiarów z wynikami pomiarów dla próbek wtryskowych.

Na rysunku 1 przedstawiono porównanie wartości temperatur mięknięcia zmierzonych dla próbek wtryskowych oraz uzyskanych za pomocą technologii druku 3D.

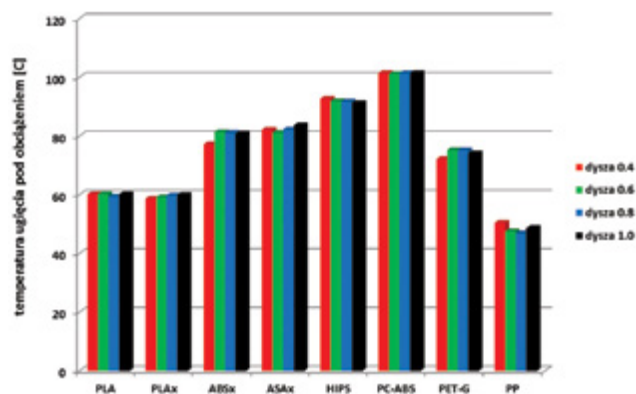
Najwyższą temperaturą mięknięcia (ponad 100°C) charakteryzuje się PC/ABS, następnie ASAx, HIPS oraz ABSx (ponad 90°C), potem PP oraz PET-G (ok. 80°C). Najniższe temperatury mięknięcia zmierzono dla PLA oraz PLAx i są one rzędu 60°C.

Zaobserwować można, iż wartości temperatury mięknięcia są praktycznie jednakowe dla próbek wtryskowych oraz drukowanych. Różnice wynoszą od 0,5 do 5°C z tym, że dla niektórych materiałów (PLAx, PET-G oraz PP) temperatury mięknięcia są nieznacznie wyższe dla próbek wtryskowych, a dla pozostałych polimerów widzimy tendencję odwrotną. Wyjątkiem jest TPU, dla którego temperatura mięknięcia dla próbek wtryskiwanych jest prawie dwukrotnie większa niż dla próbek drukowanych i wynosi 130°C.

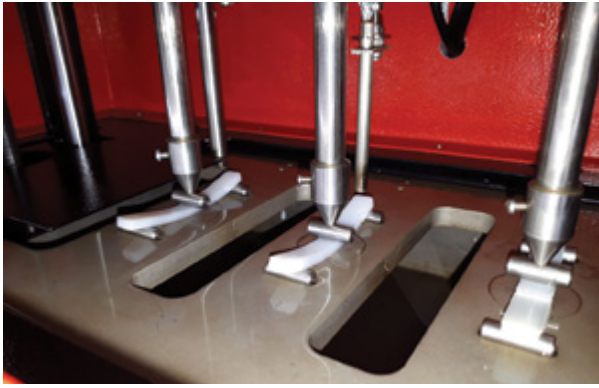
### Temperatura ugięcia pod obciążeniem

Na rysunku 3 przedstawiono zbiorczo wartości temperatury HDT dla dziewięciu badanych polimerów.

Polimery PLA oraz PLAx mają bardzo zbliżone właściwości mechaniczne oraz termiczne, również temperatura HDT w obu przypadkach równa jest ok. 60°C. Temperatura ugięcia dla ABSx oraz ASAx (również polimery bardzo zbliżone pod względem różnych innych zmierzonych właściwości) wynosi ok. 80°C. HIPS charakteryzuje się temperaturą HDT ok. 90°C, natomiast PC/ABS – 100°C. Obserwujemy ponadto, iż średnica dyszy drukującej praktycznie nie ma wpływu na temperaturę ugięcia HDT.



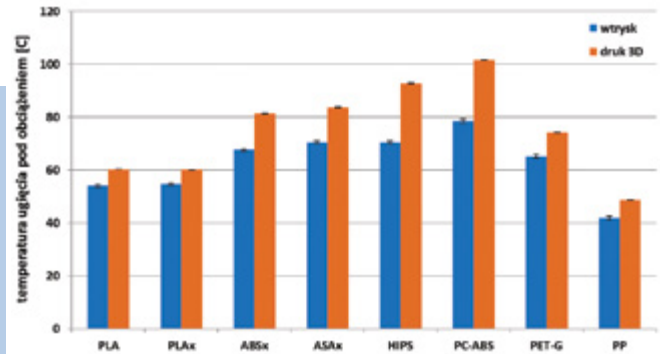
Rys. 3. Wyniki pomiarów temperatury ugięcia pod obciążeniem HDT dla wszystkich badanych polimerów w funkcji średnicy dyszy drukującej



Rys. 4. Pomiar temperatury HDT dla polimeru TPU

Można ponadto zauważyć, że w przypadku temperatury HDT występuje pewna odwrotna zależność w stosunku do modułu sztywności oraz twardości polimerów (p. poprzedni artykuł część 1.). Im badany materiał jest bardziej sztywny, tym ma mniejszą temperaturę ugięcia pod obciążeniem. I tak, pomijając w rozważaniach PP oraz TPU, najmniejsze temperatury HDT mają PLA oraz PLAx, nieco większe – PET-G, ABSx oraz ASAx. Najwyższymi temperaturami HDT charakteryzują się PC-ABS oraz HIPS, które miały najmniejszy moduł sztywności oraz twardość.

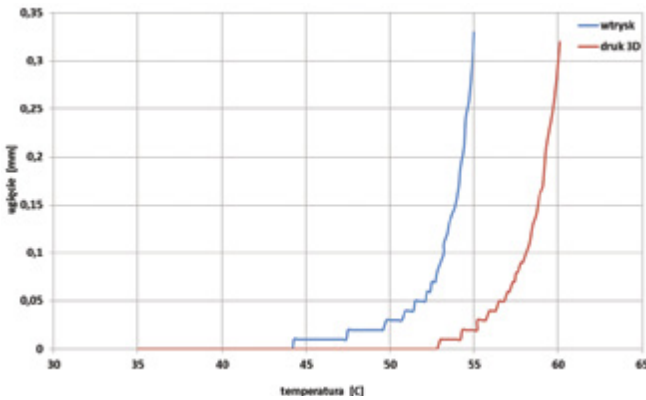
W ramach badań wykonano również badania temperatury ugięcia pod obciążeniem HDT dla polimeru TPU.



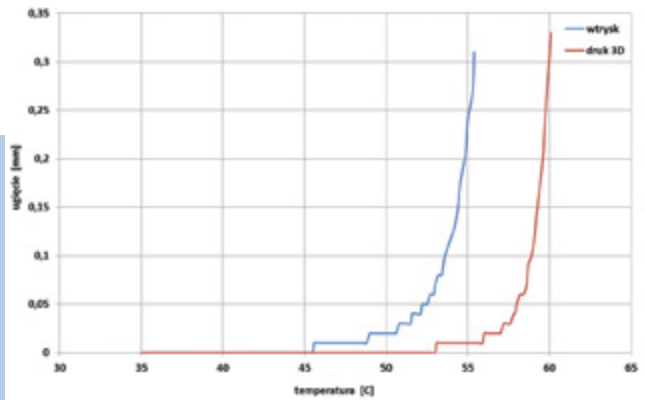
Rys. 5. Porównanie temperatury HDT dla próbek wtryskiwanych oraz drukowanych

W przypadku tego materiału nie można było dokonać skutecznych pomiarów z powodu bardzo dużej elastyczności próbek. Na rysunku 4 widać, iż próbki z TPU po umieszczeniu w odpowiednich miejscach aparatu odkształciły się tak mocno, iż dolną swoją częścią dotykały płyty aparatu. Uniemożliwiło to pomiary ugięcia, gdyż już na starcie próbki osiągnęły maksymalne ugięcie.

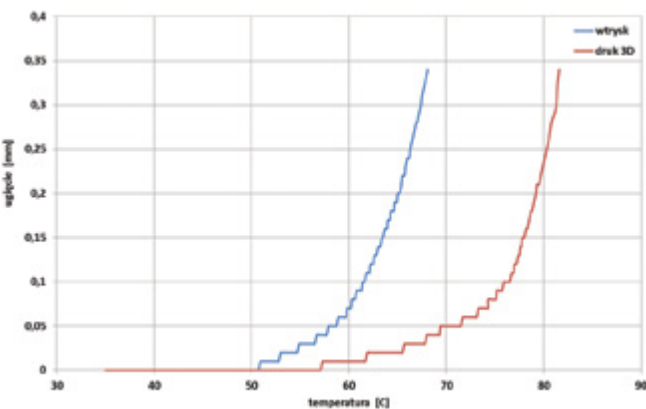
Porównując temperatury ST oraz HDT dla poszczególnych polimerów, zaobserwować można, iż dla PLA, PLAx oraz PET-G temperatury te są praktycznie takie same. Ale dla pozostałych polimerów temperatury mięknienia są wyższe, i tak dla HIPS



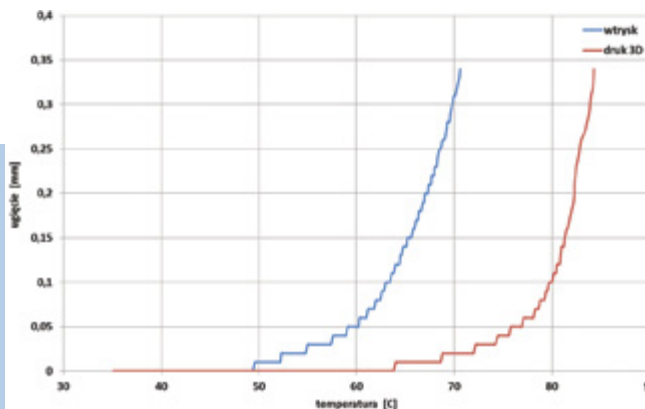
Rys.6. Zmiana ugięcia belki w funkcji wzrostu temperatury dla próbek PLA wtryskowych oraz drukowanych podczas pomiaru temperatury ugięcia pod obciążeniem



Rys. 7. Zmiana ugięcia belki w funkcji wzrostu temperatury dla próbek PLAx wtryskowych oraz drukowanych podczas pomiaru temperatury ugięcia pod obciążeniem



Rys. 8. Zmiana ugięcia belki w funkcji wzrostu temperatury dla próbek ABSx wtryskowych oraz drukowanych podczas pomiaru temperatury ugięcia pod obciążeniem



Rys. 9. Zmiana ugięcia belki w funkcji wzrostu temperatury dla próbek ASAx wtryskowych oraz drukowanych podczas pomiaru temperatury ugięcia pod obciążeniem

i PC-ABS jest to różnica ok. 5°C, dla ABSx oraz ASAx – kilkanaście stopni, a dla PP – ponad 30°C. Jest to efekt spodziewany, gdy przyjmie się, iż ST wskazuje na najwyższą krótkotrwałą temperaturę pracy, natomiast HDT – najwyższą długotrwałą temperaturę użytkowania.

Na rysunku 5 przedstawiono porównanie temperatur ugięcia pod obciążeniem dla próbek uzyskanych wtryskowo oraz drukowanych.

Widzimy, że we wszystkich przypadkach temperatura HDT dla próbek wtryskowych jest o ok. 10–20°C niższa niż dla próbek drukowanych, przy czym im wyższa jest temperatura ugięcia dla danego polimeru, tym większa jest również różnica temperatur.

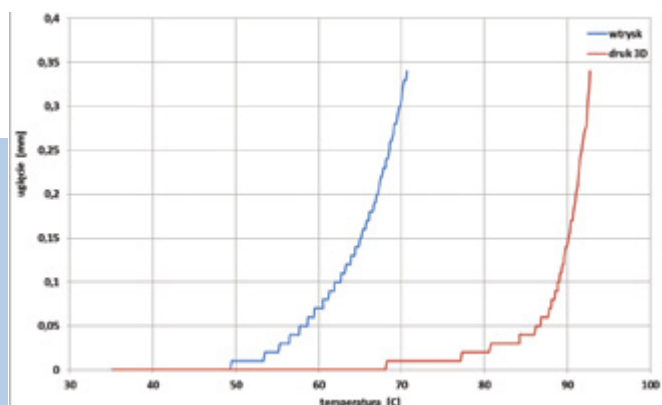
W celu wyjaśnienia takiego zachowania materiałów przeanalizowano dodatkowo zależności zmiany ugięcia próbek polimerów w funkcji zmiany temperatury. Wyniki przedstawiono na rysunkach 6–13.

Dla wszystkich polimerów zaobserwować można, iż na początku przyrost ugięcia w funkcji temperatury jest niewielki (ok. 0,05 mm/10°C), natomiast podczas dalszego narastania temperatury mocno przyspiesza, co jest efektem spodziewanym. Różnice temperatur HDT dla próbek drukowanych i wtryskowych (dla ugięcia wskazującego koniec pomiaru HDT równego 0,34 mm) wynoszą od 10°C dla PLA i PLAx, poprzez ok. 15°C dla ABSx, ASAx i PET-G aż do 25°C dla HIPS oraz PC/ABS. Widać też, że dla niektórych polimerów (jak ABSx, HIPS czy PA/ABS) szybkość narastania ugięcia dla próbek wtryskowych jest

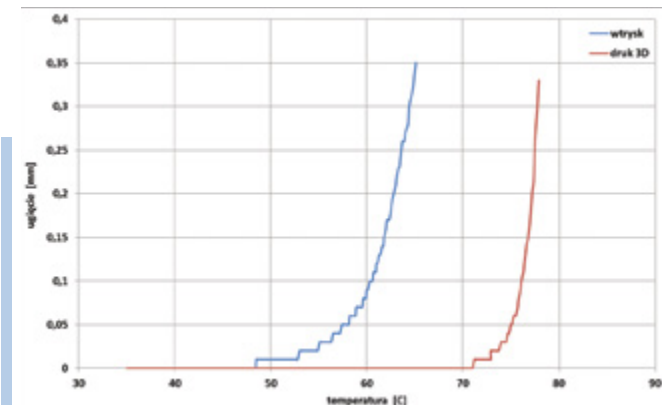
zdecydowanie większa niż dla próbek drukowanych. Dla pozostałych polimerów szybkość ta jest porównywalna, a dla PET-G jest odwrotnie.

Generalnie różnice w temperaturach ugięcia pod obciążeniem dla tego samego materiału przetwarzanego przy pomocy technologii wtryskiwania oraz druku 3D są skutkiem metody kształtowania próbek. W przypadku wtryskiwania mamy do czynienia z litym materiałem próbki. Natomiast drukując próbki w technologii FDM, mamy w pewnym sensie proces nakładania cienkich włókien polimeru jednego na drugim. O ile w przypadku badania punktowego, jakim jest pomiar temperatury mięknięcia, nie ma to znaczenia, o tyle w przypadku pomiaru temperatury ugięcia pod obciążeniem belki z danego polimeru, który wytworzony został poprzez nakładanie „włókien” polimeru jednego na drugim aż do uzyskania pełnej próbki, a następnie pomiarze ugięcia w kierunku prostopadłym do kierunku ułożenia „włókien”, może to mieć duże znaczenie, jak pokazują wyniki badań.

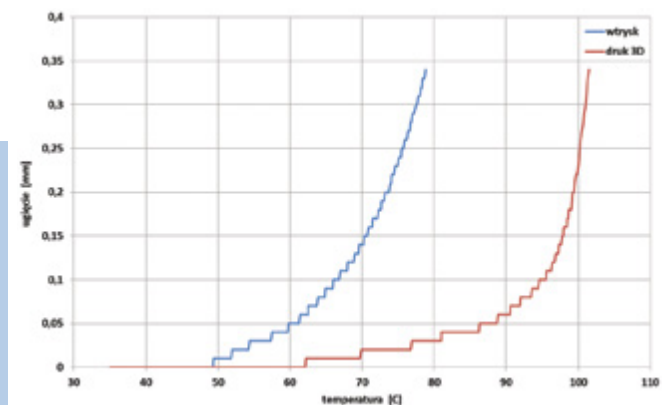
Wszystkie te obserwacje nasuwają jeszcze jeden wniosek, iż możliwe może być w pewnym zakresie sterowanie właściwościami materiału poprzez regulację szybkości podawania polimeru w głowicy drukującej. Im bowiem większa będzie prędkość podawania materiału, tym jego cząsteczki będą bardziej uporządkowane i tym lepsze powinny mieć właściwości wytrzymałościowe. Badania takie zostały już przeprowadzone i faktycznie potwierdzają powyższą tezę. Ich wyniki zostaną opublikowane w następnym artykule.



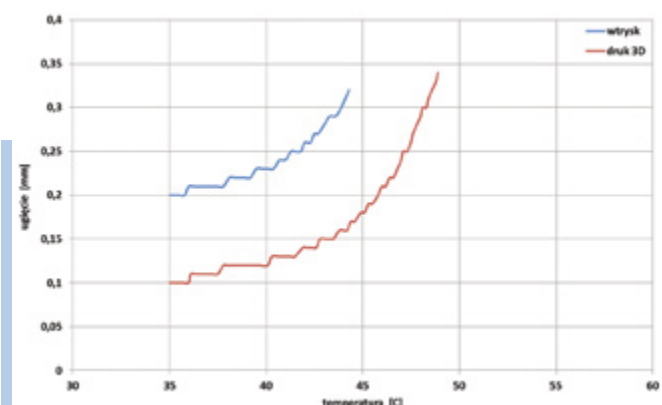
Rys. 10. Zmiana ugięcia belki w funkcji wzrostu temperatury dla próbek HIPS wtryskowych oraz drukowanych podczas pomiaru temperatury ugięcia pod obciążeniem



Rys. 11. Zmiana ugięcia belki w funkcji wzrostu temperatury dla próbek PET-G wtryskowych oraz drukowanych podczas pomiaru temperatury ugięcia pod obciążeniem



Rys. 12. Zmiana ugięcia belki w funkcji wzrostu temperatury dla próbek PC/ABS wtryskowych oraz drukowanych podczas pomiaru temperatury ugięcia pod obciążeniem



Rys. 13. Zmiana ugięcia belki w funkcji wzrostu temperatury dla próbek PP wtryskowych oraz drukowanych podczas pomiaru temperatury ugięcia pod obciążeniem

**PODSUMOWANIE**

W ramach przeprowadzonych badań wyznaczono wybrane właściwości cieplne dziewięciu najczęściej stosowanych polimerów termoplastycznych stosowanych w technice FDM. Badano temperaturę mięknięcia (ST) oraz temperaturę ugięcia pod obciążeniem (HDT) wykonanych próbek w funkcji średnicy dyszy drukującej (tylko HDT) oraz sposobu kształtowania próbek. Z przedstawionych wyników widać, iż średnica dyszy drukującej nie ma praktycznie wpływu na HDT. Porównano ponadto ST oraz HDT próbek drukowanych oraz wtryskowych. Znacznie wyższą temperaturę HDT wykazywały próbki drukowane, w przypadku ST sposób formowania próbek nie miał praktycznie wpływu na jej wartość z wyjątkiem TPU.

**LITERATURA**

- [1] Y. Bozkurt, E. Karayel: (2021), 3D printing technology; methods, biomedical applications, future opportunities and trends, *Journal of Materials Research and Technology* Vol. 14, pp. 1430–1450.
- [2] C. Buchanan, L. Gardner: (2019), Metal 3D printing in construction: a review of methods, research, applications, opportunities and challenges”, *Engineering Structures*, Vol. 180, pp. 332–348.
- [3] S. Curran, P. Chambon, R. Lind, L. Love i in.: (2016), Big area additive manufacturing and hardware-in-the-loop for rapid vehicle powertrain prototyping: a case study on the development of a 3-D-printed Shelby cobra, *SAE Tech Papers* 0328.
- [4] A. Zadpoor, J. Malda: (2016), Additive manufacturing of biomaterials, tissues, and organs, *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 45, pp.1–11.

- [5] R. Kristiawan, F. Imaduddin, D. Ariawan, U. Sabino, Z. Arifin: (2021), A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: filament processing, materials, and printing parameters, *Open Engineering*, Vol. 11, pp. 639–649.
- [6] T.D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K.T.Q. Nguyen, D. Hui: (2018), Additive manufacturing (3D printing): a review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, Vol. 143, pp. 172–196.
- [7] C. Shemelya, A. De La Rosa, A.R. Torrado, K. Yu i in.: (2017), Anisotropy of thermal conductivity in 3D printed polymer matrix composites for space based cube satellites. *Additive Manufacturing*, Vol. 16, pp. 186–196.
- [8] W. Zhang, A.S. Wu, J. Sun, Z. Quan i in.: (2017), Characterization of residual stress and deformation in additively manufactured ABS polymer and composite specimens, *Composites Science and Technology*, Vol. 150, pp. 102–110.
- [9] A. D’Amico, A. Debaie, A. Peterson: (2017), Effect of layer thickness on irreversible thermal expansion and interlayer strength in fused deposition modelling, *Rapid Prototyping*, Vol. 23 No. 5, pp. 943-953.

---

Artykuł powstał we współpracy Politechniki Wrocławskiej z Politechniką Poznańską.

---

**dr inż. Jacek Iwko****dr inż. Oliwia Trzaska**

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

**dr inż. Mariola Robakowska**

Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej  
ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań

INFORMACJA PRASOWA

**Trwa rejestracja na Plastics Industry Meeting 2023**

Jak rynek tworzyw sztucznych może się rozwijać w zrównoważonej gospodarce? Trwa rejestracja na Plastics Industry Meeting 2023.

Kryzys energetyczny, globalne i europejskie wyzwania ekonomiczne, ambitne cele klimatyczne, zmieniające się otoczenie legislacyjne, sposoby zwracania surowca do obiegu i wizerunek branży tworzyw sztucznych – to tylko niektóre z zagadnień, jakie 19 września 2023 r. w Warszawie poruszą uczestnicy Plastics Industry Meeting 2023.

