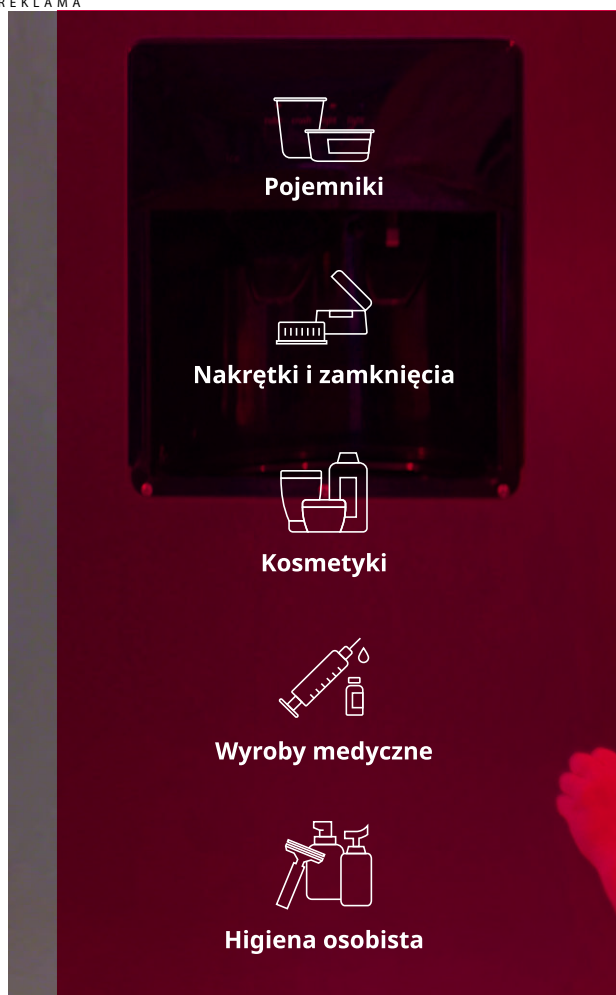


Tworzywa Sztuczne Przemysłu

ISSN 2082-6877

DWUMIESIĘCZNIK

REKLAMA



Pojemniki

Nakrętki i zamknięcia

Kosmetyki

Wyroby medyczne

Higiena osobista



Gdziekolwiek,
Jesteśmy bliżej niż myślisz

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.



SPIIS TREŚCI

PORADNIK PRZETWÓRSTWA WTRYSKOWEGO

- N** 4 Model symulacyjny uplastyczniania polimerów przy wtryskiwaniu
- N** 8 Badania matrycy formy wtryskowej z pęknięciem
- F** 10 Bezprzewodowe liczniki cykli
- 12 Forma wtryskowa – kluczowe narzędzie w przetwórstwie tworzyw sztucznych
- F** 15 Powiew bezpieczeństwa
- F** 17 Chłodzenie konturowe form wtryskowych
- 18 Prezentacja branżowych nowości i spotkania handlowe
- F** 19 Agregaty wody lodowej firmy Cool
- 20 Relacja z 2. edycji konferencji „Forma wtryskowa i jej otoczenie”

KONTROLA JAKOŚCI

- F** 22 Konica Minolta CM-17d to nowy standard ręcznych spektrofotometrów

MASZYNY, SUROWCE, TECHNOLOGIE – OPAKOWANIA PET

- 24 Dlaczego PET odnajdzie się w systemie kaucyjnym
- F** 26 Doświadczenie, innowacje, Jakość
- N** 28 Ocena możliwości stosowania PET, jako dodatek do betonu w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym
- 33 APEL członków PZPTS

RECYKLING I REGRANULATY

- F** 34 P&F Wartacz – 35 lat doświadczenia w sprzedaży maszyn dla przemysłu tworzyw sztucznych i recyklingu
- F** 36 Całkowita redukcja odoru w recyklingu tworzyw. Najnowsze technologie
- N** 40 Analiza modeli rozdrabniania
- F** 45 Recykling tworzyw sztucznych z wykorzystaniem zmieniający sit firmy Bagsik
- N** 46 Badania wstępne możliwości zastosowania regranulatu polipropylenowego w mieszankach cementowych przeznaczonych do druku 3D
- F** 52 Urządzenia do recyklingu w ofercie ELBI-Wrocław
- N** 54 Ekoefektywność procesów produkcyjnych w recyklingu 4.0
- F** 62 Skutecznie zintegrowane rozwiązania firmy naukowo-produkcyjnej „Prodekologia” do recyklingu polimerów
- 63 Zestawienie wybranych firm z branży recyklingu tworzyw

TWORZYWA I GUMA

- N** 66 Modyfikacja właściwości fizykochemicznych elastomerów estrowych tlenkiem ceru
- N** 68 Radiacyjna sterylizacja polimerowych wyrobów medycznych
- 72 Przemysłowy druk 3D a produkcja uszczelek – nowoczesne rozwiązania i możliwości
- N** 74 Separatory jednolite i składane docierarek tarczowych do płaszczyzn

OZNACZENIA: **F** – artykuł firmowy; **N** – artykuł naukowy

Tworzywa Sztuczne
Przemysłu

www.tworzywasztuczne.biz

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 797 125 417

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 Nabiałek**
dr inż. **Paweł Palutkiewicz**
dr hab. inż. **Marta Piątek-Hnat**
prof. nadzw. dr hab. inż.
Andrzej Pusz
prof. dr hab. inż. **Janusz Sikora**
dr inż. **Aneta Tor-Świątek**
dr inż. **Łukasz Wierzbicki**
dr inż. **Piotr Żach**

Każdy z członków Rady Programowej dwumiesięcznika „Tworzywa Sztuczne w Przemysłu”, 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 adiacji tekstów. Przedruk i rozpowszechnianie artykułów i reklam opracowanych przez redakcję są zabronione bez zgody wydawcy.



facebook
POLUB NAS
NA FACEBOOKU!