Plastics Industry Meeting to doroczna konferencja branżowa organizowana przez Polski Związek Przetwórców Tworzyw Sztucznych oraz Fundację PlasticsEurope Polska. W szerokim gronie przedstawicieli całego łańcucha wartości tworzyw sztucznych po raz szesnasty poruszone zostaną najważniejsze aktualne zagadnienia dotyczące branży. – Coroczne spotkania to niezastąpiona okazja do tego, aby branża się od siebie uczyła, wzajemnie napędzała się do rozwoju i skutecznie dostosowywała do aktualnych wyzwań. W obecnej sytuacji gospodarczej współpraca i spójne działania są konieczne bardziej niż kiedykolwiek dotąd, dlatego liczymy na zaangażowany udział liderów całej polskiej branży tworzywowej – mówi Robert Szyman, Dyrektor Generalny Polskiego Związku Przetwórców Tworzyw Sztucznych.

W tym roku eksperci z branży będą dyskutować pod hasłem przewodnim „Tworzywa sztuczne – drogi rozwoju w zrównoważonej gospodarce”. – Kierunek obrany przez Europę jest jasny

i prowadzi do osiągnięcia cyrkularności i zeroemisyjności. Branża tworzyw sztucznych, by sprostać stawianym wyzwaniom, współpracuje innowacyjne rozwiązania i przyspiesza transformację. O tym, jak to robimy i czego potrzebujemy, by nie stracić konkurencyjności europejskiego przemysłu, będziemy rozmawiać podczas najnowszej edycji Plastics Industry Meeting – mówi Anna Kozera-Szałkowska, Dyrektor Zarządzająca Fundacji PlasticsEurope Polska.

Doroczne wydarzenie to okazja do wymiany cennych doświadczeń oraz zdobycia aktualnej wiedzy opatrzonej komentarzami wiodących ekspertów z branży. O stanie polskiej gospodarki i jej najbliższych perspektywach opowie Jeremi Mordasewicz z Konfederacji Lewiatan. Sytuację przemysłu tworzyw sztucznych w Polsce i Europie przedstawią Tadeusz Nowicki, Prezes Polskiego Związku Przetwórców Tworzyw Sztucznych oraz Umberto Credali, Prezes Fundacji PlasticsEurope Polska. W dwóch debatach prelegenci będą dyskutować o rozwoju branży w świetle globalnych wyzwań, a także o sposobach optymalnego wykorzystania tworzyw w GOZ. Pełny program dostępny jest na stronie: <https://plasticseurope.org/pl/events/plastics-industry-meeting-2023/>.

Rejestracja na wydarzenie oraz informacja o opłatach konferencyjnych pod adresami: [connect.pl@plasticseurope.org](mailto:connect.pl@plasticseurope.org) oraz [office@tworzywa.org.pl](mailto:office@tworzywa.org.pl).

**Źródło: [www.tworzywa.pl](http://www.tworzywa.pl)**



## STUDIA PODYPLOMOWE

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza ogłasza nabór na zaoczne, 2-semestralne, specjalistyczne studia podyplomowe z zakresu „Konstrukcja Form Wtryskowych” prowadzone przez Katedrę Przeróbki Plastycznej.

Szczegółowy program studiów oraz warunki naboru znajdują się na stronie Uczelni: <https://kfw.prz.edu.pl/rekrutacja>  
Zgłoszenia będą przyjmowane do 30 września 2023 r.

Bliższe informacje można uzyskać: tel. (17) 865 1714, (17) 8651505, e-mail: [wf@prz.edu.pl](mailto:wf@prz.edu.pl).

### PROFIL KANDYDATA

Studia przeznaczone są dla osób z wykształceniem:

- wyższym technicznym,
- wyższym i uzupełniającym technicznym (studia podyplomowe),
- wyższym wraz z udokumentowanym doświadczeniem zawodowym w branży technicznej) zamierzających specjalizować się w przetwórstwie tworzyw sztucznych ze szczególnym zwróceniem uwagi na proces formowania wtryskowego.

### REKRUTACJA

Proces rekrutacji na studia podyplomowe nie obejmuje egzaminów wstępnych.

W przypadku dużej liczby kandydatów o przyjęciu decydować będzie kolejność zgłoszeń.

Rejestracja kandydatów odbywa się poprzez SYSTEM INTERNETOWEJ REKRUTACJI od 21.07.2023 do 30.09.2023.

### ORGANIZACJA STUDIÓW

Studia podyplomowe rozpoczynają się w październiku 2023 r. i trwają przez dwa semestry do czerwca 2024 r. Obejmują 225 godzin zajęć w formie wykładów, ćwiczeń oraz zajęć laboratoryjnych. Zajęcia odbywają się dwa razy w miesiącu (w piątki: po godz. 16.00 i w soboty w godz. 8:30-17:00), w salach wykładowych oraz laboratoryjnych Politechniki Rzeszowskiej.



**POLITECHNIKA  
RZESZOWSKA**  
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



## KONSTRUKCJA FORM WTRYSKOWYCH

# Zapraszamy!





# tworzywa.org

Portal branży tworzyw



[www.tworzywa.org](http://www.tworzywa.org) | [redakcja@tworzywa.org](mailto:redakcja@tworzywa.org)

tel. 52 343 73 35 | fax 52 561 02 37

85-758 Bydgoszcz, ul. Przemysłowa 8C



*enjoy*  
**INNOVATION**



**TEMPRO plus**  
Temperature controllers



# 7 sposobów na skrócenie czasu przestoju w produkcji dzięki usługom cyfrowym OTTO firmy Busch



Przestój podczas produkcji w fabryce to znaczący i kosztowny problem i dlatego należy zapobiegać jego wystąpieniu. Inteligentne rozwiązania IoT mogą pomóc w redukcji czasu przestoju i wpłynąć na znaczące oszczędności. OTTO to innowacyjna usługa cyfrowa firmy Busch Vacuum Solutions. Łączy monitorowanie stanu pomp próżniowych z atrakcyjnymi pakietami usług. Zapewnia to większą niezawodność procesu i obniża koszty posiadania w zakładach produkcyjnych.

**P**ulpit nawigacyjny IoT firmy Busch i aplikacja Busch Vacuum App stale śledzą dane dotyczące pomp. Dzięki zebranych informacjom można analizować parametry i optymalizować proces. Dane są przechowywane w chmurze Busch za pośrednictwem połączenia mobilnego. Urządzenie IoT box stale monitoruje stan procesu i warunki pracy pomp próżniowych. Są to na przykład temperatura otoczenia, temperatura oleju i czas pozostały do kolejnej konserwacji pompy próżniowej.

OTTO wykrywa potencjalne problemy, zanim staną się one rzeczywistością. Pozwala to na uniknięcie ryzyka i kosztów związanych z nieplanowanymi przestojami.

Czas przestoju w produkcji to jedno z największych zagrożeń w branży produkcyjnej. Od awarii sprzętu po braki surowców: każdy czas przestoju w produkcji może skutkować znacznymi stratami w przychodach i udziale w rynku.

Dlatego zapobieganie przestojom w produkcji ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia produktywności.

Zachęcamy do postępowania zgodnie z naszymi siedmioma wskazówkami, aby skrócić czas przestoju maszyn na linii produkcyjnej.

## 1. Opracowanie systemu szybkiego identyfikowania i rozwiązywania problemów produkcyjnych

System powinien gromadzić i analizować dane, które zapewniają wgląd w całościowe wymagania konserwacyjne sprzętu. Interpretacja danych może pomóc pracownikom w rozwiązaniu problemów produkcyjnych poprzez przeprowadzenie konserwacji zapobiegawczej. Wdrożenie takiego systemu pozwala zakładom produkcyjnym na skrócenie czasu przestoju spowodowanych problemami produkcyjnymi i zapobieganie kosztownym nieplanowanym przestojom, dzięki ostrzeganiu pracowników o potencjalnych zbliżających się awariach sprzętu.



## 2. Wykorzystanie analityki predykcyjnej do identyfikacji potencjalnych problemów jeszcze przed ich wystąpieniem

Analityka predykcyjna wykrywa w czasie rzeczywistym wzorce w danych maszynowych, które mogą prowadzić do wystąpienia problemu. Analizując dane, można uzyskać z kilkutymgodniowym wyprzedzeniem informację na temat, które części maszyny mogą ulec awarii. Pozwala to zaplanować harmonogramy konserwacji i zamówić części zamienne z wyprzedzeniem, co skutecznie skróci czas przestoju i zmniejszy prawdopodobieństwo ponownego wystąpienia problemów.

## 3. Wdrożenie programu konserwacji zapobiegawczej

Programy konserwacji zapobiegawczej są jednym z najskuteczniejszych sposobów na zminimalizowanie nieplanowanych przestoju maszyn.

Można rutynowo zbierać cenne informacje na temat swojego sprzętu, aby zapewnić systematyczne podejście do konserwacji. Odpowiednio ukierunkowana konserwacja umożliwi reagowanie na przewidywane awarie sprzętu lub wypadki, zanim do nich dojdzie. Dzięki ograniczeniu ryzyka nieoczekiwanych czasów przestoju pracownik może skupić się na bardziej dochodowych zadaniach.

## 4. Stworzenie systemu radzenia sobie z usterkami i problemami w miarę ich pojawiania się

Posiadanie systemu, który śledzi i monitoruje usterki w miarę ich pojawiania się, pozwala na zidentyfikowanie pierwotnej przyczyny problemu na linii produkcyjnej. Można dzięki temu zrozumieć, w jaki sposób dochodzi do awarii produkcyjnych i jak zapobiec ich ponownemu wystąpieniu. Ogranicza to nieplanowany czas przestoju maszyny, zwiększając jednocześnie wydajność produkcji.



### 5. Automatyzacja jak największej liczby procesów w celu zmniejszenia liczby błędów ludzkich

Można skrócić czas przestoju i zwiększyć wydajność procesu produkcyjnego, automatyzując powtarzalne i żmudne zadania, które są podatne na błędy człowieka.

Dzięki temu pracownicy będą mieli więcej czasu, aby skupić się na dochodowych zadaniach i rozwijać swoje umiejętności, co przełoży się na większe zyski firmy i pokaże pracownikom, że są najcenniejsi.

### 6. Szkolenie dla użytkowników w zakresie prawidłowej obsługi sprzętu

Szkolenie dla użytkowników w zakresie prawidłowego użytkowania sprzętu może znacznie skrócić czas przestoju w procesie produkcyjnym. Jeśli operatorzy wiedzą, jak prawidłowo używać sprzętu, rzadziej zatrzymują produkcję i mogą szybciej reagować w sytuacjach awaryjnych. Odpowiednie szkolenie zapobiega również nieplanowanym przestojom spowodowanym błędami ludzkiemi i zmniejsza ryzyko wypadków w miejscu pracy.

### 7. Korzystanie z inteligentnych rozwiązań IoT

Czy sześć wskazówek to za dużo? W takim razie można skorzystać ze wskazówki nr 7, aby uzyskać rozwiązanie typu „wszystko w jednym”!

Inteligentne rozwiązania IoT pomagają skrócić czas przestoju dzięki systemowi, który umożliwia szybką identyfikację i rozwiązywanie problemów produkcyjnych (wskazówka 1). Monitoruje i śledzi sprzęt i proces za pomocą analityki predykcyjnej, pozwalając tworzyć harmonogram konserwacji i zamawiać niezbędne części zamiennie z wyprzedzeniem (wskazówka 2). Czujniki i analityka danych umożliwiają IoT ciągłe śledzenie i monitorowanie



danych dotyczących wydajności i optymalizacji. Pozwala to wdrażać konserwację zapobiegawczą (wskazówka 3) i przewidywać potencjalne problemy w miarę ich pojawiania się (wskazówka 4), co skutecznie zmniejsza częstotliwość planowanych lub nieplanowanych czasów przestoju. System IoT umożliwi również automatyzację zadań, skracając czas ich realizacji, a w rezultacie zwiększając produktywność i zmniejszając liczbę błędów ludzkich (wskazówka 5). Dzięki przyjaznym dla użytkownika narzędziom łatwo nauczyć się obsługi IoT. Pracownicy w krótkim czasie będą w stanie prawidłowo z niego korzystać (wskazówka 6).

Może warto zoptymalizować swój proces, instalując system IoT?

**Busch Polska Sp. z o.o.**

**Nowa Wieś, ul. Dedala 7, 87-853 Kruszyn, Polska**

**tel. +48 54 231 54 00**

**www.buschvacuum.com**

REKLAMA

PPH COOL

Lider w produkcji i sprzedaży chillerów z ekologicznym czynnikiem R290

To my oswoiiliśmy propan!

**Seria AQUACOOl GREEN**  
Modele wysoko- i średniotemperaturowe VCGN / VCGV ze sprężarkami tłokowymi i śrubowymi o wydajności chłodniczej 35-512 kW.



**SWG MINI**  
Modele wysokotemperaturowe i średniotemperaturowe o wydajności chłodniczej 10-40 kW.



**VCGF**  
Modele z funkcją Free Cooling o wydajności chłodniczej 60-180 kW.



Cool®

PPH COOL ■ ul. Lipowa 10 ■ 05-123 Chotomów  
tel. 22 772 64 18 ■ cool@cool.pl

cool.pl

# PLASTPOL 2023 – milionowe kontrakty i wspaniała atmosfera

Ponad 600 firm z całego świata i wszystkie 7 hal wystawienniczych – to wynik tegorocznej edycji Targów Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych i Gumi Plastpol. Wydarzenie, organizowane w Targach Kielce od 27 lat, powróciło do swojej przedpandemicznej formy, utrzymując swój międzynarodowy prestiż.

**D**la branży przetwórczej te kilka dni spędzonych w Targach Kielce podczas Plastpolu stanowi niemalże święto. Najlepszym dowodem na to jest unikatowa atmosfera mobilizacji do działania, chęci spotkań i nawiązywania kontaktów.

– Podczas tegorocznego Plastpolu mieliśmy okazję pić gratulacyjny szampana, ponieważ udało nam się sprzedać kilka maszyn. Nie mówiąc o licznych zainteresowanych – mówi Konrad Szymczak z firmy Arburg Polska.

– Nasze stoisko było pełne klientów, ale też osób, które chciałyby się dowiedzieć o naszych najnowszych technologiach, choćby w zakresie Przemysłu 4.0. Jeśli chodzi o same targi, to cała organizacja i infrastruktura, od służb pomocniczych po marketing i PR, wszystko wypada wspaniale. Jesteśmy co roku i w przyszłym też się wystawimy – zapewnia Adam Marciniak z firmy Engel Polska.

## KONTRAKTY WARTY MILIONY

Wydarzenia targowe to oprócz spotkań i kontaktów także dobra okazja do branżowych „przechwałek”. Dlatego też wiele firm decyduje się na podpisanie ważnych kontraktów właśnie podczas targów. Nie inaczej było i tym razem.

Wart 7 milionów euro kontrakt na zakup linii produkcyjnej podpisał z niemiecką firmą Reifenhäuser polski producent Bogucki folie. Rozmowy trwały przez kilka lat, a inwestycja ma wywindować firmę Bogucki na nowy poziom.

– Zakup ten pozwoli na zwiększenie produkcji dwukrotnie. Ważne jest zabezpieczenie łańcucha dostaw. Prowadzenie całej produkcji z jednej linii jest dosyć niebezpieczne. Musimy mieć osobną linię w pełni zdolną do przejścia ciężaru produkcji. Ten krok pozwoli nam uplasować się na pozycji lidera folii barierowych w Polsce i w tej części Europy – mówi Andrzej Bogucki, prezes firmy Bogucki Folie. – W przyszłości myślimy o takich rynkach jak Litwa, Ukraina, Łotwa, Estonia, czy nawet w przyszłości Białoruś. W naszym zasięgu jest także rynek „południowy”, czyli Rumunia, Bułgaria czy Chorwacja.

Przy okazji podpisania umowy swoją opinię na temat polsko-niemieckich relacji branżowych przedstawił CSO Reifenhäuser Group, Ulrich Reifenhäuser.

– Uważam, że polski rynek jest ważny. Zauważamy, jak szybko się rozwija, głównie po liczbie inwestycji, których polscy przedsiębiorcy dokonali w ostatnich latach. Przewiduję, że wkrótce Polska stanie się istotnym krajem dla niemieckiego przemysłu przetwórczego. Z powodu różnic w kosztach zużycia energii i logistyki polskie produkty z plastiku mają szansę niedługo zawojuwać niemiecki rynek – stwierdził Ulrich Reifenhäuser.

Podczas Plastpolu 2023 nastąpiło również podpisanie pierwszej umowy dystrybucyjnej pomiędzy polskim recyklerem tworzyw sztucznych ML Polyolefins a dystrybutorem z Europy Zachodniej, firmą Brenntag. Dzięki niej ML Polyolefins będzie



eksportował produkty do sześciu krajów: Danii, Szwecji, Finlandii, Norwegii, do Czech i Słowacji.

– Po stronie firmy Brenntag jest dotarcie do klientów, którzy te produkty będą mogli wykorzystywać. Ważne jest, by produkt spełniał wymagania klienta, a recykling i produkcja recyklatu, który dorównuje jakością produktom oryginalnym nie jest łatwa. Więc standaryzacja produktów z recyklatu wydaje się koniecznością, by z powodzeniem wprowadzać je na rynek – mówi Tomasz Mikulski, prezes zarządu ML Polyolefins w czasie konferencji prasowej.

Z kolei Sara Ghione, dyrektor w Brenntag Polymers EMEA zaznaczyła, że zdecydowali się na współpracę z ML Polyolefins, gdyż jest to bardzo dobrze funkcjonująca firma w branży recyklingowej. – Zapewnia wysokiej jakości produkt, który znajduje klientów – mówiła.

## BRANŻA NIE POWIEDZIAŁA JESZCZE OSTATNIEGO SŁOWA

Tradycyjnie, targi Plastpol rozpoczęły raport roczny branży przetwórczej, stworzony przez Fundację PlasticsEurope Polska. O ile w 2022 roku bilans handlu zagranicznego branży tworzyw sztucznych w Polsce był ujemny (1 mln 879 tys. ton), to jest to lepszy wynik, niż w roku 2021 dzięki mniejszemu o ok. 0,5 mln ton importowi polimerów i systematycznie rosnącemu eksportowi wyrobów z tworzyw sztucznych. Wzrosło też zatrudnienie.

Tegoroczny Plastpol był szczególnie ważny ze względu na zmiany geopolityczne w Europie, które rzutują na łańcuchy dostaw i rynki zbytu. Polska ma szansę zająć miejsce Rosji i Białorusi, jako kraju istotnego dla zagranicznego handlu tworzywami sztuczными i gumą. Dlatego też w tegorocznej edycji targów wzięli udział wystawcy z 29 państw. W halach Targów Kielce można było spotkać przedstawicieli firm z takich krajów jak: Indie, Turcja, Włochy, Niemcy, Portugalia, ale też Japonia, Korea Południowa, Tajwan i Chiny.

Więcej informacji znajdziecie Państwo na: [www.plastpol.com](http://www.plastpol.com) oraz na Profilu LinkedIn: <https://www.linkedin.com/showcase/plastpolfair>.

Kolejna edycja Targów Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych i Gumi Plastpol zaplanowana jest na 21–24 maja 2024.

**Targi Kielce S.A.**

# WITTMANN wtrysk wspomagany gazem AIRMOULD®



Wtrysk wspomagany gazem pojawił się w latach 80. ubiegłego wieku. Technologia zadomowiła się w bardzo wielu aplikacjach, stając się standardem wykorzystywanym w ich produkcji. Dziś technologia wtrysku z gazem jest bardzo często stosowana przez przetwórców w celu ograniczenia kosztów produkcji. Rzeczywiście w technologii tej zwykle zauważalna jest redukcja wagi wypraski, a co za tym idzie oszczędność materiałowa. Postrzeganie tej technologii jedynie przez ten aspekt byłoby jednak bardzo dużym uproszczeniem. Technologia wtrysku z gazem pozwala zredukować koszty produkcji także poprzez: zmniejszenie siły zamykania wtryskarki wymaganej do realizacji projektu, skrócenie czasu cyklu, redukcję ilości braków produkcyjnych.

Z biegiem lat technologia ewoluowała i dziś znanych jest kilka jej rodzajów. Wtrysk klasyczny, częściowego wypełnienia gniazda formy uzupełniony został o inne jak np. wtrysk z usuwaniem nadmiaru tworzywa do nadlewu.

Postęp technologiczny nie byłby możliwy bez rozwoju kompletnego wyposażenia potrzebnego do realizacji tej technologii. Firma Battenfeld, a potem WITTMANN od samego początku postawiły na stworzenie pełnego systemu. W ramach programu AIRMOULD oferujemy:

- kompresory i wytwornice azotu;
- zawory wykonawcze,
- osprzęt instalacyjny;
- dysze do zabudowy w formach wtryskowych.

W roku 2023 Wittmann wprowadził do oferty nową generację wyposażenia AIRMOULD-Next. W nowej generacji urządzeń zaproponowane zostały zawory wykonawcze o jeszcze bardziej kompaktowej budowie. Choć już poprzedni system słynął z zaworów wykonawczych, które można było umieszczać bezpośrednio w pobliżu formy wtryskowej, to nowe zawory, dzięki swym gabarytom nadają się idealnie do ustawienia bezpośrednio na formie wtryskowej. Zawór wykonawczy jest sercem systemu. To ten element odpowiada za ustawienie profilu ciśnienia gazu podawanego do formy. Ustawienie zaworu bezpośrednio przy punkcie podawania gazu nie tylko znacząco redukuje zużycie gazu, ale także ma bardzo pozytywny wpływ na dokładność i powtarzalność parametrów procesu.

Jeszcze większą zmianę wniosło zaproponowanie nowego układu sterowania procesem. Szczególnie w aplikacjach wymagających kilku miejsc podania gazu do detalu problemem było sterowanie wieloma zaworami wykonawczymi. Dla takich aplikacji oferowana była specjalna i kosztowna jednostka sterująca UNILOG Airmould. W nowej ofercie AIRMOULD-Next wykorzystano proste programatory ręczne, co znacząco obniżyło koszty samej inwestycji.

System AIRMOULD-Next to także nowa generacja wytwornicy azotu i kompresorów oraz komplet dysz przeznaczonych do wtrysku z gazem. Oferujemy zarówno dysze dla wtryskarek, jak i dysze do zabudowy w formie wtryskowej.

Mimo pełnego zakresu wyposażenia system AIRMOULD nie odniósłby sukcesu, gdyby nie wsparcie technologiczne WITTMANN i aktywna promocja tej technologii przetwórstwa.



Dla potrzeb naszych klientów stworzyliśmy program szkoleniowy rozpoczynający się od fazy projektowania wyrobu – zalecenia konstrukcyjne. Kontynuowany jest on przez fazę planowania produkcji – arkusze kalkulacyjne potrzebne do obliczenia zużycia gazu, zwrotu inwestycji w zakup wytwornicy azotu. Etap poznawania samej technologii – materiały pokazujące różne techniki wtrysku z gazem, opisujące wyposażenie potrzebne do realizacji projektu. I wreszcie etap prób technologicznych – zalecenia dla ustawiania procesu, tabela błędów etc. AIRMOULD-Next oznacza „Wszystko z jednej ręki”, co przekłada się bezpośrednio na bezpieczeństwo dla projektu.

WITTMANN AIRMOULD to kompletny system nie dlatego, że oferuje odpowiednie wyposażenie, ale dlatego, że daje kompletną wiedzę potrzebną przetwórcy do uruchomienia produkcji w tej technologii. Nasze doświadczenia połączone z wizją przetwórcy tworzą nowe aplikacje i rozszerzają świat przetwórstwa tworzyw.

**Wittmann Battenfeld Polska Sp. z o.o.**  
**05-825 Grodzisk Mazowiecki**  
**Adamowizna, ul. Radziejowicka 108**  
**tel. +48 22 724 38 07, +48 22 734 42 75**  
**info@wittmann-group.pl**  
**www.wittmann-group.pl**

# Spektrofotometr FTIR Shimadzu zwycięzcą konkursu PLASTPOL

Na tegorocznych Międzynarodowych Targach Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych i Gumy PLASTPOL firma „SHIM-POL A.M. Borzymowski” zdobyła główną nagrodę w kategorii techniki specjalne wystawiając aparaturę IRXross, czyli najnowszy spektrofotometr FTIR firmy Shimadzu Corporation. Marka ta, w swojej 150-letniej tradycji, kieruje się wartościami wnoszenia pozytywnego wkładu w dobrobyt społeczeństwa poprzez rozwój nauki i technologii - oferując szerokie portfolio wysokiej klasy aparatury do analizy chemicznej oraz wiedzy aplikacyjnej.



Zaprojektowany przez Shimadzu najnowszy spektrofotometr FTIR IRXross zapewnia imponująco wysoką wydajność, bardzo wysoki, najlepszy w swojej klasie stosunek sygnału do szumu, który wynosi ponad 55 000:1 i rozdzielczość na poziomie 0,25 cm<sup>-1</sup>. Bardzo wysoka szybkość pomiaru wynosząca do 20 widm na sekundę umożliwia śledzenie zmian w relatywnie szybkich reakcjach, na przykład polimeryzacji, z zachowaniem najwyższej czułości oraz znakomitej separacji pików.

Automatyczny osuszacz komory interferometru oraz najnowsze oprogramowanie IR Pilot zapewniają wyjątkową łatwość użytkowania, pozwalając na wykonywanie pomiarów wraz z ich oceną jakościową również mniej doświadczonym użytkownikom. Dodatkowym atutem są poprawiona ergonomia aparatu, nowoczesny wygląd oraz kompaktowe rozmiary zapewniające przyjemność użytkowania.

Dzięki przystawce ATR z kryształem diamentowym możliwe są szybkie analizy jakościowe i ilościowe wszelkiego rodzaju polimerów, jak i ich modyfikatorów bez konieczności czasochłonnego przygotowania próbki. IRXross można także rozbudować o zaawansowany system do mikroskopii IR, pozwalający na szczegółowe analizy mikropróbek, wtrąceń, zanieczyszczeń czy też mikroplastiku. Ponadto, jeszcze w tym roku układ będzie miał możliwość wzbogacenia o mikroskopię Ramana. Doskonałe parametry, niezawodność oraz łatwość obsługi sprawiły, że IRXross został doceniony na tegorocznych Targach Plastpol, jednak na uwagę zasługuje również fakt, iż spektrum zastosowań tej aparatury nie ogranicza się wyłącznie do tworzyw sztucznych.



W połączeniu z mikroskopem AIM-9000 jest doskonałym narzędziem do analizy mikroplastiku, ale również próbek biologicznych, włókien, zanieczyszczeń czy też bardzo cienkich warstw.

Firma „Shim-Pol A.M. Borzymowski” od ponad 35 lat jest dostawcą szerokiej gamy urządzeń i akcesoriów z obszaru chromatografii, spektroskopii, optyki, spektrometrii mas, bioanalyzerów, zaawansowanych analizatorów powierzchni, ale również maszyn wytrzymałościowych i zmęczeniowych (statyczne i dynamiczne) oraz ultraszybkich kamer. Oprócz naszego partnera Shimadzu są to rozwiązania m.in. firm: Kratos, Dr. Maisch, Biotage, Antec. Jesteśmy wyłącznym dystrybutorem aparatury Shimadzu w Polsce!

Bardzo dziękujemy targom PLASTPOL za wyróżnienie naszego bestselleru – spektrofotometru FTIR IRXross od Shimadzu!



**SHIM-POL A.M. Borzymowski**  
**E. Borzymowska-Reszka A. Reszka Spółka Jawna**  
 Siedziba firmy:  
 ul. Kochanowskiego 49A, 01-864 Warszawa  
 tel. +48 22 72 27 048  
 fax + 48 22 72 27 051  
 biuro@shim-pol.pl, www.shim-pol.pl

# Grupa Azoty Polyolefins S.A. zdobywa nagrody na 27. Targach Plastpol w Kielcach

Nowoczesny, strategiczny projekt produkcji tworzyw w polskim przemyśle oraz innowacyjna, elegancka i kompleksowa prezentacja targowa przyniosły Grupie Azoty Polyolefins S.A. dwie wyjątkowe nagrody na Targach Kielce.

**N**owoczesny, strategiczny projekt produkcji tworzyw w polskim przemyśle oraz innowacyjna, elegancka i kompleksowa prezentacja targowa przyniosły Grupie Azoty Polyolefins S.A. dwie wyjątkowe nagrody na Targach Kielce.

Polski przemysł chemiczny i tworzyw sztucznych ma powody do dumy. Grupa Azoty Polyolefins S.A., producent polipropylenu Gryfilen® w Europie Środkowo-Wschodniej, została uhonorowana dwiema prestiżowymi nagrodami na tegorocznych Targach Plastpol.

## **POLIMERY POLICE – NOWOCZESNY I STRATEGICZNY PROJEKT PRODUKCJI TWORZYW SZTUCZNYCH**

Projekt Polimery Police to strategiczna inwestycja realizowana przez Grupę Azoty Polyolefins S.A. Fabryka zlokalizowana w Policach będzie wykorzystywać najnowocześniejsze technologie, co umożliwi Grupie Azoty utrzymanie pozycji lidera w branży chemicznej oraz zaspokojenie rosnącego zapotrzebowania rynku na polimery. Inwestycja ta przyczyni się do wzmocnienia pozycji polskiego sektora chemicznego, zwiększając jego konkurencyjność oraz tworząc nowe miejsca pracy.

## **NAGRODA TOP DESIGN ZA NOWATORSKĄ PREZENTACJĘ TARGOWĄ**

Kolejnym sukcesem Grupy Azoty podczas uczestnictwa w Targach Plastpol było zdobycie prestiżowej nagrody TOP DESIGN za niezwykłą ekspozycję targową. Stoisko, za które przyznano nagrodę, nawiązuje do Strategii Grupy Azoty na lata 2021–2030 oraz kluczowego Projektu Korporacyjnego „Zielone Azoty”, który opiera się na 3 filarach: Zielone Produkty, Zielone Technologie, Zielona Organizacja. Prezentacja targowa wyróżniła się innowacyjnym podejściem do prezentacji produktów oraz skutecznym przekazem wartości firmy.

Nagroda TOP DESIGN podkreśla zaangażowanie Grupy Azoty w kreatywność, design i estetykę. Stoisko przyciągnęło uwagę uczestników targów, odwiedzających i ekspertów z branży, co zaowocowało zasłużonym wyróżnieniem.

## **GRUPA AZOTY URUCHAMIA PRODUKCJĘ POLIPROPYLENU W POLIMERACH POLICE**

To największe zakłady przemysłowe produkcji propylenu i polipropylenu w Europie Środkowo-Wschodniej. Polimery Police – jedna z największych inwestycji europejskiej branży chemicznej rozpoczyna produkcję polipropylenu pod marką Gryfilen®. Nowa instalacja Grupy Azoty będzie produkować rocznie 437 tys. ton polipropylenu i 429 tys. ton propylenu. Budżet projektu Polimery Police to ponad 7,2 mld zł.

Zgodnie z harmonogramem inwestycji, rozpoczęcie produkcji polipropylenu nastąpiło w ramach rozruchów technologicznych



instalacji. Moce produkcyjne będą stopniowo zwiększane, aż do osiągnięcia założonych parametrów nowej fabryki.

Polimery Police to nowy kompleks chemiczny Grupy Azoty oparty na najnowocześniejszych rozwiązaniach – technologii Oleflex UOP - produkcji propylenu jakości polimerowej metodą odwodornienia propanu (PDH) oraz technologii Unipol GRACE - produkcji polipropylenu. Zastosowane technologie zapewniają m.in. niskie zużycie surowców i energii. Instalacja produkcji polipropylenu zapewnia dużą elastyczność produkcji, co jest szczególnie istotne w zmieniającym się i bardzo wymagającym europejskim rynku tworzyw, który poszukuje wysokiej jakości produktu ściśle dostosowanego do konkretnych potrzeb.

Kompleks Polimery Police obejmuje również Morski Terminal Gazowy zapewniający możliwość dostarczania drogą morską surowców niezbędnych do produkcji: propanu i etylenu. Zapewni on Grupie Azoty elastyczność przy realizacji dostaw z różnych stron świata, co jest niezwykle ważne w świetle ostatnich wydarzeń geopolitycznych i związanych z nimi zmian kierunków dostaw surowców.

Polimery Police mają strategiczne znaczenie dla polskiego przemysłu - znacząco podnoszą krajowe moce wytwórcze w sektorze tworzyw i zmniejszają deficyt handlowy Polski w tym obszarze. Polimery Police zwiększają również niezależność energetyczną i surowcową Polski, dzięki nowemu Morskiemu Terminalowi Gazowemu, o znaczeniu europejskim.

**Grupa Azoty Polyolefins SA**

# Energooszczędne suszarki RDL-R z odzyskiem sprężonego powietrza – VGT Polska

Medal produktowy na targach PLASTPOL 2023 w dziedzinie „Maszyny i urządzenia do przetwórstwa tworzyw sztucznych”.

Innowacyjność i energooszczędność suszarki na sprężone powietrze RDL-R austriackiego producenta Blue Air Systems została doceniona przez komisję konkursową na Targach Plastpol 2023 przyznaniem głównego medalu targowego.

Suszarka RDL-R wykorzystująca sprężone powietrze zamiast sit molekularnych jest bardzo ekonomicznym rozwiązaniem w efekcie końcowym zużywającym znacznie mniej energii w porównaniu do standardowych suszarek z sitami molekularnymi (50% do 70% mniej energii elektrycznej mimo wykorzystania sprężonego powietrza).

- Dla obiegu wtórnego ciepłe powietrze jest zasysane z górnej części zbiornika, podgrzewane, a następnie wykorzystywane do wstępnego podgrzania granulatu.
- Osuszone i ogrzane pierwotne powietrze procesowe wypływa z dolnej rury wylotowej i powoli unosi się przez granulki w dolnej części zbiornika. Podgrzane już granulki są suszone i utrzymywane w odpowiedniej temperaturze. Powietrze pierwotne miesza się z powietrzem wtórnym, unosi się dalej i opuszcza zbiornik przez filtr przeciwpływy.



Warunki otoczenia		Suszarka z sitem molekularnym	RDL 450 R
Ilość powietrza procesowego			
Przepływ powietrza pierwotnego	Nm <sup>3</sup> /h	135	31
Przepływ powietrza wtórnego	Nm <sup>3</sup> /h	0	104
	Nm <sup>3</sup> /h	135	135
Moc grzewcza	kW	5	5
Zużycie energii cieplnej <sup>Total</sup>	kW	5	5
Wydajność chłodnicza	kW	12	0
Energia elektryczna <sup>for chiller</sup>	kW	4	0
Energia dla powietrza procesowego	kW	8	0
Moc sprężarki	kW	0	0
Zużycie energii powietrza total	kW	12	0
<b>CAŁKOWITA potrzebna energia elektryczna</b>	<b>kW</b>	<b>17</b>	<b>5</b>
Oszczędności roczne suszarki RDL-R w porównaniu do molekularnej (cena energii 0,9 zł/kWh, przy podanym przykładzie)			93 312 PLN

Bardzo istotną zaletą suszarek DL-R jest możliwość suszenia bardzo wymagających tworzyw, jakimi są między innymi tworzywa PET. Wilgotność resztkowa uzyskiwana przy zastosowaniu suszarek RDL-R jest na poziomie 0,002%.

Porównanie zużycia energii podczas ciągłej produkcji opakowań z PET z odzyskiem sprężonego powietrza. Wydajność 70 kg/h, temperatura suszenia 170°C.

Producent suszarek RDL-R ma w swojej ofercie całą gamę suszarek na sprężone powietrze (RDM, RDX, RDL) oferowanych

w zależności od wymaganej wydajności. Dostarczamy suszarki od wydajności suszenia od 0,5 kg/h do 1 000 kg/h.

**VGT Polska Sp. z o.o.**

**Plac Błonie-Beszc 2, 31-573 Kraków**

**tel. +48 12 281 34 87 (88)**

**www.vgt.com.pl; info@vgt.com.pl**





**Podajniki do granulatu i proszku**



**Dozowniki do proszku i granulatu**



**Suszarki molekularne i gorącym powietrzem**



**Chillery**



**Młynki i kruszarki**



**Termostaty wodne i olejowe**



VGT Polska Sp. z o.o.  
Plac Błonie-Beszczy 2  
31-573 Kraków

tel. +48 12 281 34 87  
info@vgt.com.pl  
www.vgt.com.pl

# Kolejne sukcesy w DREMECO!



Tegoroczna edycja targów PLASTPOL przyniosła ze sobą wiele spotkań, nowych, ciekawych projektów oraz kolejne wyróżnienie TOP design.

## Nasz zespół tworzą wyjątkowi ludzie.

To dla nas wspaniała nagroda za włożony ogrom pracy.

Misją naszej firmy jest kompleksowe doradztwo w doborze urządzeń oraz pomoc w realizacji projektów w dziedzinach recyklingu tworzyw sztucznych, tekstyliów, metali i elektroodpadów.

Główne filary naszej działalności to:

- **cięcie i separacja**

**Austropressen** – gilotyny do ścinania materiału z rolek to rozwiązanie, które umożliwia przecięcie rolki w celu wyjęcia gilzy. Posiadamy szeroki zakres modeli, który umożliwia cięcie rolek do średnicy 2 000 mm.



**Lidem** – wiodący producent urządzeń RollerCut służących do wzdłużnego cięcia wszelkich materiałów na rolkach. Maksymalna szerokość rolki może sięgać nawet 6 000 mm, a jej średnica 1 000 mm. W ofercie posiadamy modele ręczne, półautomatyczne oraz w pełni automatyczne.

**Trenso-Technik** – jest niemieckim wiodącym producentem urządzeń i systemów do separacji: tworzyw, gumy, odpadów elektronicznych, kabli, odpadów budowlanych, komunalnych, paliw alternatywnych. Dostarczamy pojedyncze rozwiązania oraz podejmujemy się również integracji całych linii.

- **technologie do recyklingu tworzyw**

**Lidem** – wiodący producent rozdrabniaczy do miękkich tworzyw takich jak: tekstylia, filce, folia, worki big-bag, liny, sieci, sznurki, pianki, włókniny, papier. Urządzenia firmy Lidem charakteryzują się bardzo małym zapotrzebowaniem na prąd w stosunku do swojej wydajności.

**Altero** – wyłuszczarki hiszpańskiej firmy Altero specjalizują się w recyklingu trudnych czy brudnych materiałów dzięki połączeniu precyzyjnej filtracji i wydajnego odgazowania.



**Wagner** – niezawodny producent kruszarek przeznaczonych do wszelkiego rodzaju odpadów.

**Dreher** – lider jakości wśród młynów szybkoobrotowych.

**Baracco** – producent głowic tnących, matryc, piecy do wypalania i części zamiennych wykorzystywanych w branży tworzyw sztucznych.

- **technologie do recyklingu tekstyliów**

**Dellorco & Villani oraz Technoplants** – to czołowi producenci urządzeń do przemysłu tekstylnego.

W ofercie znajdują Państwo m.in.: kompletne linie do otwierania i mieszania włókien, wytwarzania gotowych produktów o różnych gramaturach, gęstości i twardości, wykorzystywanych w meblarstwie, budownictwie, produkcji AGD i wielu innych.

- **mycie i suszenie tworzyw sztucznych**

**WiPa** – producent kompletnych systemów do recyklingu, mycia i suszenia szerokiej gamy tworzyw sztucznych. W naszej ofercie znajdują Państwo między innymi: aglomeratory, myjki flotacyjne i dynamiczne, wirówki, silosy.

- **prasy belujące**

**Austropressen** – balownice tej firmy pracują na całym świecie w kilkudziesięciu krajach.

Firma produkuje urządzenia do takich materiałów jak karton, folia, pianki czy aluminium.

Każda firma działająca w branży recyklingu znajdzie w naszej ofercie coś dla siebie.

Zapraszamy serdecznie na naszą stronę oraz do kontaktu.

**Dremeco Sp. z o.o.**

**ul. Bysławska 82, 04-993 Warszawa**

**tel. 506 107 898, 888 465 444,**

**530 050 020, 531 705 702**

**www.dremeco.pl**

# Biodegradowalny granulata BIOCOM r-starch



Compositive jest liderem w produkcji innowacyjnych, ekologicznych oraz biodegradowalnych granulataw zawierających mączkę drzewną własnej produkcji, łuski kawy oraz konopie. Ponadto Compositive jest producentem skrobi termoplastycznej, na bazie której powstaje rewolucyjny granulata BIOCOM r-starch zaprezentowany na Targach PLASTPOL 2023 w Kielcach.

## COMPOSITIVE – LIDER INNOWACJI W DZIEDZINIE TWORZYW SZTUCZNYCH

Compositive śledząc trendy i potrzeby zmian w branży tworzyw sztucznych, wyszło naprzeciw oczekiwaniom rynku i zaoferowało granulata stanowiący innowacyjną i ekologiczną alternatywę dla tradycyjnych surowców. Przeznaczone do przetwarzania metodą wtrysku, wytłaczania, termoformowania lub rozdmuchu, granulata Compositive oparte są na recyklingu surowców z innych działalności produkcyjnych i wpisują się w filozofię zamkniętego obiegu – zero waste.

## BIODEGRADOWALNY I KOMPOSTOWALNY GRANULATA BIOCOM R-STARCH – EKOLOGIA I INNOWACYJNOŚĆ W JEDNYM

Wychodząc naprzeciw aspektom ekologicznym i ochrony środowiska, Compositive stworzyło unikalny i innowacyjny granulata o charakterze biodegradowalnym – BIOCOM r-starch. Produkty, które będą produkowane z tego granulatu, takie jak np. doniczki rozsadowe, kubki, tacki czy sztucce, ulegną rozpadowi po użyciu, w kontakcie z wodą i glebą, przekształcając się w naturalny kompost.



Warto podkreślić, że biodegradowalny granulata BIOCOM r-starch opracowany przez technologów Compositive opiera się na unikalnej recepturze na bazie skrobi termoplastycznej. To innowacyjne rozwiązanie przyniesie nową jakość w przemyśle tworzyw sztucznych, w wielu segmentach przemysłu, wypierając tradycyjny plastik. Premiera BIOCOM r-starch miała miejsce podczas Targów PLASTPOL 2023 w Kielcach, gdzie zainteresowanie tym nowatorskim tworzywem było ogromne.

Dyrektor generalny Compositive, Piotr Pacyga, podkreślił znaczenie zainteresowania tworzywami o charakterze biodegradowalnym. – Targi PLASTPOL potwierdziły, że branża jest coraz bardziej zainteresowana tworzywami bio. Jesteśmy niezmiernie dumni, że mogliśmy zaprezentować nasz najnowszy biodegradowalny i kompostowalny granulata BIOCOM r-starch oparty na innowacyjnym materiale naszej produkcji – skrobi termoplastycznej – powiedział Piotr Pacyga.

## WSPARCIE DLA ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

Tego typu innowacyjne rozwiązania są niezbędne dla przyszłości branży tworzyw sztucznych. Biodegradowalne granulata stanowią ekologiczną alternatywę dla tradycyjnego plastiku, zapewniając jednocześnie wysoką jakość i funkcjonalność. Compositive nie tylko dąży do zastępowania plastiku, ale również promuje świadome podejście do produkcji i ochrony środowiska.

Biodegradowalny granulata BIOCOM r-starch jest doskonałym przykładem innowacji, które przyczynią się do tworzenia bardziej zrównoważonej przyszłości. Dzięki takim rozwiązaniom, branża tworzyw sztucznych będzie mogła wkroczyć na nową ścieżkę rozwoju, redukując negatywny wpływ na środowisko i dbając o przyszłe pokolenia.

**COMPOSITIVE**  
Kuków 86a, 34-206 Kraków  
[www.compositive.pl](http://www.compositive.pl)



# ALPLA rozbudowuje zakład recyklingu w Polsce – rocznie przetworzy 2,75 mld butelek z tworzywa sztucznego

ALPLA rozbudowuje zakład PET Recycling Team w Radomsku, zwiększając wydajność produkcyjną fabryki z 30 000 do 54 000 ton materiału rPET przeznaczonego do kontaktu z żywnością. Przetwarzane w fabryce zużyte butelki PET w 95% pochodzą z naszego kraju, a odzyskane w procesie recyklingu tworzywo rPET trafia na rynek w Polsce, a także do krajów UE, m.in. Niemiec, Włoch, Czech i Belgii.

W inwestując około ośmiu milionów euro w trzecią, najnowocześniejszą linię wytwarzania rPET, czyli tworzywa sztucznego pochodzącego z recyklingu, ALPLA kontynuuje globalną ekspansję w obszarze gospodarki obiegu zamkniętego. Dziesięć lat po otwarciu zakładu, PRT Radomsko (PET Recycling Team Radomsko) jest jednym z największych zakładów recyklingu tego tworzywa w Europie o zdolności produkcyjnej, która będzie zwiększona do 54 000 ton regranulatu spożywczego rPET rocznie – wzrost ten pozwoli na łączne przetwarzanie około 2,75 mld zużytych butelek. Tworzywo rPET z zakładu PRT Radomsko może być stosowane do produkcji opakowań do żywności i jest w dużej mierze wykorzystywane np. w branży napojowej.

## WYKORZYSTYWANIE RPET ODPOWIEDZIĄ NA WYMAGI LEGISLACYJNE

Do 2025 roku wszystkie butelki PET na napoje w UE powinny zawierać co najmniej 25% materiału pochodzącego z recyklingu pokonsumpcyjnego (PCR). Wraz z rozbudową zakładu w Polsce, firma ALPLA tworzy podstawy do spełnienia wymagań UE na rynkach regionalnych.

– Aktywnie współpracujemy z klientami w celu tworzenia zamkniętych obiegów dla opakowań PET i towarzyszymy im na ścieżce zrównoważonego rozwoju. W tym celu już dziś dbamy o to, by sprostać jutrzejszym potrzebom i mamy już wdrożonych kilka takich zamkniętych obiegów opakowań – podkreśla Mariusz Musiał, Dyrektor Zarządzający ALPLA w Polsce. – Dzięki tej inwestycji będziemy mogli zapewnić naszym klientom wystarczającą ilość rPET, który w dużej mierze trafi na rynek polski – dodaje Beata Szykiewicz-Razik, Dyrektor Handlowy PRT Radomsko.

– Instalacja trzeciej linii do wytwarzania w Radomsku stworzy dodatkowe miejsca pracy i powiększy zespół do ponad 100 pracowników. PRT Radomsko od ponad dziesięciu lat jest synonimem najwyższej jakości i doskonałych wyników operacyjnych uzyskiwanych dzięki naszej wysoce zmotywowanej załodze. Rozbudowa zakładu jest potwierdzeniem celu, jaki Grupa ALPLA postawiła sobie w zakresie dalszych inwestycji w recykling i umacnia naszą pozycję na rynku – mówi Dyrektor Zakładu Marcin Jabłoński.

Firma ALPLA inwestuje rocznie około 50 milionów euro w globalną ekspansję swojej działalności w zakresie recyklingu. Do ostatnich pionierskich projektów firmy zaliczają się butelki PET wielokrotnego użytku, butelki wykonane w 100% z rPET, niedawno rozpoczęte produkcje w zakładach recyklingu joint venture ENVICCO (Tajlandia) oraz PET Recycling Team Targu Mures



www.freepik.com

(Rumunia). W czerwcu 2023 roku ogłoszono również otwarcie pierwszego zakładu recyklingu w Afryce (Ballito w RPA). Całkowita roczna zdolność produkcyjna wszystkich własnych i współpracujących zakładów zajmujących się recyklingiem wynosi około 266 000 ton dla rPET (PET z recyklingu) i 74 000 ton dla rHDPE (HDPE z recyklingu).

Źródło: ALPLA Opakowania z Tworzyw Sztucznych Sp. z o.o.

## Rozdrabniacz VRZ do wstępnego rozdrabniania w firmach recyklingowych i przemyśle surowcowym

– U naszych klientów rozdrabniacze pracują zazwyczaj bez przerw przez bardzo długi okres – mówi Cathrine Rekett, kierownik działu technologii użytkowej Recycling i Waste w Vecoplan AG. Seria VRZ może wydajnie rozdrabniać odpady komunalne, handlowe i wielkogabarytowe, a także na przykład biomasę oraz drewno korzeniowe i odpadowe zawierające kamienie lub gwoździe.

– Aby zapewnić bezpieczne wstępne rozdrabnianie materiałów zanieczyszczonych ciałami obcymi, przy opracowywaniu maszyny VRZ firma Vecoplan przywiązywała dużą wagę do tego, aby była ona nie tylko odporna na ciała obce, ale także solidna, niezawodna i łatwa w utrzymaniu – mówi Cathrine Rekett. Dlatego zamiast narzędzi tnących projektanci wyposażyli wirnik w zęby w kształcie sierpów, które są odporne na ciała obce. W przeciwieństwie do koron tnących są one opancerzone. – Ponowne napawanie zębów po ich zużyciu jest wprawdzie bardziej czasochłonne niż wymiana koron tnących i przeciwnoży, jednak dzięki temu wydłuża się czas pracy urządzenia. W rezultacie takie rozwiązanie znacznie skraca przestoje – mówi Cathrine Rekett.

Komponenty, takie jak odporne na zużycie, wymienne elementy uszczelniające na wirniku i ścianie bocznej, zapobiegają na przykład zakleszczaniu się materiałów między czołową powierzchnią wirnika a obudową maszyny. Ponadto zoptymalizowana konstrukcja maszyny pozwala na szybką wymianę ramy tnącej i wirników. Dzięki temu czasochłonne prace konserwacyjne – jak



napawanie i spawanie – można wykonać poza maszyną. To również znacznie skraca czas przestoju.

– Nasz VRZ jest zaprojektowany tak, aby przez długi czas był gotowy do pracy – nawet w przypadku wystąpienia zużycia – zapewnia ekspert marki Vecoplan. Na przykład VRZ 2500 ma otwarty stół tnący. Umożliwia to wypadanie kamieni i innych ciał obcych przez zespół tnący, bez konieczności wyłączenia maszyny. Firma Vecoplan udowodniła to w szeroko zakrojonych testach praktycznych z różnymi materiałami – a także w skutecznym stosowaniu w ciągłej pracy.

– Nasz rozdrabniacz rozrywa materiał – wyjaśnia Cathrine Rekett. Jednak, jak mówi, procedura ta nie jest niczym nowym. Za to połączenie rozdrabniania rozrywającego z napędem o wysokim momencie obrotowym już tak. Vecoplan stawia na dynamiczną serię HiTorc o mocnym rozruchu i wysokim momencie obrotowym. ■

REKLAMA



# TIME FOR

## VISIONARIES



**Od 1969 tworzymy rozwiązania jutra.**

Przypatr się. Co widzisz? Nie widzimy śmieci, ale niezliczone możliwości nadania odpadom nowego życia. Technologia przetwarzania Vecoplan to nasze rozwiązanie do cenionego obchodzenia się z zasobami – wczoraj, dziś i jutro. Zostań wizjonerem!

Vecoplan AG | Germany | phone +49 2661 62 67-0 | welcome@vecoplan.com | www.vecoplan.com





# PLASTPOL

28. Międzynarodowe Targi Przetwórstwa  
Tworzyw Sztucznych i Gumy

**21-24** | **05** | 2024

Kielce

Tworzymy  
**biznesową**  
przestrzeń



[www.plastpol.com](http://www.plastpol.com)



[/showcase/plastpolfair/](https://www.linkedin.com/showcase/plastpolfair/)



[/PlastpolFair](https://www.facebook.com/PlastpolFair)



[Kanał: Plastpol 4.0.](https://www.youtube.com/channel/UC...)

# KOMPOZYTOWE

INNOWACJE, TECHNOLOGIE, MASZYNY



- *Modyfikowanie nienasyconych żywic poliestrowych nanododatkami*
- *Polimerowe kompozyty chroniące systemy elektroniczne przed promieniowaniem mikrofalowym*
- *Badania kinetyczne i reologiczne kompozytów stomatologicznych nowej generacji*

# 4-5 października 2023, EXPO KRAKÓW

**KOMPOZYT  
EXPO®**

12. Międzynarodowe Targi Materiałów,  
Technologii i Wyrobów Kompozytowych



Odbierz bilet



## INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA DLA LEPSZEJ PRZYSZŁOŚCI!



  
Targi  
w Krakowie

**EXPO**  
KRAKOW

[www.kompozyt-expo.pl](http://www.kompozyt-expo.pl)



# Spis treści

- IV** Jednoczymy świat na Targach KOMPOZYT-EXPO®, które odbędą się w Krakowie 4 i 5 października 2023 r.
- V** Elastomery na bazie kwasu bursztynowego modyfikowane nanometryczną krzemionką
- VIII** Modyfikowanie nienasyconych żywic poliestrowych nanododatkami
- XI** Wspólny cel: realizacja idei zrównoważonego rozwoju
- XII** Polimerowe kompozyty chroniące systemy elektroniczne przed promieniowaniem mikrofalowym
- XVI** Badania kinetyczne i reologiczne kompozytów stomatologicznych nowej generacji



---

## Dodatek tematyczny dwumiesięcznika „Tworzywa Sztuczne w Przemśle”

---

Redaktor wydania:  
Katarzyna Mazur  
tel./fax 32 733 18 01  
e-mail: [katarzyna.mazur@tworzywasztuczne.biz](mailto:katarzyna.mazur@tworzywasztuczne.biz)

---

---

Redakcja nie odpowiada za treść ogłoszeń i nie zwraca materiałów niezamówionych. Zastrzegamy sobie prawo skracania i adyustacji tekstów. Przedrukowywanie materiałów lub ich części tylko za zgodą pisemną redakcji.

---

[www.tworzywasztuczne.biz](http://www.tworzywasztuczne.biz)

---

# O globalnej współpracy na Targach KOMPOZYT-EXPO®, które odbędą się w Krakowie 4 i 5 października 2023 r.

Zapraszamy na XII Międzynarodowe Targi Materiałów, Technologii i Wyrobów Kompozytowych KOMPOZYT-EXPO®, najważniejsze wydarzenie branży materiałów kompozytowych w Europie Środkowo-Wschodniej. W tym roku działamy globalnie, skupiając liderów branży z całego świata!



## **WSPÓŁPRACA NA RZECZ LEPSZEJ PRZYSZŁOŚCI: ODBUDOWA UKRAINY**

Kompozyty rewolucjonizują nowoczesny przemysł. Lotnictwo, kolej, motoryzacja, budownictwo czy projektowanie miast rozwijają się dzięki stosowaniu nowych technologii. Podczas KOMPOZYT-EXPO® 2023 skupimy się na współpracy na rzecz odbudowy Ukrainy. Temat ten został zapoczątkowany podczas konferencji we Lwowie „Współpraca klastrów na rzecz zrównoważonego rozwoju regionalnego”, na której mieliśmy przyjemność gościć. Cieszymy się, że możemy kontynuować te dyskusje w Krakowie, wspierając silniejsze partnerstwa na rzecz rozwoju Ukrainy. Targi będą świetną okazją dla polskich przedsiębiorców do poznania potrzeb ukraińskich firm oraz porozmawiania o możliwości współpracy.

## **PAWILON NARODOWY IRANU I KOREI POŁUDNIOWEJ**

Kraków przyciąga czołowe firmy kompozytowe z całego świata. Na tegorocznych targach ponownie zaprezentują się na wspólnym stoisku firmy z Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych oraz niemieckiego klastra Composites United e.V. W Pawilonach Narodowych zaprezentują się firmy z Korei Południowej oraz firmy z Iranu. Jak mówi Mohammad Philsough, wyłączny agent KOMPOZYT-EXPO® na rynek irański: – Naszym głównym celem jest rozwój relacji handlowych z Polską. Jesteśmy świadomi, że obecny poziom wymiany handlowej między naszymi krajami nie jest satysfakcjonujący. Zauważamy ogromne postępy Polski w dziedzinie technologii i przemysłu, co bardzo cenimy. Naszym celem podczas tej wystawy jest wymiana wiedzy i technologii, a także nawiązanie współpracy biznesowej i technologicznej z europejskimi i polskimi firmami. Będziemy zachwyceni, jeśli uda się nam zbudować owocne partnerstwa z naszymi polskimi kolegami.

## **ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ I TRANSFORMACJA ENERGETYCZNA: PIONIERSKIE ROZWIĄZANIA**

Targi KOMPOZYT-EXPO® napędzają innowacje, zwłaszcza te wspierające zrównoważony rozwój. Targi są idealnym miejscem na dyskusje o recyklingu materiałów kompozytowych i jego roli w transformacji energetycznej. Ważnym tematem będą też najnowocześniejsze technologie wodorowe, które nierozdzielnie

połączone są z kompozytami, szczególnie w kontekście magazynowania i transportu.

Wspólnie z Polskim Klastrem Technologii Kompozytowych przygotowaliśmy niezwykle ciekawy program warsztatów eksperckich, podczas których międzynarodowi specjaliści podzielą się wiedzą i bogatym doświadczeniem.

## **SYNERGIA NAUKI I BIZNESU**

Targi KOMPOZYT-EXPO® chętnie odwiedzają zarówno przedstawiciele kadry zarządzającej dużych, średnich i małych przedsiębiorstw, inżynierowie z długoletnim stażem, jak również naukowcy. Program targów skonstruowany jest tak, aby każdy znalazł coś dla siebie i mógł wymienić się doświadczeniami oraz nowymi, świeżymi pomysłami. W tym celu powstała strefa Nauka dla Przemysłu, na której zgromadzą się ośrodki naukowe z Polski i zagranicy oferujące możliwość współpracy w zakresie badań i rozwoju.

Wydarzenie jest też doskonałą okazją na budowanie międzypokoleniowych relacji, które skutkować mogą nawiązaniem nowej współpracy. Dlatego udostępniamy przestrzeń wystawową studentom kierunków technicznych, którzy dopiero stawiają swoje pierwsze zawodowe kroki. Co roku mają możliwość zaprezentowania swoich innowacyjnych projektów, tworzonych w ramach kół naukowych, oraz pozyskiwania sponsorów czy poznawania potencjalnych pracodawców.

## **ZAINSPIRUJ SIĘ NA KOMPOZYT-EXPO®**

4 i 5 października 2023 w EXPO Kraków spotkają się przedstawiciele najważniejszych firm kompozytowych z całego świata. Targi KOMPOZYT-EXPO® nie tylko będą okazją do spotkania z firmami i poznania najnowszych technologii kompozytowych, ale najważniejszym w tej części Europy miejscem na rozmowy o kompozytach. Nie może Cię tu zabraknąć!

Lista wystawców oraz program towarzyszący dostępne będą na stronie: [www.kompozyt-expo.pl](http://www.kompozyt-expo.pl).

Dołącz do wydarzenia już teraz, odbierz bezpłatny bilet na stronie internetowej targów!

[www.kompozyt-expo.pl](http://www.kompozyt-expo.pl)

# Elastomery na bazie kwasu bursztynowego modyfikowane nanometryczną krzemionką

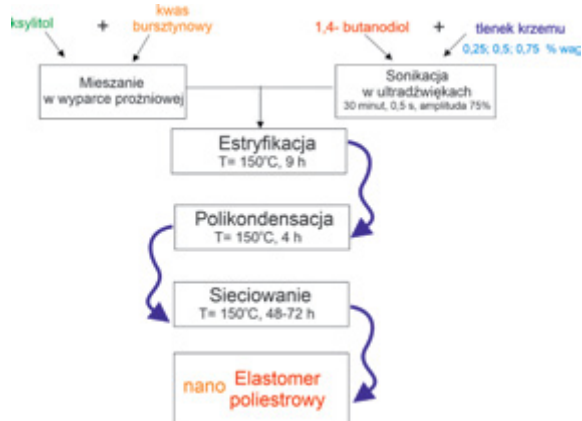
Marta Piątek-Hnat

Nanokompozyty w ostatnich latach stały się niezwykle interesującą grupą materiałów, których zakres zastosowań wciąż rośnie. W wielu badaniach naukowcy wykorzystują różnego rodzaju nanonapełniacze, czy to w postaci tlenku krzemu  $\text{SiO}_2$  lub krzemianów warstwowych, czy nanonapełniaczy węglowych (grafen, nanorurki węglowe czy sadza) oraz tlenków metali (tlenek tytanu, tlenek magnezu, tlenek srebra). Można spodziewać się, że już niewielki dodatek nanonapełniacza pozwala uzyskać nanokompozyty charakteryzujące się lepszymi właściwościami mechanicznymi, przewodnictwem elektrycznym czy odpornością termiczną w stosunku do materiałów niemodyfikowanych. Oczywiście należy pamiętać, że duże znaczenie ma zastosowana matryca polimerowa oraz sposób otrzymywania nanokompozytów, a także ilość wprowadzanego nanododatku [1–2]. Niewielki dodatek nanonapełniacza może przyczynić się do znacznej poprawy wielu właściwości fizykomechanicznych oraz użytkowych nanokompozytów. Właściwy dobór zarówno składników, jak i technologii otrzymywania pozwala otrzymywać nanokompozyty, które mogą charakteryzować się polepszonymi właściwościami mechanicznymi i termicznymi w stosunku do materiału niemodyfikowanego [1–2].

Celem artykułu było otrzymanie i ocena właściwości fizykochemicznych elastomerów estrowych poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu wytworzonych metodą polikondensacji *in situ* zawierających 0,25; 0,5 i 0,75 % wag. nanometrycznego tlenku krzemu o powierzchni właściwej  $130 \text{ m}^2/\text{g}$ . (produkt komercyjny Evonik Degussa). Matryca polimerowa otrzymywana jest przy wykorzystaniu surowców pochodzenia petrochemicznego (kwas bursztynowy, 1,4-butanodiol), ale również pochodzącego ze źródeł naturalnych ksylitolu. Poprzez dodatek nanonapełniacza można spodziewać się poprawy właściwości mechanicznych przy zachowaniu hydrofilowego charakteru powierzchni.

## OTRZYMYWANIE ELASTOMERÓW

Nanokompozyty z nanometryczną krzemionką na bazie matrycy z poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu zostały otrzymane w analogiczny sposób jak opisano w [3–4]. Schemat otrzymywania materiałów zawierających 0,25; 0,5 i 0,75%  $\text{SiO}_2$  został pokazany na rys 1. Aby porównać właściwości tych materiałów został wytworzony również elastomer nie zawierający nanonapełniacza.



Rys. 1. Schemat otrzymywania elastomerów estrowych modyfikowanych nanonapełniaczem  $\text{SiO}_2$

## METODY BADAŃ

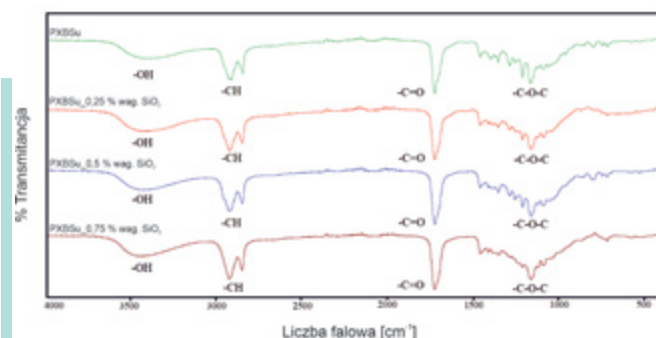
Budowę chemiczną określono metodą spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR) przy użyciu aparatu ALPHA BRUKER. Widma transmitancji oceniono w zakresie częstotliwości liczby falowej  $4000\text{--}500 \text{ cm}^{-1}$ .

Do oznaczania właściwości mechanicznych przy rozciąganiu wykorzystywano maszynę wytrzymałościową Intron 4206-006. Pomiar naprężenia i wydłużenia przy rozciąganiu prowadzono przy prędkości rozciągania próbki  $200 \text{ mm/min}$  wg normy PN-EN-ISO 527/1:1996.

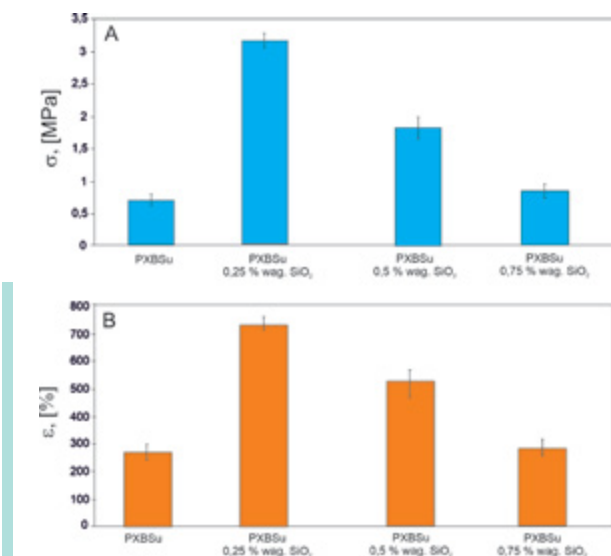
Twardość oznaczono metodą Shore'a typu A wg normy PN-80/C-04238.

Badanie kąta zwilżania powierzchni materiałów wykonano wodą dejonizowaną przy użyciu aparatu SEO CONTACT ANGLE ANALYZER firmy HAAS na modelu Phoenix Mini.

Na rys 2. zostały pokazane widma spektroskopowe FTIR z transformacją Fouriera, dzięki którym można ocenić wpływ dodatku nanonapełniacza na budowę chemiczną nanokompozytów. Dodatek nanonapełniacza niezależnie od jego wprowadzonej ilości nie miał wpływu na budowę chemiczną. Świadczy to o tym, że tlenek krzemu, nie reaguje chemicznie z osnową polimeru. Zostały potwierdzone charakterystyczne pasma dla matrycy polimerowej. W zakresie długości fali ok.  $3450 \text{ cm}^{-1}$ , występują piki wynikające



Rys. 2. Widma FTIR nanokompozytów poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu zawierających  $\text{SiO}_2$



Rys. 3. Właściwości mechaniczne poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu zawierających SiO<sub>2</sub>

z drgań rozciągających, międzycząsteczkowych wiązań wodorowych, pochodzących od grup hydroksylowych alkoholu cukrowego. Przy liczbie falowej wynoszącej ok. 2950–2800 cm<sup>-1</sup> widoczne są charakterystyczne pasma odpowiadające asymetrycznym i symetrycznym grupom metylenowym. W zakresie ok. 1460 cm<sup>-1</sup>, jak również ok. 1360 cm<sup>-1</sup> widoczne są drgania zginające C-H, odpowiednio asymetryczne i symetryczne. W zakresie liczby falowej ok. 1730 cm<sup>-1</sup> można zaobserwować charakterystyczny dla grup estrowych pik związany z drganiami rozciągającymi C=O. Piki przy liczbie falowej 1290-1070 cm<sup>-1</sup> świadczą natomiast o obecności pasm drgań rozciągających estrów alifatycznych (-C-O-C).

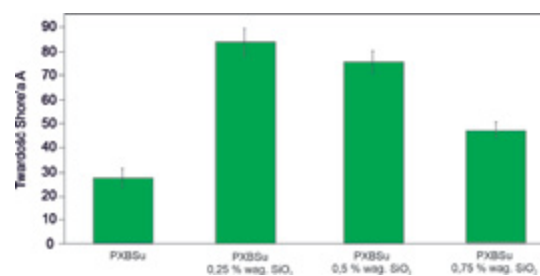
Na rys. 3. pokazano wartości pomiarów uzyskanych podczas badań mechanicznych elastomerów modyfikowanych tlenkiem krzemu i porównano je z materiałem niemodyfikowanym.

Można zauważyć, iż wprowadzenie różnej ilości nanonapełniacza (0,25%; 0,5%, 0,75%) powoduje wzrost naprężenia do zerwania, a także odkształcenia przy rozciąganiu. Najwyższą wartością naprężenia do zerwania charakteryzuje się nanokompozyt z dodatkiem 0,25% SiO<sub>2</sub>, którego właściwości polepszyły się znacznie w stosunku do elastomeru niemodyfikowanego. Związane jest to prawdopodobnie z homogenicznym rozłożeniem nanocząstek w matrycy polimerowej. Elastomery, w których zastosowano 0,25% nanonapełniacza, charakteryzują się najwyższymi wartościami odkształcenia przy rozciąganiu, ponad dwukrotnie większymi w stosunku do materiału niemodyfikowanego (750%). Zastosowanie tlenku krzemu w ilości 0,75% wag. powoduje znaczny spadek wszystkich parametrów mechanicznych, co prawdopodobnie jest skutkiem powstałych w strukturze elastomerów dużej ilości aglomeratów.

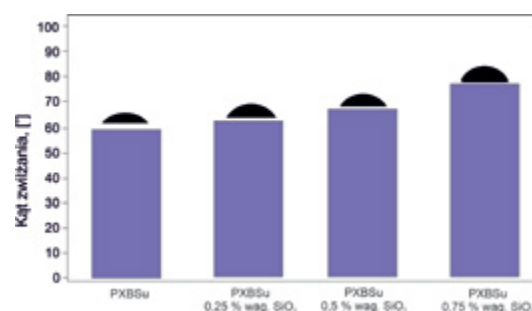
Na rysunku 4 zostały przedstawione wyniki twardości w skali Shore'a A. Najwyższą wartością twardości charakteryzuje się elastomer zawierający 0,25% wag. SiO<sub>2</sub>, co potwierdza zgodność z badaniami mechanicznymi.

Elastomer z dodatkiem 0,5% wag. SiO<sub>2</sub> charakteryzuje się również wysoką wartością twardości, natomiast w przypadku elastomeru zawierającego 0,75% wag. tlenku krzemu obserwujemy znaczny spadek tego parametru, co potwierdza się również w badaniach mechanicznych.

Badanie zwilżalności umożliwiło określenie charakteru powierzchni poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu modyfikowanych i niemodyfikowanych tlenkiem krzemu.



Rys. 4. Twardość w skali Shore'a A otrzymanych poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu zawierających SiO<sub>2</sub>



Rys. 5. Wartości kąta zwilżania dla otrzymanych poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu zawierających SiO<sub>2</sub>

Przedstawione na rys 5. wyniki pokazują wzrost wartości kąta zwilżania niezależnie od zastosowanej ilości nanonapełniacza. Materiał wyjściowy charakteryzuje się hydrofilowym charakterem powierzchni. Elastomery zawierające 0,25 i 0,5% wag. SiO<sub>2</sub> wykazują również hydrofilowy charakter powierzchni. W przypadku materiału zawierającego 0,75% wag. SiO<sub>2</sub> można zaobserwować zmianę charakteru powierzchni na bardziej hydrofobowy (78°).

#### WNIOSKI

Wprowadzenie do matrycy elastomerowej tlenku krzemu dało pozytywny wzrost właściwości mechanicznych w przypadku jego zawartości 0,25% wag. przy zachowaniu hydrofilowego charakteru powierzchni, co jest szczególnie ważne dla materiałów biodegradowalnych. Wykazano, że niewielki dodatek nanonapełniacza (0,25% wag.) wpływa na znaczną poprawę właściwości mechanicznych, zatem zastosowanie wyższej zawartości tego modyfikatora nie jest zasadne. Przy zawartości 0,75% wag. SiO<sub>2</sub> następuje spadek właściwości mechanicznych, a materiał staje się bardziej hydrofobowy, co będzie miało negatywny wpływ na jego podatność na degradację hydrolytyczną.

#### LITERATURA

- [1] W. W. Królikowski: Polimerowe kompozyty konstrukcyjne, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- [2] W. Królikowski, Z. Roslaniec: Nanokompozyty polimerowe, 2004.
- [3] M. Piątek-Hnat, K. Cichecka, N. Dudar: Nanokompozyty estrowe zawierające monomery ze źródeł naturalnych, Tworzywa Sztuczne w Przemysle, Nr 2/2017, str. 20-22.
- [4] M. Piątek-Hnat, J. Pilip, M. Terebelska, E. Kaczmarek, A. Wojciechowska, S. Kosiński: Zastosowanie alkoholi cukrowych w syntezie elastomerów estrowych, Tworzywa Sztuczne w Przemysle, nr 3/2016, 100-101.

dr hab. inż. Marta Piątek-Hnat

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

# Rok 2023 jest dla nas szczególnie wyjątkowy.

## Świętujemy 35-lecie firmy EDER

Tak, to już 35 lat od kiedy dostarczamy naszym klientom rozwiązania szyte na miarę i to w całym tego słowa znaczeniu. Przez te lata staliśmy się największym producentem pasów PTFE w Polsce i trzecim w Europie. Nasze rozwiązania wspierają klientów w ich codziennych wyzwaniach i rozwijają przemysł w Europie. Większość branż, to miejsca, gdzie na produkcji stosowane są materiały, pasy, osłony, formatki, siatki wykonane z PTFE.

Branże wykazujące największe zainteresowanie oferowanymi przez EDER produktami i usługami to branża produkcji opakowań, paneli fotowoltaicznych, motoryzacyjna, żywnościowa zarówno dla ludzi, jak i zwierząt, medyczna oraz tarcz szlifierskich. Jakość pasom i formatkom EDER zapewniają także stosowane połączenia i wzmocnienia takie jak:

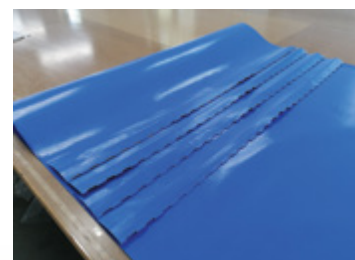
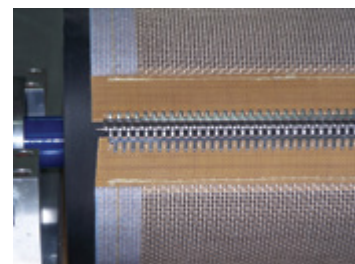
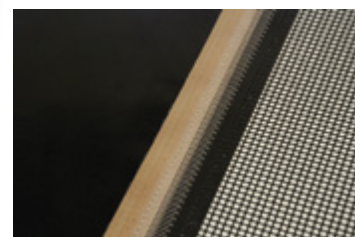
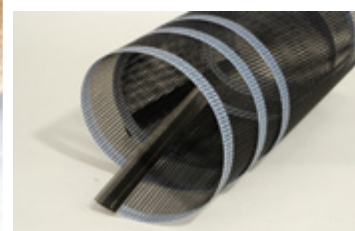
- prowadzenia aramidowe, silikonowe i napy stalowe i PTFE;
- wzmocnienia z PTFE i aramidowe;
- złącza wykonane ze stali, tworzywa sztucznego i aramidu.

Jakie korzyści dla Twojej produkcji, dla maszyn i urządzeń oraz finalnych produktów wypływają z oferowanych przez EDER pasów PTFE?

Pasy PTFE mają doskonałą odporność na wysokie temperatury, co pozwala na bezpieczne użytkowanie w procesach produkcyjnych, np. w obróbce termicznej. W konsekwencji zmniejszają one znacząco przestoje produkcyjne. Pasy PTFE posiadają również doskonałą odporność chemiczną, co pozwala na ich bezpieczne użycie w różnych branżach przemysłowych, gdzie mogą mieć kontakt z agresywnymi substancjami chemicznymi. Kolejną bardzo korzystaną cechą to niski współczynnik tarcia. Zwiększa to wydajność i redukuje zużycie energii w procesach. Pasy PTFE znane są także z wysokiej odporności na rozciąganie. Ich wytrzymałość na zużycie jest szczególnie ważna na liniach produkcyjnych o wysokim tempie pracy. Szczególnie ciekawą i ważną zaletę posiada siatka antystatyczna PTFE, która nie pozwala na gromadzenie się ładunków elektrycznych. Zapobiega to przyciąganiu pyłów i zabrudzeń, co może być szczególnie ważne w produkcji wrażliwych elementów elektronicznych lub w środowiskach czystych. PTFE jest materiałem nonstick, ułatwia to czyszczenie i konserwację pasów. Dzięki temu zmniejsza się czas przestojów na czyszczenie, co w konsekwencji przekłada się na większą efektywność linii produkcyjnej.

Produkty PTFE i wykonywane z nich produkty EDER oraz zapewniany serwis przyczyniają się do zwiększenia wydajności, poprawy jakości produktów, a także obniżenia kosztów i zapewnienia bardziej niezawodnego procesu produkcyjnego. Jeśli chcesz uzyskać więcej informacji oraz skorzystać z naszego 35-letniego doświadczenia skontaktuj się z nami.

**Bartosz Śliwiński – Business Development Manager**  
**(+48) 608 515 894, b.sliwinski@eder.com.pl**



# Modyfikowanie nienasyconych żywic poliestrowych nanododatkami

Dominik Stęпка

W pracy przedstawiono różnego rodzaju podejście do kwestii modyfikacji żywic poliestrowych przy użyciu nanododatków. Poruszono zagadnienia nasiąkliwości kompozytów na bazie żywic, ich ognioodporności, a także udarności i wytrzymałości na zginanie. Zwrócono szczególną uwagę na metody, z którymi wiąże się najbardziej korzystne rokowania.

Nienasycone żywice poliestrowe są to roztwory poliestrów w monomerze. Przeznaczeniem poliestrów w żywicy jest kopolimeryzacja w monomerze [1]. Ze względu na swoje doskonałe właściwości mechaniczne i łatwość obróbki znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu takich jak: budownictwo, lotnictwo, motoryzacja, przemysł morski, a także budowa turbin wiatrowych [2]. Ze względu na coraz bardziej wygórowane wymagania względem jakości materiałów stosuje się różnego rodzaju dodatki modyfikujące właściwości kompozytów na bazie żywic poliestrowych. Coraz większą popularność zyskują nanododatki stosowane jako ulepszacze do żywic. Zostało dowiedzione, że właściwości mechaniczne kompozytów z nanowypełniaczem są lepsze niż właściwości kompozytów wypełnionych takim samym materiałem, ale w z cząsteczkami rzędu wielkości mikrometrów [3, 4]. Dzięki nim stosunkowo niedużym kosztem można w znaczący sposób poprawić parametry fizykochemiczne żywic takie jak: nasiąkliwość, wytrzymałość, odporność na ogień i wiele innych.

## NASIĄKLIWOŚĆ

Żywice poliestrowe w dużej mierze stosowane są do produktów przeznaczonych do kontaktu z wodą. Produktami takimi mogą być wielkośrednicowe rury kanalizacyjne, powłoki stosowane do basenów oraz łodzi. W środowisku morskim kompozyty są odsonięte pod wodą i powinny być w stanie wtrzymać w takim środowisku. W tych przypadkach niezwykle istotnym parametrem będzie odporność przeciwko nadmiernemu chłonięciu wody. Kompozyty na bazie nienasyconych żywic poliestrowych mogą chłonić wodę nawet do 3,5%, a także ulegają wymywaniu w trakcie absorpcji wody. Parametr ten może zostać poprawiony poprzez użycie nanoglinek [5, 6]. Dodatki pojedynczych procentów wagowych nanoglinek do żywic poliestrowych powodują obniżenie równowagi wilgotności materiału (EMC), dyfuzyjność i przepuszczalność, co w konsekwencji przekłada się na poprawienie odporności na wilgoć powłok poliestrowych wytwarzanych z żelkotów na ich bazie [7]. Ze względu na małe ilości wagowe nanoglinek bardzo ważnym parametrem jest ich zdyspergowanie w żywicy poliestrowej. Jak pokazano w pracy [8] można wziąć pod uwagę trzy podstawowe techniki: mieszania ręcznego, sonikacji oraz mieszania z wysokim ścinaniem (HSM).

Obiecujące wydaje się również modyfikowanie nasiąkliwości kompozytów na bazie żywic poliestrowych z zastosowaniem nanorodników ZnO wraz z biowłóknami [9]. Podejmowano również badania nienasyconych kompozytów poliestrowych modyfikowanych nanorurkami węglowymi (NCC) oraz włóknem bambusowym. Otrzymano rezultaty wskazujące na to, że dodanie do 3% wagowych NCC powodowało obniżenie nasiąkliwości oraz dyfuzji [10].

## OGNIOODPORNOŚĆ

Nienasycone żywice poliestrowe i materiały kompozytowe na ich bazie ze względu na doskonałe właściwości użytkowe cieszą się dużym zainteresowaniem w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym, elektronicznym [11], a także budowlanym. Pomimo wielu zalet stosowania kompozytów polimerowych mają one poważną wadę w postaci zwiększenia ryzyka wystąpienia pożaru [11, 12], mają niską odporność na otwarty ogień i wysokie temperatury [13]. Co więcej podczas spalania ulegają degradacji do postaci toksycznych gazów. W trakcie palenia dochodzi również do powstania kropli stopionego polimeru, które drastycznie przyczyniają się do wzrostu intensywności pożaru. Zmniejszenie ryzyka pożaru, które towarzyszy stosowaniu materiałów polimerowych można osiągnąć poprzez stosowanie środków zmniejszających palność [14]. Istnieją różne metody poprawy ognioodporności kompozytów opartych na bazie żywic poliestrowych [15, 16]. Kiedyś powszechnie stosowanymi środkami zmniejszającymi palność były halogenopochodne antypireny, jednak ze względu na fakt wydzielenia przez nie w trakcie spalania toksycznych gazów zostały zakazane [17]. Lepszym rozwiązaniem może być stosowanie w tym celu nanododatków.

Jedną z opcji jest zastosowanie nanoglinek funkcjonalizowanych środkami uniepalniającymi lub zmniejszającymi palność, a także czystymi nanoglinkami [18, 19]. W przedstawionych badaniach [18] wykazano, że dodatek nanoglinek obniżył temperaturę rozkładu typowej żywicy do 600°C. Zwiększenie dodatku nanoglinki powoduje powstanie warstwy izolacyjnej na powierzchni, która tworzy barierę [20]. Wraz ze zwiększaniem dodatku glinki wzrasta również nieznacznie ilość uwalnianego dymu. Badania sugerują, że ulepszone właściwości hybryd poliestrowo-glinowych nie są zawsze zależne od tworzenia struktur nanokompozytowych. Istotnym wnioskiem jest jednak fakt, że kiedy nanoglinka obecna jest w kompozycie może ona zmniejszyć palność nawet o 40–70% [21].

## UDARNOŚĆ

Materiały bazujące na czystych żywicach poliestrowych wykazują się stosunkowo niską udarnością, co w znaczący sposób obniża ich zastosowanie jako materiału inżynierskiego zamiast np. metali [22]. W związku z tym zostały opracowane różne metody poprawy właściwości fizycznych, takie jak stabilizatory chemiczne, mieszanie różnego rodzaju polimerów, zbrojenie oraz nanododatki tak, aby kompozyty z żywic poliestrowych mogły osiągnąć właściwe dla ich zastosowania parametry [23–29].

Jedną z możliwości jest domieszkowanie nanotlenkiem glinu w ilości do 5% wagowych. Jak zostało przedstawione w pracy [30], takie domieszkowanie powoduje wzrost udarności nawet do 50%. Powyżej 5% wagowych nanotlenek glinu zaczyna wy-

kazywać tendencję do aglomerowania się, co przyczynia się do znacznego obniżenia udarności. Jest to spowodowane faktem, że miejsca aglomeracji nanotlenku glinu są miejscami punktowego wzrostu naprężeń, co inicjuje mikropęknięcia.

Zostało również pokazane, że dobry wpływ na udarność mają domieszki w postaci nanokrzemionki hodowanej *in situ* na powierzchni haloizowanych nanorurek (HNTs-Silica). Dzięki swojej unikatowej budowie (nanowyrostki przyczepione do powierzchni nanorurki) HNTs-g-Silica tworzy silną interakcję międzyfazową z żywicą poliestrową, co skutkuje zwiększonym przeniesieniem naprężeń [31] i dzięki temu lepszą udarnością.

Dobry wpływ na udarność wykazują również nanocząsteczki cynku, jak zostało przedstawione w pracy [32].

### WYTRZYMAŁOŚĆ NA ZGINANIE

Kompozyty na bazie żywic poliestrowych stosowane są w pojazdach lotniczych, morskich i samochodowych ze względu na swoją wytrzymałość i sztywność. Jednak mechaniczne parametry tych materiałów mogą być w znaczny sposób zmniejszone w przypadku uszkodzenia spowodowanego na przykład przez koncentrację naprężeń, jak i bezpośrednie uderzenie. Jest to szczególnie niebezpieczne w przemyśle lotniczym, gdzie często dochodzi do kolizji z ptakami w czasie lotu [33].

Przeprowadzono badania nad wpływem grafenowych nanorurek (GNS) na poprawę właściwości mechanicznych kompozytów na bazie żywic poliestrowych. Przy użyciu maksymalnie 0,05% wagowego dodatku dochodziło do znacznego poprawienia wytrzymałości na zginanie [34].

Ciekawym rozwiązaniem jest także domieszkowanie nanoglinką kompozytu na bazie żywic poliestrowych zbrojonych włóknem wacka. Wytrzymałość na zginanie kompozytu domieszkowanego nanoglinką jest nawet o 55% wyższa niż w przypadku kompozytu bez domieszki [35].

Podobnie jak w przypadku udarności wykazano również bardzo dobry wpływ nanocząsteczek cynku na wytrzymałość na zginanie w przypadku zastosowań dla kompozytu z włóknem palmowym [36].

### PODSUMOWANIE

Nanododatki mają szerokie zastosowanie w modyfikowaniu właściwości kompozytów opartych na żywicach poliestrowych.

Umożliwiają one jeszcze lepsze dostosowanie parametrów materiału do rygorystycznych wymagań narzucanych przez branże takie jak lotnictwo i budownictwo. W przeglądzie omówiono aktualny stan badań nad kilkoma podstawowymi parametrami kompozytów. Konieczne są jednak dalsze badania nad różnymi nanododatkami, które w jeszcze lepszy sposób będą poprawiały właściwości kompozytów na bazie żywic poliestrowych.

### LITERATURA

- [1] W. Królikowski, Z. Kłosowska-Wołkowicz, P. Penczek: Żyvice i laminaty poliestrowe, 2nd ed. Warszawa, 1986.
- [2] Z. Kłosowska-Wołkowicz, Penczek Piotr, W. Królikowski, P. Czub, J. Pielichowski, and R. Ostysz, Nienasycone żywice poliestrowe. 2010.
- [3] Y. Tsukumo, K. Miyasaka, K. Ishikawa: Tensile yield stress of polypropylene composites filled with ultrafine particles, 1983.
- [4] L. Li, H. Zou, L. Shao, G. Wang, J. Chen: Study on mechanical property of epoxy composite filled with nano-sized calcium carbonate particles.
- [5] N. Merah, O. Mohamed: Nanoclay and Water Uptake Effects on Mechanical Properties of Unsaturated Polyester, 2019, doi: 10.1155/2019/8130419.
- [6] S. C. See, Z. Y. Zhang, M. O. W. Richardson: A study of water absorption characteristics of a novel nano-gelcoat for marine application, Progress in Organic Coatings, vol. 65, no. 2, pp. 169–174, Jun. 2009, doi: 10.1016/J.PORGCOAT.2008.11.004.
- [7] S. Firdosh, H. N. Narasimha Murthy, G. Angadi, N. Raghavendra: Investigation of water absorption characteristics of nano-gelcoat for marine application, Progress in Organic Coatings, vol. 114, pp. 173–187, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.PORGCOAT.2017.10.004.
- [8] F. Bensadoun, N. Kchit, C. Billotte, F. Trochu, E. Ruiz: A Comparative Study of Dispersion Techniques for Nanocomposite Made with Nanoclays and an Unsaturated Polyester Resin, Journal of Nanomaterials, vol. 2011, p. 12, 2011, doi: 10.1155/2011/406087.
- [9] C. Arumugam, G. S. Arumugam, A. Ganesan, S. Muthusamy: Mechanical and Water Absorption Properties of Short Banana Fiber/ Unsaturated Polyester/ Molecular Sieves + ZnO Nanorod Hybrid Nanobiocomposites, 2021, doi: 10.1021/acsomga.1c02662.

REKLAMA

www.bapco.eu

BEST FORMULAS  
ONE CHOICE.

KLEJE  
KOMPOZYTOWE  
JEDNOSKŁADNIKOWE W AEROSZLU

BEST ADHESIVE  
PRODUCTS  
bapco

INFO@BAPCO.EU, TEL.: +48 533 056 873

- [10] S. Sugiman, P. D. Setyawan, M. Maryudi, S. Madnasri, Water absorption, tensile, flexural and impact properties of aged bamboo fibre/nano CaCO<sub>3</sub>-modified unsaturated polyester composites, *Journal of Applied Science and Engineering*, vol. 24, no. 2, pp. 239–251, doi: 10.6180/jase.202104\_24(2).0013.
- [11] A. B. Morgan: The Future of Flame Retardant Polymers – Unmet Needs and Likely New Approaches, <https://doi.org/10.1080/15583724.2018.1454948>, vol. 59, no. 1, pp. 25–54, Jan. 2018, doi: 10.1080/15583724.2018.1454948.
- [12] S. T. Lazar, T. J. Kolibaba, J. C. Grunlan: Flame-retardant surface treatments, *Nature Reviews Materials* 2020 5:4, vol. 5, no. 4, pp. 259–275, Jan. 2020, doi: 10.1038/s41578-019-0164-6.
- [13] G. Peng, Q. Li, Y. Yang, H. Wang, W. Li: Effects of nano ZnO on strength and stability of unsaturated polyester composites, *Polymers for Advanced Technologies*, vol. 19, no. 11, pp. 1629–1634, 2008, doi: 10.1002/pat.1179.
- [14] R. Davis, M. Zammarano, N. Marsh, P. Donnelly, S. McQueen, A. Raghunathan: Workshop report: research roadmap for reducing the fire hazard of materials in the future, Mar. 2018, doi: 10.6028/NIST.SP.1220.
- [15] A. A. Sertsova, S. I. Marakulin, E. v. Yurtov: Metal compound nanoparticles: Flame retardants for polymer composites,” *Russian Journal of General Chemistry*, vol. 87, no. 6, pp. 1395–1402, Jun. 2017, doi: 10.1134/S1070363217060421.
- [16] S. P. B. Sousa, M. C. S. Ribeiro, P. R. O. Nóvoa, C. M. Pereira, A. J. M. Ferreira: Mechanical behaviour assessment of unsaturated polyester polymer mortars filled with nano-sized Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZrO<sub>2</sub> particles, *Ciencia e Tecnologia dos Materiais*, vol. 29, no. 1, 2017, doi: 10.1016/j.ctmat.2016.08.002.
- [17] Z. Chen, Y. Yu, Q. Zhang, Z. Chen, T. Chen, J. Jiang: Preparation of phosphorylated chitosan-coated carbon microspheres as flame retardant and its application in unsaturated polyester resin, *Polymers for Advanced Technologies*, vol. 30, no. 8, pp. 1933–1942, Aug. 2019, doi: 10.1002/PAT.4625.
- [18] B. K. Kandola, S. Nazare, A. R. Horrocks: Thermal Degradation Behaviour Of Flame-Retardant Unsaturated Polyester Resins Incorporating Functionalised Nanoclays Fire retardancy and protection of materials; Fire retardancy of polymers: new applications of mineral fillers; FRPM’03, 2003.
- [19] B. K. Kandola, S. Nazaré, A. R. Horrocks, P. Myler: Effect of Layered Silicate Nanocomposites on Burning Behavior of Conventionally Flame-Retarded Unsaturated Polyesters, pp. 155–171, Nov. 2005, doi: 10.1021/BK-2006-0922.CH013.
- [20] B.S.B.S.S.H.P.D. Gilman JW, Fire Retardancy of Polymers: New Applications of Mineral Fillers. 2005. Accessed: Jun. 18, 2022. [Online]. Available: [https://books.google.pl/books?hl=pl&lr=&id=dTiL9MSqLgMC&oi=fnd&pg=PR24&dq=Gilman+JW,+Bourbigot+S,+Bellayer+S,+Stretz+H,+Paul+DR.+In+Fire+Retardancy+of+Polymers+New+Application+of+Mineral+Fillers,+Le+Bras+M,+Wilkie+CA,+Bourbigot+S,+Duquesne+S,+Jama+C+\(eds\).+The+Royal+Society+of+Chemistry:+Cambridge,+UK,+2005%3B+177%E2%80%9393186.&ots=k1wCN8Sjzd&sig=b6dILD46c21NFwg6eMzfO-EcLNs&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.pl/books?hl=pl&lr=&id=dTiL9MSqLgMC&oi=fnd&pg=PR24&dq=Gilman+JW,+Bourbigot+S,+Bellayer+S,+Stretz+H,+Paul+DR.+In+Fire+Retardancy+of+Polymers+New+Application+of+Mineral+Fillers,+Le+Bras+M,+Wilkie+CA,+Bourbigot+S,+Duquesne+S,+Jama+C+(eds).+The+Royal+Society+of+Chemistry:+Cambridge,+UK,+2005%3B+177%E2%80%9393186.&ots=k1wCN8Sjzd&sig=b6dILD46c21NFwg6eMzfO-EcLNs&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).
- [21] S. Nazaré, B. K. Kandola, A. R. Horrocks: Flame-retardant unsaturated polyester resin incorporating nanoclays, *Polymers for Advanced Technologies*, vol. 17, no. 4, pp. 294–303, Apr. 2006, doi: 10.1002/PAT.687.
- [22] M. Tanoglu, A. Tugrul Seyhan: Investigating the effects of a polyester preforming binder on the mechanical and ballistic performance of E-glass fiber reinforced polyester composites, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 23, no. 1, pp. 1–8, 2003, doi: 10.1016/S0143-7496(02)00061-1.
- [23] S. N. E. Naqvi, S. Naveed, S. H. Javaid, N. Ramzan: ENHANCING THE CHEMICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF UPR, *Journal of Quality and Technology Management*, vol. X, 2014.
- [24] N. Hasegawa, H. Okamoto, M. Kato: Preparation and Mechanical Properties of Polypropylene-Clay Hybrids Based on Modified Polypropylene and Organophilic Clay, 1918.
- [25] E. Petrovicova, R. Knight, L. S. Schadler, T. E. Twardowski: Nylon 11/Silica Nanocomposite Coatings Applied by the HVOF Process. II. Mechanical and Barrier Properties,” 2000.
- [26] X. Fu, S. Qutubuddin: Polymer-clay nanocomposites: exfoliation of organophilic montmorillonite nanolayers in polystyrene. [Online]. Available: [www.elsevier.nl/locate/polymer](http://www.elsevier.nl/locate/polymer)
- [27] Y. Wang, L. Zhang, C. Tang, D. Yu: Preparation and Characterization of Rubber-Clay Nanocomposites,” 2000.
- [28] G.-M. Kim, D.-H. Lee, B. Hoffmann, J. Kressler, G. Sto Čpplmann: Influence of nano fillers on the deformation process in layered silicate/ polyamide-12 nanocomposites. [Online]. Available: [www.elsevier.nl/locate/polymer](http://www.elsevier.nl/locate/polymer)
- [29] M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. X. Zheng, H. M. Zeng, R. Walter, K. Friedrich: Structure-property relationships of irradiation grafted nano-inorganic particle filled polypropylene composites. [Online]. Available: [www.elsevier.nl/locate/polymer](http://www.elsevier.nl/locate/polymer)
- [30] R. Baskaran, M. Sarojadevi, C. T. Vijayakumar: Unsaturated polyester nanocomposites filled with nano alumina, *Journal of Materials Science*, vol. 46, no. 14, pp. 4864–4871, Jul. 2011, doi: 10.1007/s10853-011-5398-7.
- [31] J. Lin et al.: In-situ fabrication of halloysite nanotubes/silica nano hybrid and its application in unsaturated polyester resin, *Applied Surface Science*, vol. 407, pp. 130–136, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.apsusc.2017.02.149.
- [32] G. Peng, Q. Li, Y. Yang, H. Wang, W. Li: Effects of nano ZnO on strength and stability of unsaturated polyester composites, *Polymers for Advanced Technologies*, vol. 19, no. 11, pp. 1629–1634, 2008, doi: 10.1002/pat.1179.
- [33] M. Monti, M. Natali, R. Petrucci, J. M. Kenny, L. Torre: Carbon nanofibers for strain and impact damage sensing in glass fiber reinforced composites based on an unsaturated polyester resin, *Polymer Composites*, vol. 32, no. 5, pp. 766–775, May 2011, doi: 10.1002/pc.21098.
- [34] S. Swain: Synthesis and characterization of graphene based unsaturated polyester resin composites, *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, vol. 14, no. 2, pp. 53–58, Apr. 2013, doi: 10.4313/TEEM.2013.14.2.53.
- [35] S. P. Kumar Gudapati, C. Vamsi Krishna, A. v. Ratna Prasad: Effect of nano clay on tensile and flexural properties of vakka fiber polyester composites, in *Materials Today: Proceedings*, 2019, vol. 18, pp. 2032–2035. doi: 10.1016/j.matpr.2019.05.456.
- [36] A. Devaraju, P. Sivasamy, G. B. Loganathan: Mechanical properties of polymer composites with ZnO nano-particle, in *Materials Today: Proceedings*, 2020, vol. 22, pp. 531–534. doi: 10.1016/j.matpr.2019.08.146.

---

Artykuł został opublikowany w czasopiśmie  
„Inżynieria Materiałowa” nr 4/2022.

---

**mgr inż. Dominik Stęпка**  
Politechnika Krakowska



# Wspólny cel: realizacja idei zrównoważonego rozwoju

Od branży motoryzacyjnej, poprzez lotniczą, aż po sektor mobilności miejskiej – eksperci i wizjonerzy dyskutowali na temat zwań, trendów oraz nowych szans rynkowych oraz możliwości technologicznych podczas ENGEL Mobility Days 2023, w których jako partner uczestniczyła również firma KTM Technologies, odbywających się w Austrii. Dwudniowa impreza ze światowej klasy prelegentami i nowatorskimi eksponatami maszyn jest wydarzeniem networkingowym, powstałym z połączenia i rozszerzenia zakresu tematycznego dotychczasowych konferencji: ENGEL trend.scout oraz Lightweight Future Day.

## **EFEKTYWNA, KOMPOZYTOWA KONSTRUKCJA LEKKA Z WYKORZYSTANIEM TERMOPLASTÓW**

Lekka konstrukcja odgrywa kluczową rolę w osiągnięciu celów związanych z ochroną klimatu. Dzięki własnemu, interdyscyplinarnemu centrum technologicznemu kompozytów konstrukcji lekkich w zakładzie produkcyjnym w St. Valentin w Austrii, ENGEL od ponad dziesięciu lat razem z przedsiębiorstwami partnerskimi rozwija innowacyjne rozwiązania kompozytowe. Najważniejszym celem badań rozwojowych są zintegrowane i zautomatyzowane procesy, umożliwiające ekonomiczną produkcję wielkoseryjną.

Prace badawczo-rozwojowe koncentrują się na zastosowaniu termoplastycznych materiałów z kompozytów włóknowych.

– Powodem tego są z jednej strony bardzo efektywne procesy przetwarzania termoplastów, a z drugiej większa równowaga – mówi Füreder. Konsekwentne stosowanie materiałów termoplastycznych ułatwia późniejszy recykling detali.

W technologii ENGEL organomelt przetwarzane są termoplastyczne półprodukty z włókien kompozytowych – takie jak organoblachy i taśmy UD – które są formowane i funkcjonalizowane w jednym zintegrowanym kroku roboczym. W ramach funkcjonalizacji żebra usztywniające lub elementy montażowe są obtryskiwane bezpośrednio po formowaniu w tej samej formie z wykorzystaniem termoplastu z grupy materiałów matrycowych organoblach.

Pierwszym wielkoseryjnym zastosowaniem tej technologii było uruchomienie w roku 2018 produkcji modułów w Valeo Front End w Smyrnie, Tennessee, USA. W oparciu o organoblachę produkowane są tam moduły front end ze zintegrowanym ciągiem nawiewu dla renomowanego niemieckiego OEM. Rozwiązanie systemowe dostarczane przez ENGEL do w pełni zautomatyzowanej produkcji seryjnej składa się z wtryskarki ENGEL duo 1700, trzech robotów przegubowych ENGEL easix do przygotowania szeregu wkładanych modułów metalowych i do obsługi organoblachy, robota liniowego viper 90 i pieca na podczerwień ENGEL IR.

Dzięki konstrukcji dwuskorupowej kanały powietrza można było zintegrować bezpośrednio ze strukturą nośną. Obie półskorupy produkowane są w procesie one shot. W tym celu obie organoblachy rozgrzewa się jednocześnie w piecu IR, a następnie umieszcza w formie, gdzie są formowane i funkcjonalizowane.

## **INNOWACYJNY RECYKLING ELEMENTÓW Z KOMPOZYTÓW WŁÓKNOWYCH**

Recykling wzmacnianych włóknem elementów kompozytowych jest kolejnym istotnym punktem badań rozwojowych w centrum technologicznym kompozytów do konstrukcji lekkich ENGEL. – Spodziewamy się, że recykling samochodów w przyszłości będzie dostarczał do obiegów surowców wielu posortowanych,

wzmacnianych włóknem szklanym detali z poliamidu i polipropylenu. Jednocześnie podczas rozdrabniania włókna szklane zostają skrócone. Aby móc produkować z odzyskiwanych materiałów ponownie wysokiej jakości detale kompozytowe, przy obróbce recyklatów konieczne jest dodanie nowych włókien – objaśnia Fischer. – W tym miejscu pracujemy nad koncepcją, która umożliwi ustawianie właściwości produktu w sposób wysoce efektywny.

## **OGNIWA PALIWOWE NAPĘDZAJĄ INNOWACJE**

Alternatywne technologie napędu otwierają także nowe możliwości dla branży przetwórczej.

– W Europie intensywnie pracuje się nad technologiami wodorowymi, zwłaszcza w dziedzinie samochodów ciężarowych – mówi Fischer. – Poprzez joint venture Cellcentric Daimler Truck i Volvo Group łączą swoje doświadczenia w opracowywaniu i produkcji systemów ogniw paliwowych. Jako dostawcę technologii wybrano ENGEL.

Decydujące znaczenie miały tu kompetencje ENGEL w obróbce elastomerów, a zwłaszcza silikonu płynnego (LSR). Ogniwa paliwowe wymagają wielu uszczelnień, które po części natryskuje się bezpośrednio na podzespoły z metalu lub tworzywa sztucznych. Do tego dochodzą przepusty kablowe wytwarzane z LSR.

Płyty dwubiegunowe, których niezbędne jest kilkadziesiąt na każde ogniwo paliwowe, wykonane są z metalu, ale Fischer jest przekonany, że w dłuższej perspektywie może się to zmienić.

– Opracowujemy już rozwiązania wtryskowe do płyt dwubiegunowych na bazie termoplastów. Wyzwaniem jest grubość płytki zaledwie kilku dziesiętnych części milimetra. Aby ją uzyskać, łączymy technologie cienkościenne z wytłaczaniem natryskowym.

W przypadku obudów i wanien akumulatorów w pojazdach elektrycznych, hybrydowych i z ogniwami paliwowymi również coraz częściej termoplasty zastępują blachy stalowe i aluminiowe. Przykładowo Envalior – powstały z DSM Engineering Materials i obszaru High Performance Materials Lanxess – stworzył nowoczesną wannę akumulatorową z poliamidu o dużej zawartości włókna szklanego. Ścianki mają grubość poniżej 7 mm przy masie wtrysku 60 kg.

– Wyzwaniem jest możliwość stabilnej kompensacji obciążeń w konstrukcji tworzywa sztucznego – objaśnia Fischer. – Ponadto gabarytowy detal i bardzo wysoka masa wtrysku wymagają bardzo dużej wtryskarki. Projektujemy bazując na maszynie gabarytowej ENGEL duo o sile zwarcia 8000 ton.

Źródło: [www.engelglobal.com](http://www.engelglobal.com)

# Polimerowe kompozyty chroniące systemy elektroniczne przed promieniowaniem mikrofalowym

Wojciech Jerzy Głuszewski, Roman Kubacki

Technologie radiacyjne pozwalają sieciować polimery w dowolnej temperaturze. Najczęściej dla wygody jest to temperatura otoczenia. W przypadku kompozytów wzmacnia się w ten sposób tzw. zbrojenie po uformowaniu wyrobu. W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań nad modyfikacją promieniowaniem gamma ( $\gamma$ ) oraz wiązką elektronów (EB) kompozytów zawierających: elastomer Engage 8200, szkło metaliczne i grafit. Materiały tego typu są skuteczne w ochronie przed działaniem promieniowań mikrofalowych i radiowych. Celem prac było znalezienie nowego materiału absorpcyjnego o mniejszej lub znacznie mniejszej wadze w porównaniu z typowymi ferrytami, wysokiej elastyczności i możliwości rozwijania na powierzchni ziemi, wytrzymałości mechanicznej na naciski, np. przejazd pojazdem mechanicznym. Porównano właściwości elastomerów sieciowanych za pomocą nadtlenków i promieniowania jonizującego. Zbadano również mieszane sposoby tworzenia wiązań poprzecznych: nadtlenkowo/radiacyjne i radiacyjno/nadtlenkowe. Określono wielkości dawek optymalnych dla podsieciowania elastomerów.

Badania prowadzono w kontekście ochrony urządzeń i podzespołów elektronicznych, w których znajdują się układy elektroniczne. Mogą one ulec bezpowrotnemu zniszczeniu pod wpływem wysokomocowych impulsów elektromagnetycznych – HPM. Generatory HPM są stosowane do działań wojskowych, ale mogą być również użyte w atakach terrorystycznych oraz przestępczych. Skutki przerwania pracy, uszkodzenia lub zniszczenia systemów elektrycznych bądź elektronicznych są szczególnie niebezpieczne dla: transportu drogowego, kolejowego i lotniczego oraz energetyki i telekomunikacji.

## WYSOKOMOCOWE IMPULSY MIKROFALOWE

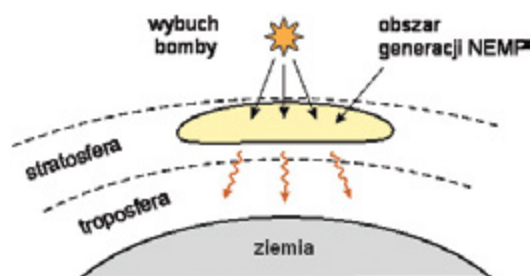
Współczesne urządzenia i systemy elektroniczne są mało odporne na oddziaływanie promieniowania mikrofalowego. Powstałe przepięcia i indukowane prądy są przyczyną utraty sprawności lub uszkodzeń podzespołów, a tym samym funkcjonalności danego przyrządu bądź całego systemu. Największe zagrożenie stanowi impuls elektromagnetyczny, który można wytworzyć przy wykorzystaniu celowo zbudowanych generatorów mikrofal dużej mocy [1]. Wysokomocowe impulsy promieniowania mikrofalowego, nazywane również skrótowo HPM (*High Power Microwaves*), charakteryzują się bardzo krótkim czasem trwania (rzędu nanosekund) i wielką mocą (rzędu kilku gigawatów). Moc impulsów jest od 1 000 do 10 000 razy wyższa, a czas trwania od 500 do 1000 razy krótszy od impulsów radarowych. Urządzenia emitujące impulsy HPM często nazywane są bombą E lub bronią elektromagnetyczną ze względu na możliwość powodowania nieodwracalnych uszkodzeń sprzętu elektronicznego znajdującego się w zasięgu ich rażenia. Przykładowe urządzenie do generacji impulsów HPM, na bazie generatora Marksa przedstawiono na rys. 1. Cały zestaw waży 23 kg, jest łatwy do pozyskania i może być skutecznie wykorzystany do celów terrorystycznych, gdyż na-

tężenie pola elektrycznego w impulsie wynosi 250 kV/m, przy czasie trwania impulsów ok. 5 ns. Generator zasilany jest ze specjalistycznych baterii i może emitować kilkadziesiąt impulsów na sekundę.

Wysokomocowe impulsy elektromagnetyczne są również generowane podczas wybuchu jądrowego. Obecnie w arsenałach wojskowych istnieją specjalistyczne bomby przystosowane głównie do generacji impulsów elektromagnetycznych i do zwalczania urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Impulsy te nazywane są jako NEMP (*Nuclear Electromagnetic Pulse*).

Zasada wytwarzania impulsów NEMP jest następująca. Wybuch bomby wytwarza potężną emisję promieniowania gamma. Jeżeli bomba jest detonowana na znacznych wysokościach nad powierzchnią ziemi, wtedy fotony gamma, przechodząc przez warstwę stratosfery, jonizują atmosferę, uwalniając wolne elektrony, zwane elektronami Comptona. Jest to obszar, który należy uznać za przestrzeń generacji promieniowania elektromagnetycznego, gdyż elektrony Comptona podczas swojego ruchu zderzają się z cząsteczkami powietrza, wywołując wtórne pary jonów i elektronów. Poprzez rozdział ładunku wytwarza się silne pole elektromagnetyczne. Jest to źródło impulsu elektromagnetycz-

Rys. 1. Walizkowe urządzenie generujące impulsy HPM typu DS-110 produkcji niemieckiej



Rys. 2. Mechanizm generacji impulsów elektromagnetycznych typu NEMP

nego (NEMP), które dociera do powierzchni ziemi. Mechanizm generacji impulsu NEMP w stratosferze przedstawiono na rys. 2.

Impuls NEMP jest tak silny, że uwzględnia się go, jako jeden z czynników masowego rażenia elektroniki. Przy odpowiednim przeprowadzeniu wybuchu może on odgrywać pierwszoplanową rolę przy niszczeniu urządzeń i systemów elektronicznych na przykład infrastruktury krytycznej czy satelitów. W lipcu 1962 roku dokonano nad Oceanem Spokojnym na wysokości 400 kilometrów eksperymentalnej detonacji bomby termojądrowej (test *Starfish Prime*). Impuls elektromagnetyczny był znacznie większy niż się spodziewano, w efekcie nie dokonano dokładnych pomiarów, gdyż zabrakło skali na przyrządach. Impuls spowodował uszkodzenie urządzeń elektrycznych na Hawajach oddalonych od epicentrum eksplozji o około 1445 kilometrów. Ponadto promieniowanie uszkodziło kilka satelitów, w tym pierwszego prawdziwego satelitę komunikacyjnego Telstar 1 i pierwszego satelitę brytyjskiego Ariel 1.

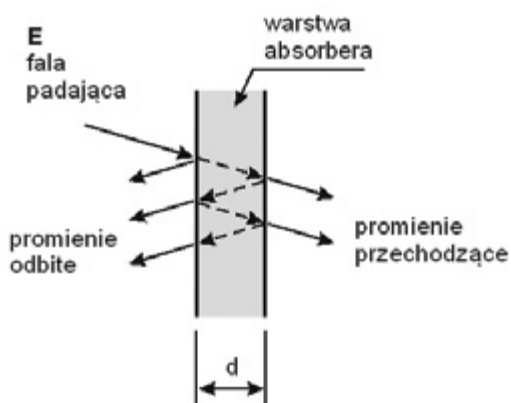
Istnieje zatem konieczność opracowania skutecznych absorberów przeznaczonych do zabezpieczeń (osłon) urządzeń elektronicznych przed szkodliwymi impulsami promieniowania elektromagnetycznego [2]. Należy również mieć na uwadze to, aby proponowany absorber charakteryzował się wysoką odpornością na zmienne warunki atmosferyczne, gdyż w dużej mierze zapotrzebowanie na taki absorber występuje dla obiektów zewnętrznych.

### SKUTECZNOŚĆ EKRANOWANIA

Wyróżnia się dwa mechanizmy ekranowania urządzeń ekspozowanych na promieniowanie elektromagnetyczne: absorpcja promieniowania wewnątrz materiału ekranującego (absorbera) oraz odbicie promieniowania od powierzchni materiału ekranującego. Do ilościowego opisu fali przechodzącej przez warstwę absorbera wykorzystuje się model tzw. „wielokrotnych odbić”. Promieniowanie przechodzące przez absorber jest tłumione. Schemat wielokrotnych odbić fali elektromagnetycznej w warstwie materiału przedstawiono na rys. 3.

Dobre materiały ekranujące powinny charakteryzować się wysokim poziomem pochłaniania energii padającej fali elektromagnetycznej w objętości czynnej absorbera. W poszukiwaniu dobrego absorbera powinno się więc przyjąć założenie ograniczenia poziomu promieniowania odbitego. Warunek ten jest szczególnie istotny, gdy falą padającą są wysokomocowe impulsy HPM.

Materiały wykorzystywane do ekranowania i pochłaniania można scharakteryzować ilościowo za pomocą parametru, jakim jest „skuteczność ekranowania” SE (*Shielding Effectiveness*). Zależy on od wielu czynników, do których zaliczyć można: częstotliwość padającej fali elektromagnetycznej oraz kształt i grubość absorbera (rys. 3).



Rys. 3. Promienie odbite i przechodzące przez absorber

### TWORZYWA POLIMEROWE

Techniki radiacyjne pozwalają w stosunkowo prosty sposób indukować w polimerach wolne rodniki. Zjawiska te zachodzą w dowolnej temperaturze. Zwykle jest to temperatura otoczenia, ale równie dobrze mogą to być warunki kriogeniczne. W przypadku wielu polimerów rekombinacja rodników prowadzi do powstania wiązań poprzecznych. W ten sposób można w korzystny sposób zmieniać właściwości tworzywa, łatwo kontrolując proces sieciowania wielkością dawki pochłoniętej (czasem napromieniowania) [3].

W przypadku kompozytów barierowych dla promieniowań mikrofalowych zjawisko radiacyjnego sieciowania polimeru już po uformowaniu wyrobu można połączyć z korzystną modyfikacją ferromagnetyku [4]. Inżynieria defektów jest osobnym tematem, którym nie będziemy się tutaj zajmować. Z punktu widzenia radiolizy istotne jest, że cząstki proszku metalicznego szkła dodatkowo umocowuje się w matrycy poprzez zarastanie ich wiązaniami poprzecznymi. Obróbkę radiacyjną prowadzi się za pomocą wiązki elektronów (EB), promieniowania gamma ( $\gamma$ ) lub promieniowania hamowania.

Do badań, jako matryce kompozytu, wytypowano polimery o nazwie handlowej Engage™ (elastomery poliolefinowe (POEs) typu etylen/okten lub etylen/buten). Stanowią one w istocie połączenie materiałów polimerowych z elastomerami. Pozwalają na produkcję lżejszych, cieńszych olefin termoplastycznych (TPO) o zwiększonej sztywności, wytrzymałości na uderzenia, lepszym dopasowaniu i wykończeniu oraz zmniejszonym czasie cyklu w stosunku do wiodących obecnie tworzyw polimerowych.

Radiacyjne sieciowanie Engage jest interesującym przykładem modyfikacji polimerów za pomocą promieniowania jonizującego. Znaczenie praktyczne może mieć połączenie tradycyjnego sieciowania (z wykorzystaniem nadtlenków) z wtórnym sieciowaniem radiacyjnym, jak również proces nadtlenkowej wulkanizacji poprzedzony radiacyjną modyfikacją. Jednym z celów pracy było opisanie wpływu sposobów sieciowania na właściwości mechaniczne i odporność na starzenie elastomerów (tabela 1). W szczególności zwrócono uwagę na wpływ efektów ochronnych aromatycznych dodatków do elastomeru (nadtlenki, termi i fotostabilizatory) na zjawiska sieciowania i postradiacyjnego utleniania [6]. W badaniach w oryginalny sposób zastosowano metodę chromatografii gazowej [5]. Za jej pomocą określano wydajności radiacyjne wydzielania wodoru i wydajności pochłaniania tlenu przez tworzywo. Do badań produktów utleniania powierzchni elastomeru zastosowano spektroskopię absorpcyjną w wersji odbiciowej światła rozproszonego (DRS). Polimer Engage 8200 badano w formach: granulatu, folii, folii z dodatkiem nadtlenku, folii z dwukrotnie większą ilością nadtlenku, wulkanizowanej folii oraz dwóch wulkanizowanych folii z dodatkami nadtlenków. Wykazano, że w zakresie od 20 do 300 kGy stopień usieciowania jest proporcjonalny do wielkości dawki pochłoniętej promieniowania. Udowodniono, że stopień sieciowania elastomerów jest propor-



Rys. 4. Kobaltowe źródła promieniowania gamma o różnych mocach dawki w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie

Tabela 1. Oznaczenia A, B - elastomery bez dodatku nadtlenu modyfikowane tylko radiacyjnie, WR1 - wulkanizacja i napromieniowanie folii z nadtlakiem, WR2 - podwójna ilość nadtlaku, RW1 - napromieniowanie i wulkanizacja folii z nadtlakiem, RW2 - z podwójną ilością nadtlaku. Wielkości dawek pochłoniętych podano w kGy (kJ/kg)

Engage 8200, napromieniowanie					
	A		B		
	0 kGy	50 kGy	100 kGy	200 kGy	300 kGy
Wytrzymałość MPa	6,7	9,7	9,5	8,4	6,2
Wydłużenie przy zerwaniu %	901	869	828	696	509
Moduł 100% MPa	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2
Moduł 200% MPa	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8
Moduł 300% MPa	3,0	3,0	3,0	3,2	3,4
Twardość Shorea A, °ShA	71	69	68	67	67

Engage 8200, wulkanizacja + napromieniowanie								
	WR1				WR2			
	0 kGy	10 kGy	20 kGy	50 kGy	0 kGy	10 kGy	20 kGy	50 kGy
Wytrzymałość MPa	8,1	9,8	7,4	6,2	5,1	6,8	6,7	6,5
Wydłużenie przy zerwaniu %	690	675	627	559	477	458	476	470
Moduł 100% MPa	2	2,3	2,2	2,3	2,2	2,4	2,4	2,4
Moduł 200% MPa	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	3,1	3,1	3,0
Moduł 300% MPa	3,1	3,3	3,2	3,3	3,4	3,8	3,7	3,7
Twardość Shorea A, °ShA	69	67	69	68	70	70	69	70

cyjony do wydajności radiacyjnego wydzielenia wodoru. W ten sposób potwierdzono, że obróbka radiacyjna jest wygodnym narzędziem modyfikacji i kontroli stopnia usieciowania elastomeru.

### RADIACYJNE PODSIECIOWANIE

W badaniach wzięto pod uwagę możliwość podsieciowania elastomeru przed procesem klasycznej wulkanizacji. Maksymalna wielkość dawki, jaką można zastosować do wstępnej modyfikacji, określono, badając wskaźnik szybkości płynięcia (WSP) elastomerów. Powyżej pewnej dawki promieniowania liczba wiązań poprzecznych jest tak duża, że polimer nie nadaje się już do formowania w procesie nadtlakowej wulkanizacji (rys. 5). W przypadku elastomeru Engage 8200 maksymalną dawkę oceniono na około 20 do 30 kGy przy obróbce radiacyjnej promieniowaniem gamma. W przypadku zastosowania szybkich elektronów (większej mocy dawki) uzyskano wyższe wydajności sieciowania. Krótki czas napromieniowania ogranicza konkurujące z sieciowaniem zjawiska utleniania.

### BADANIA WŁASNOŚCI EKRANUJĄCYCH SZKŁA METALICZNEGO DOMIESZKOWANEGO GRAFITEM

Założono, że w materiałach kompozytowych wykorzysta się nową generację związków zawierających składniki ferromagnetyczne, które wykazują bardzo dobre własności tłumienia dla promieniowania elektromagnetycznego w szerokim zakresie częstotliwości. W celu uzyskania materiałów o niskim współczynniku odbicia i wysokim współczynniku pochłaniania energii promieniowania przeprowadzone zostały badania konstytutywnych parametrów miękkich materiałów magnetycznych (ferrytowych). Znane dotychczas materiały magnetyczne, w tym ferryty w zakresie mikrofalowym tracą swoje wysokie wartości przenikalności magne-

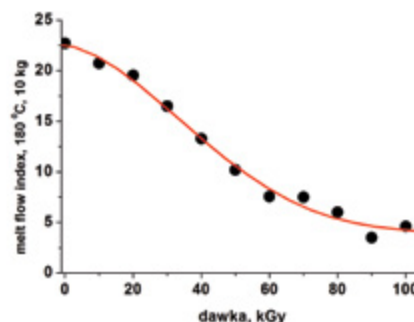
tycznej. Do badań użyto nowy stop na bazie żelaza lub kobaltu. Materiałem tym było szkło metaliczne Finemet (Fe73,5Si13,5B-9Nb3Cu1) opracowane przez Yoshizawę z firmy Hitachi. Zostały przeprowadzone pomiary dla różnych składów wagowych szkła metalicznego i grafitu. Ze względu na najbardziej obiecujące wyniki końcowe, do dalszych badań wybrano materiał o następującym składzie wagowym: szkło metaliczne (79%) z domieszką grafitu (1%) oraz elastomer Engage 8200 (29%). W celu poprawienia własności absorpcyjnych szkła metalicznego zostało ono radiacyjnie zmodyfikowane dawką 100 kGy w źródle promieniowania gamma (GC 5000) o mocy dawki 4,1 kGy/h (rys. 4). W tych warunkach nastąpiło również wzmocnienie tworzywa w wyniku sieciowania.

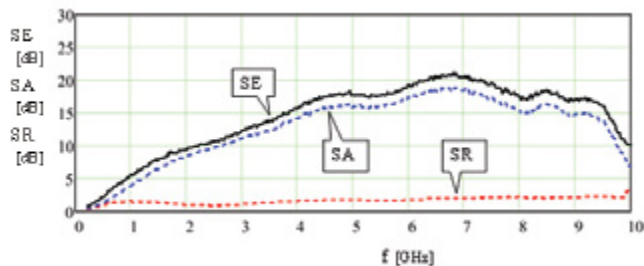
Pomiary skuteczności ekranowania przeprowadzono w zakresie częstotliwości od 100 MHz do 10 GHz, dla warstwy opracowanego materiału o grubości 5 mm – rys. 6. Skuteczność ekranowania składa się z dwóch składników, a mianowicie współczynnika odbicia (SR) oraz współczynnika pochłaniania (SA).

$$SE [dB] = SR [dB] + SA [dB]$$

- Współczynnik odbicia (SR) charakteryzuje poziom energii elektromagnetycznej odbitej od absorbera. Wskazano, aby wartość tego współczynnika była niska, gdyż duże poziomy odbitej energii mogą mieć negatywny wpływ na inne urządzenia elektroniczne znajdujące się w pobliżu.
- Współczynnik pochłaniania, czyli absorpcji (SA) obrazuje poziom absorpcji energii elektromagnetycznej. Z oczywistych powodów udział tego parametru powinien być dominujący w sumarycznej wartości skuteczności ekranowania. Dla badanego materiału skuteczność ekranowania rośnie z częstotliwością i osiąga największą wartość w zakresie często-

Rys. 5. Wpływ dawki promieniowania gamma na wartość wskaźnika szybkości płynięcia. Powyżej 20 kGy pojawiają się niestopione granulki polimeru





Rys. 6. Skuteczność ekranowania (SE), współczynnik odbicia (SR) oraz współczynnik pochłaniania (SA) pięciomilimetrowej warstwy absorbera

tlivości ok. 6,5 GHz. Przy zaproponowanym składzie materiałowym energia odbita od takiego absorbera jest znacznie niższa od energii pochłoniętej.

#### PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania elastomeru Engage do opracowania nowego typu modyfikowanych radiacyjnie kompozytowych materiałów elastomerowych służących do produkcji wyrobów chroniących przed działaniem promieniowania mikrofalowego. Zbadano własności mechaniczne i elektryczne kompozytu zawierającego elastomer, szkło metaliczne i grafit oraz wyznaczono jego skuteczność ekranowania.

Zastosowanie kompozytu elastomerowego powoduje, że materiał barierowy dla promieniowania mikrofalowego jest bardziej wytrzymały i zdecydowanie lżejszy niż standardowe płytki ferrytowe dostępne na rynku, do tego, szkło metaliczne wprowadza własności magnetyczne w częstotliwościach mikrofalowych. Dzięki takiemu rozwiązaniu materiał powoduje zmniejszenie odbicia promieniowania i skutecznie pochłania energię promieniowania wewnątrz absorbera. Za pomocą obróbki radiacyjnej uzyskano korzystną modyfikację zarówno właściwości materiałowych, jak i parametrów mechanicznych tworzywa polimerowego. Z analizy wyników przeprowadzonych pomiarów można wnioskować, że kompozyt jest obiecującym materiałem absorpcyjnym w zakresie mikrofal. Po dokładnych badaniach technologicznych można go w przyszłości wykorzystać przy rozwiązywaniu problemów ze zdolnością danego urządzenia elektrycznego lub elektronicznego

REKLAMA

do poprawnej pracy w określonym środowisku elektromagnetycznym (EMC, *Electro Magnetic Compatibility*).

W widmach DRS najmniejsze intensywności pików przypisywanych produktom postradiacyjnego utleniania odpowiadają wulkanizatom z dodatkiem nadtlenuków. Aromatyczne produkty ich rozkładu działają ochronnie w radiolizie elastomeru.

Badania nad sieciowaniem elastomerowych kompozytów mogą być kontynuowane w kontekście otrzymywania materiałów barierowych zarówno dla promieniowań elektromagnetycznych, jak i jonizujących [6]. Polimerowe kompozyty zawierające np. bizmut, żelazo, wanad lub baryt są rekomendowane jako zamienniki ołowiu w ochronie radiologicznej [7].

#### LITERATURA

- [1] R. Kubacki, W. Głuszewski, D. Laskowski, K. Rudyk, M. Kuchta: EMC microwave absorber for outdoor applications, *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 2018, Vol. 10, 7, 754-758.
- [2] W. Głuszewski, R. Kubacki: Polimerowe kompozyty w ochronie przed promieniowaniem mikrofalowym, *Nowa Energia*, 2022, 4, 65.
- [3] W. Głuszewski, Z.P. Zagórski, M. Rajkiewicz: The Comparison of Radiation and a Peroxide Crosslinking of Elastomers. *KGK und PV*, 2015, 11/12, 46-49 (15).
- [4] R. Mroczński, M. Szymańska, W. Głuszewski: Reactive magnetron sputtered hafnium oxide layers for nonvolatile semiconductor memory devices, *Journal of Vacuum Science and Technology B*, 2015, 1-5 (30).
- [5] W. Głuszewski: Efekty ochronne w radiolizie naturalnych i syntetycznych polimerów, *Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna*, 2022, 1, 123, 22-26.
- [6] H. Engelmann, W. Głuszewski: Kompozyty polimer-metal w ochronie radiologicznej, *Tworzywa Sztuczne w Przemysle*, 2016, 4, 56-57.
- [7] W. Głuszewski: Tworzywa polimerowe dla energetyki jądrowej, *Nowa Energia*, 2023, 2 (88), 52-54.

dr inż. Wojciech Jerzy Głuszewski  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej  
prof. dr. hab. Roman Kubacki  
Wojskowa Akademia Techniczna

**LAMIKOLOR**

ul. Słowackiego 12  
95-060 Brzeziny  
tel. 606-409-132  
e-mail: biuro@lamikolor.com.pl

**PRODUCENT  
ŻELKOTÓW  
TOPKOTÓW**



# Badania kinetyczne i reologiczne kompozytów stomatologicznych nowej generacji

Monika Topa-Skwarczyńska, Małgorzata Noworyta, Joanna Ortyl

Obecnie handlowo dostępne wypełnienia stomatologiczne otrzymywane są zazwyczaj na drodze fotopolimeryzacji rodnikowej, co powoduje często duży skurcz polimeryzacyjny otrzymywanych kompozytów. Skurcz polimeryzacyjny jest bardzo niepożądany w wypełnieniach stomatologicznych, gdyż może prowadzić do powstawania ubytków wtórnych. W tej pracy przedstawiono nowe światłoutwardzalne kompozyty dentystyczne otrzymane na drodze jednoczesnej fotopolimeryzacji kationowej oraz rodnikowej. Przeprowadzono badania kinetyki procesu fotopolimeryzacji techniką Real-Time FT-IR. Dokonano także pomiarów reologicznych z wykorzystaniem modułowego reometru kompaktowego MCR302e, w celu określenia skurczu polimeryzacyjnego badanych kompozytów.

Obecnie handlowo dostępne wypełnienia stomatologiczne produkowane są w głównej mierze z monomerów akrylanowych, które gwarantują duży stopień polimeryzacji. Niemniej jednak zastosowanie monomerów akrylanowych powoduje często znaczny skurcz polimeryzacyjny kompozytów [1,2]. Skurcz polimeryzacyjny jest niepożądany w wypełnieniach stomatologicznych. Może bowiem powodować tworzenie mikropęknięć wywołanych naprężeniem, złą adhezję fotoutwardzonego materiału do podłoża, delaminację (rozwarstwienia) powierzchni, deformację symetrii kształtów. Wszystko to może prowadzić do powstawania ubytków wtórnych. Dodatkowo skurcz polimeryzacyjny w materiałach kompozytowych może prowadzić do tworzenia się szczeliny brzeżnej między fotoutwardzalnym wypełnieniem a tkanką zęba, co w konsekwencji prowadzi do mikroprecieku. Ponadto skurcz polimeryzacyjny powoduje powstawanie naprężeń mechanicznych w wypełnieniu, co znacznie ogranicza jego wytrzymałość mechaniczną. Powszechnie jednak wiadomo, że monomery, które polimeryzują według mechanizmu kationowego charakteryzują się bardzo małym skurczem polimeryzacyjnym. Dlatego też zastosowanie fotoutwardzalnych systemów zawierających monomery o różnych mechanizmach polimeryzacji wydaje się interesującą alternatywą dla powszechnie stosowanych akrylanów. Formułacje złożone z monomeru polimeryzującego według mechanizmu kationowego oraz monomeru polimeryzującego według mechanizmu rodnikowego tworzą wzajemnie przenikające się sieci typu IPN (*Interpenetrating polymer network*). Fotoutwardzalne materiały polimerowe tworzące wzajemnie przenikające się sieci charakteryzują się mniejszym skurczem polimeryzacyjnym i lepszymi właściwościami adhezyjnymi.

Z drugiej strony, powszechnie stosowanym układem fotoinicjującym proces fotopolimeryzacji rodnikowej jest system dwuskładnikowy złożony z kamforochinonu i aminy aromatycznej. Na etapie generowania rodników w procesie fotolizy amina oddziałuje ze wzbudzoną cząsteczką kamforochinonu. Rodniki inicjujące proces polimeryzacji to głównie rodniki powstające z amin. Podstawowym problemem tego systemu jest fakt, że zbyt wysokie stężenie kamforochinonu w kompozytach stomatologicznych może powodować powstawanie żółtego zabarwienia, co w konsekwencji może wpływać niekorzystnie na estetykę

końcowego produktu. Ponadto aminy mogą wywoływać działanie cytotoksyczne i genotoksyczne [3–5].

Dlatego, w tej pracy przedstawiono nowe światłoutwardzalne kompozyty dentystyczne otrzymane na drodze jednoczesnej fotopolimeryzacji kationowej oraz rodnikowej. Przeprowadzono badania kinetyki procesu fotopolimeryzacji techniką Real-Time FT-IR. Dokonano także pomiarów reologicznych z wykorzystaniem modułowego reometru kompaktowego MCR302e, określając skurcz polimeryzacyjny kompozytów dentystycznych.

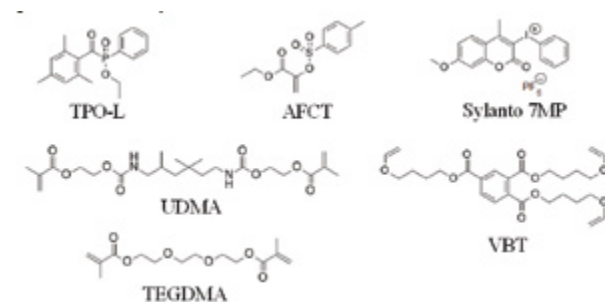
## CZEŚĆ EKSPERYMENTALNA

### Materiały

Do badań wytypowano dwa fotoinicjatory TPO-L oraz Sylanto 7MP. Jako monomery zastosowano mieszaninę monomerów polimeryzujących według mechanizmu rodnikowego: dimetakrylan uretanu i dimetakrylan glikolu trietylenowego (UDMA/TEGDMA) w stosunku wagowym 7:3 oraz monomer trimelinian tris[4-(winyloksy)butylu (VBT) polimeryzujący według mechanizmu kationowego. Zastosowano także przenośnik łańcucha AFCT w ilości 20 DB% (DB% – molowy udział procentowy reaktywnych wiązań podwójnych w kompozycji). Struktury związków przedstawiono na rys. 1.

### Przygotowanie próbek do monitorowania procesów fotopolimeryzacji metodą Real-time FT-IR oraz badań reologicznych

Przygotowano 6 kompozycji do badań procesu fotopolimeryzacji metodą FT-IR w czasie rzeczywistym oraz do badań reologicznych. Skład poszczególnych kompozycji przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Struktury wraz z akronimami związków użytych do badań

Tabela 1. Składy poszczególnych kompozycji

Nr kompozycji	Fotoinicjator (1% wag.)	Monomer	Przenośnik łańcucha
1	TPO-L	UDMA/TEGDMA 7:3	-
2	TPO-L	UDMA/TEGDMA 7:3	AFCT
3	Sylanto 7MP	VBT	-
4	Sylanto 7MP	VBT	AFCT
5	TPO-L+Sylanto 7MP	(UDMA/TEGDMA 7:3) + VBT	-
6	TPO-L+Sylanto 7MP	(UDMA/TEGDMA 7:3) + VBT 1:1	AFCT

Kompozycje o numerach 1, 3 oraz 5 nie zawierały przenośnika łańcucha. Natomiast kompozycje oznaczone jako 2, 4, 6 zawierały dodatkowo przenośnik łańcucha w ilości 20 DB%. Dodatkowo kompozycje oznaczone jako 5 oraz 6 przygotowano poprzez zmieszanie odpowiednio próbek 1 i 3 w stosunku wagowym 1:1, oraz próbek 2 i 4 w stosunku wagowym 1:1.

#### Aparatura i warunki pomiarowe

Do badań kinetycznych procesów fotopolimeryzacji oraz wyznaczenia stopni konwersji wykorzystano technikę FT-IR w czasie rzeczywistym. Układ złożony był ze spektrometru i10 Nicolet™ produkcji Thermo Scientific z wbudowaną odpowiednią przystawką horyzontalną przystosowaną do pomiarów online procesów fotopolimeryzacji próbek o grubości 1,4 mm. Fotoutwardzalne formułacje naniesiono na folie polipropylenowe (PP) na powietrzu. Jako źródło światła zastosowano diodę Vis-LED z maksimum emisji przy długości fali równej 405 nm (i intensywności na próbce 1,3 mW/cm<sup>2</sup>). Czas pomiaru wynosił 420 sekund. Sposób obliczenia końcowych konwersji pokazano w [6]. Natomiast badania reologiczne wykonano przy zastosowaniu modułowego reometru kompaktowego MCR302e, do którego podpięto diodę Vis-LED z maksimum emisji 405 nm i intensywności na próbce 1,3 mW/cm<sup>2</sup>. Grubość próbki w trakcie pomiaru wynosiła również 1,4 mm.

## WYNIKI

### Badania Real-Time FT-IR

Pierwszym etapem badań było przeprowadzenie pomiarów kinetycznych z wykorzystaniem techniki Real-Time FT-IR. Proces fotopolimeryzacji prowadzono przez 420 sekund przy naświetlaniu diodą Vis-LED z maksimum emisji przy długości fali równej 405 nm. Na rysunku 2 przedstawiono profile kinetyczne dla kompozycji (A) polimeryzującej według mechanizmu rodnikowego; (B)

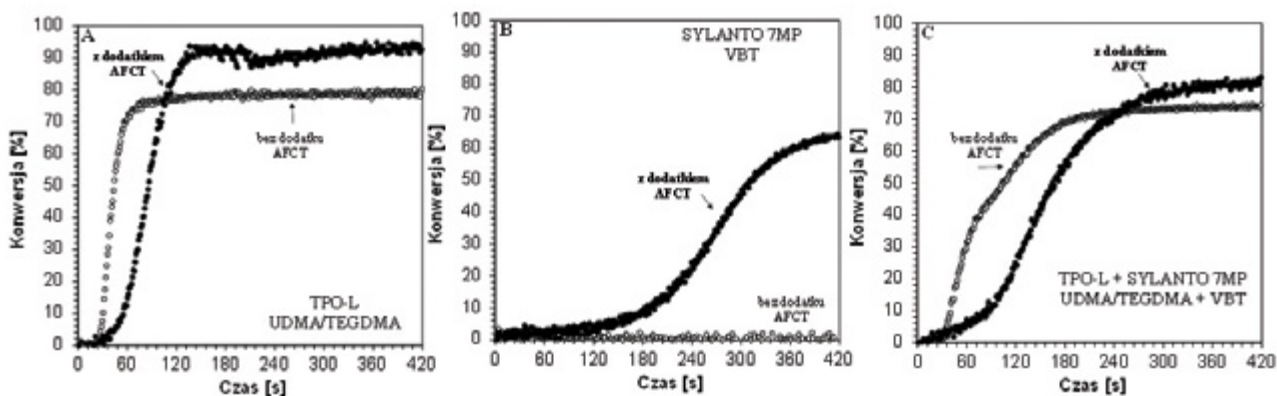
polimeryzującej według mechanizmu kationowego; (C) polimeryzującej według mechanizmu kationowego i rodnikowego.

W każdym z rozważanych przypadków zaobserwowano, że dodatek przenośnika łańcucha zwiększa końcowe stopnie konwersji kompozytów. Dodatkowo kompozycja złożona jedynie z fotoinicjatora Sylanto 7MP oraz monomeru VBT nie uległa fotopolimeryzacji. Dopiero dodatek przenośnika łańcucha do tej kompozycji spowodował, że uległa ona fotopolimeryzacji z konwersją równą 66,8%.

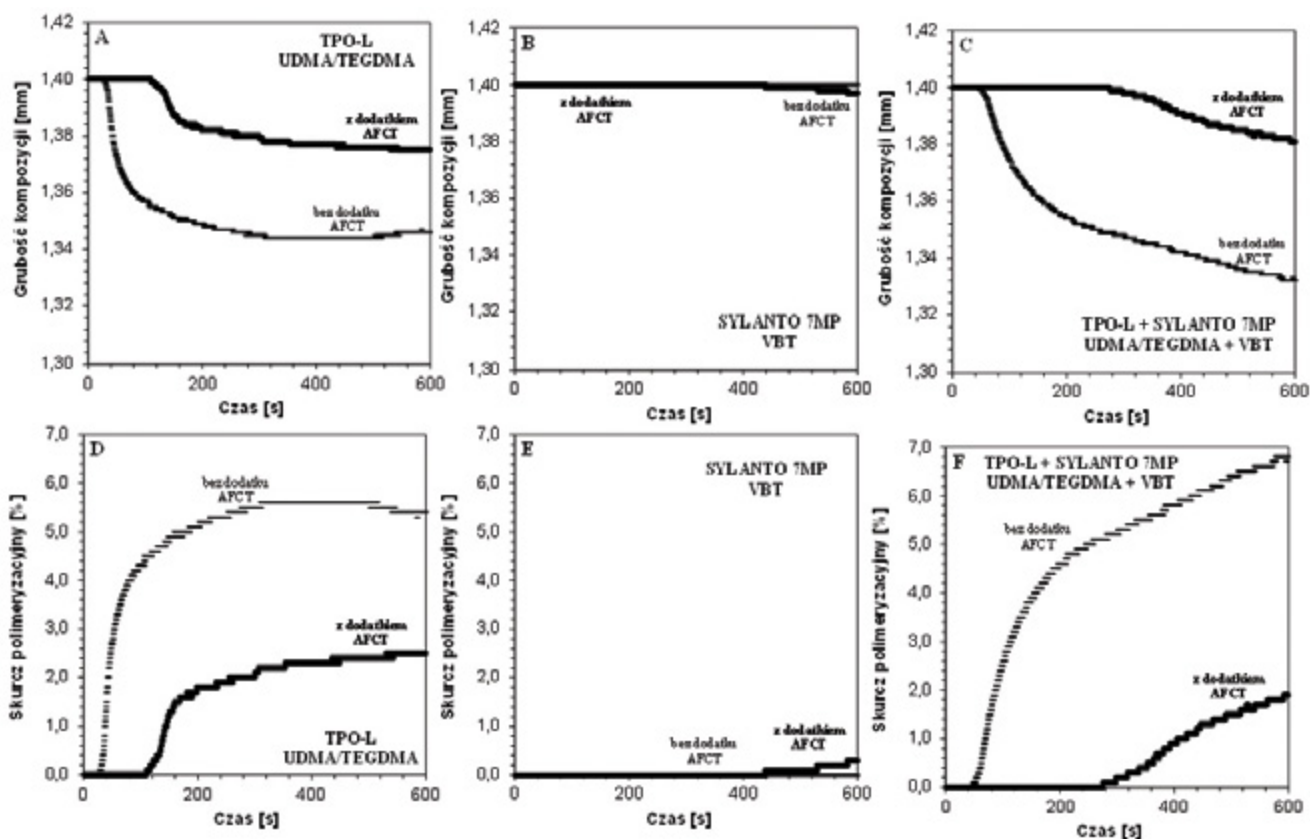
### Badania reologiczne

Przeprowadzono także pomiary skurczu polimeryzacyjnego kompozytów z wykorzystaniem kompaktowego reometru MCR302e z podpiętą diodą z maksimum emisji przy długości fali równej 405 nm. Każdą kompozycję naświetlano przez 600 sekund. Na rysunkach 3A, 3B oraz 3C zostały przedstawione grubości kompozycji w trakcie jej naświetlania, natomiast na rys. 3D, 3E, 3F obliczony skurcz polimeryzacyjny wyrażony w procentach.

W przypadku fotopolimeryzacji kationowej dla kompozycji złożonej z Sylanto 7MP i VBT oraz Sylanto 7MP i VBT z dodatkiem przenośnika łańcucha skurcz polimeryzacyjny nie zachodzi (rysunek 3B, 3E). W przypadku fotopolimeryzacji rodnikowej dla kompozycji złożonej z TPO-L i mieszaniny monomerów UDMA/TEGDMA skurcz polimeryzacji sięga do blisko 6%. Dodatek przenośnika łańcucha do tej kompozycji znacznie zmniejsza skurcz polimeryzacyjny, który wynosi nieco ponad 2% (rysunek 3A, 3D). Natomiast dla kompozycji mieszanej złożonej z zarówno monomerów polimeryzujących według mechanizmu kationowego, jak i rodnikowego obserwuje się znaczny skurcz polimeryzacyjny wynoszący 7%. Niemniej jednak dodatek przenośnika łańcucha do tej kompozycji powoduje, że skurcz polimeryzacyjny rozpoczyna się dopiero po 270 sekundach od naświetlania, a całkowity skurcz wynosi



Rys. 2. Profile kinetyczne dla kompozycji: (A) TPO-L, UDMA/TEGDMA oraz TPO-L, UDMA/TEGDMA, AFCT; (B) Sylanto 7MP, VBT oraz Sylanto 7MP, VBT, AFCT; (C) TPO-L + Sylanto 7MP, UDMA/TEGDMA + VBT oraz TPO-L + Sylanto 7MP, UDMA/TEGDMA + VBT, AFCT



Rys. 3. Zmiany w grubości kompozycji złożonej z (A) TPO-L, UDMA/TEGDMA oraz TPO-L, UDMA/TEGDMA, AFCT; (B) Sylanto 7MP, VBT oraz Sylanto 7MP, VBT, AFCT; (C) TPO-L + Sylanto 7MP, UDMA/TEGDMA + VBT oraz TPO-L + Sylanto 7MP, UDMA/TEGDMA + VBT, AFCT; zmiany w skurczu polimerizacyjnym dla kompozycji (A) TPO-L, UDMA/TEGDMA oraz TPO-L, UDMA/TEGDMA, AFCT; (B) Sylanto 7MP, VBT oraz Sylanto 7MP, VBT, AFCT; (C) TPO-L + Sylanto 7MP, UDMA/TEGDMA + VBT oraz TPO-L + Sylanto 7MP, UDMA/TEGDMA + VBT, AFCT

zaledwie 1,9%. Dodatek przenośnika łańcucha zawsze zmniejsza skurcz polimerizacyjny kompozycji, co jest pożądane w produkcji kompozytów dentystycznych.

### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W prezentowanym artykule przedstawiono nowo opracowane kompozyty stomatologiczne charakteryzujące się obniżonym skurczem polimerizacyjnym. Wykazano, że dodatek przenośnika łańcucha do kompozytów dentystycznych polimerizujących według mechanizmu rodnikowego i kationowego znacznie obniża końcowy skurcz polimerizacyjny tych wypełnień.

### LITERATURA

- [1] H.Y. Marghalani: Handbook Of Bioceramics And Biocomposites. Berlin/Heidelberg, Germany: 1st Ed.; Springer, 2014; ISBN 9783319092300.
- [2] A.A. Zandinejad, M. Atai, A. Pahlevan: The Effect Of Ceramic And Porous Fillers On The Mechanical Properties Of Experimental Dental Composites. Dental Materials 2006, 22, 382–387.
- [3] J. Nie, E. Andrzejewska, J.F. Rabek, L. Lindén, J.P. Fouassier, J. Paczkowski, F. Scigalski, A. Wrzyszczyński: Effect Of Peroxides And Hydroperoxides On The Camphorquinoneinitiated Photopolymerization. Macromolecular Chemistry And Physics 1999, 200, 1692–1701.
- [4] M.G. Neumann, W.G. Miranda, C.C. Schmitt, F.A. Rueggeberg, I.C. Correa: Molar Extinction Coefficients And The Photon Absorption Efficiency Of Dental Photoinitiators And Light Curing Units. Journal of Dentistry 2005, 33, 525–532.

[5] M. Topa, J. Ortyl: Moving Towards A Finer Way Of Light-Cured Resin-Based Restorative Dental Materials: Recent Advances In Photoinitiating Systems Based On Iodonium Salts. Materials 2020, 13, 4093.

[6] M. Topa-Skwarczyńska, M. Galek, M. Jankowska, F. Morlet-Savary, B. Graff, J. Lalevée, R. Popielarz, J. Ortyl: Development of the first panchromatic BODIPY-based one-component iodonium salts for initiating the photopolymerization processes, Polymer Chemistry, 2021, 12, 6873-6893.

### PODZIĘKOWANIA

Praca ta została sfinansowana przez Narodowe Centrum Nauki jako projekt badawczy nr 2019/33/N/ST5/03015 „Opracowanie i ocena właściwości fizykochemicznych i mechanicznych nowych fotoutwardzalnych w świetle widzialnym kompozytów polimerowych charakteryzujących się redukcją skurczu polimerizacyjnego” w ramach programu „PRELUDIUM”.

Artykuł został zamieszczony w czasopiśmie „Praktyczne Aspekty Inżynierii Chemicznej PAIC 2022”.

### mgr inż. Monika Topa-Skwarczyńska

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej Photo4Chem Sp. z o.o.

### inż. Małgorzata Noworyta

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej

### dr. hab. inż. Joanna Ortyl, prof. PK

Politechnika Krakowska

Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej

Katedra Biotechnologii i Chemii Fizycznej

Photo HiTech Sp. z o.o., Photo4Chem Sp. z o.o.





**tworzywa.pl**



RAZEM

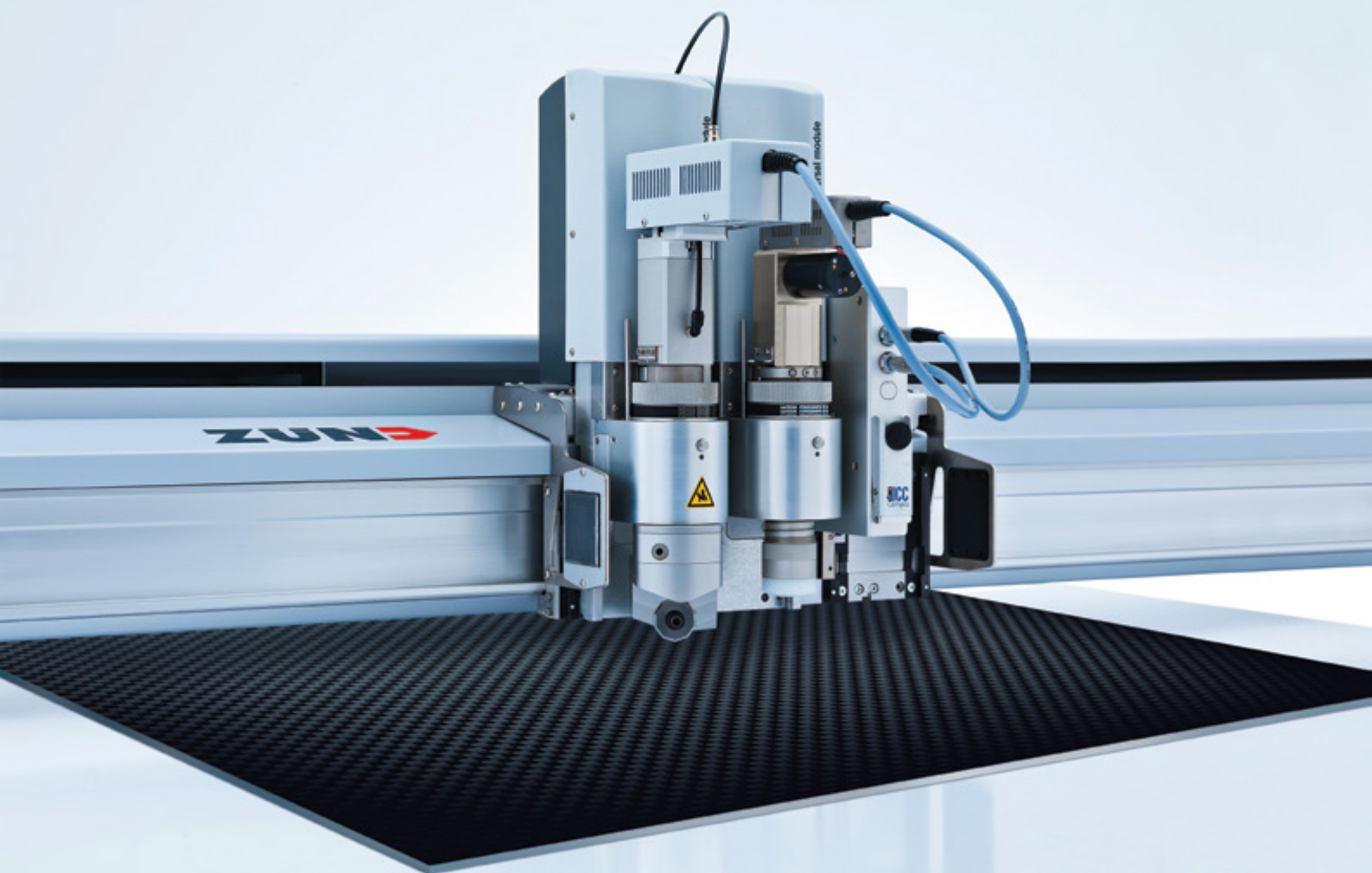
**TWORZYMYS  
TEN ŚWIAT**

**PREZENTUJMY**

tworzywa w sposób  
zgodny z ich prawdziwą  
naturą i przeznaczeniem

# KSM

your partner in digital cutting



**ZUND**  
swiss cutting systems

Your first choice in digital cutting.

[www.zund.pl](http://www.zund.pl)

KSM Cutting & Consulting Sp. z o.o.

ul. Szewska 12, 34-400 Nowy Targ,

tel. +48 18 264 97 20-21, [biuro@zund.pl](mailto:biuro@zund.pl)