Perfekcja kryje się w detalach

Działając na rynku tworzyw sztucznych od prawie 30 lat jesteśmy w stanie zapewnić naszym klientom najlepszą jakość

Posiadamy niezbędne zaplecze, sprzęt oraz wiedzę

Zapraszamy do współpracy

wtrysk: PA, PBT, POM, ABS, PS, SAN, PE, PP, PVC

wytłaczanie: PC, PC + TPE, PVC, PMMA



BISTAR A. Burak Spółka Jawna,
ul. Nowosielska 2a, 15-617 Białystok
☎ tel. 85 664 33 23 🌐 www.bistar.com.pl



Model symulacyjny uplastyczniania polimerów przy wtryskiwaniu

Jacek IWKO

Proces wtryskiwania jest procesem nieustalonym, a w zasadzie kwaziustalonym, a więc zaobserwować w nim można stałość charakterystyk, np. profili złoża stałego, temperatury i ciśnienia, w tych samych momentach różnych cykli wtryskowych. Matematyczny model procesu uplastyczniania przy wtryskiwaniu musi być zatem symulowany numerycznie przy użyciu odpowiedniego cyklu obliczeniowego. Jedną z podstaw umożliwiającą zbudowanie programu symulującego proces uplastyczniania przy wtryskiwaniu było rozwiązanie problemu wyznaczania szybkości ruchu wstecznego ślimaka U oraz profilu ciśnienia tworzywa, a zwłaszcza ciśnienia na końcu ślimaka. Wielkości te są wzajemnie zależne od siebie (sprzężone), niemożliwe jest więc obliczenie jednej z nich bez znajomości drugiej. Wyznaczenie ich umożliwia zamknięcie cyklu obliczeniowego, dając równocześnie jako wyniki odpowiednie wartości takich charakterystyk jak profil złoża stałego (stopień wypełnienia kanału tworzywem stałym), temperatury, ciśnienia, wartość poboru mocy, moment obrotowy na ślimaku, wydajność masowy uplastycznionego tworzywa itd.

Przebieg obliczeń w modelu symulacyjnym składa się z kilku etapów, które zostaną poniżej pokrótce omówione. W pierwszej kolejności należy wprowadzić do modelu dane charakteryzujące geometrię ślimaka, parametry robocze wtryskarki oraz charakterystykę materiałową tworzywa.

Omawiany model odnosi się do ślimaka trójstrefowego o stałej średnicy zewnętrznej D , skoku zwoju S , szerokości zwoju e oraz krotności kanału K . Podział ślimaka na strefy geometryczne opisywany jest ilością zwojów w poszczególnych strefach: N_1 – w strefie zasilania, N_2 – w strefie sprężania oraz N_3 – w strefie dozowania. Geometryczne strefy zasilania i dozowania charakteryzują się stałą wysokością kanału wynoszącą odpowiednio H_z i H_d . Parametry geometryczne D , S , e , N_1 , N_2 , N_3 , H_z , H_d oraz K należy wprowadzić jako dane wejściowe do obliczeń (rys. 1).

W dalszej kolejności przyjęto, iż regulowanymi parametrami roboczymi wtryskarki są: szybkość obrotowa ślimaka N , skok ślimaka przy wtrysku N_s , średnia temperatura cylindra w części ogrzewanej T_b , ciśnienie uplastyczniania p_p (przeciwiśnienie - ciśnienie panujące przed ślimakiem w czasie jego ruchu wstecznego) oraz czas, w którym ślimak jest w stanie spoczynku. Jak już wspomniano, stanowi on sumę dwóch czasów odpowiadających czasowi t_d postoju ślimaka w położeniu przednim (czasowi docisku) oraz czasowi t_w jego postoju w położeniu tylnym (czasowi chłodzenia).

slimak	wtryskarka	tworzywo	zaawansowane
25	Średnica zewnętrzna ślimaka [mm]		
19	Skok zwoju [mm]		
3,7	Szerokość zwoju [mm]		
14	Liczba zwojów w strefie zasilania		
4	Liczba zwojów w strefie sprężania		
4	Liczba zwojów w strefie dozowania		
4,1	Głębokość kanału w strefie zasilania [mm]		
1,9	Głębokość kanału w strefie dozowania [mm]		
1	Krotność kanału		

Rys. 1. Parametry geometryczne ślimaka, które należy wprowadzić do modelu

Dodatkowo należy podać pewne dane geometryczne niezwiązane z charakterystyką ślimaka, czyli wysokość szczeliny pomiędzy wierzchołkami uzwojenia ślimaka a powierzchnią cylindra δ_e oraz odległość pomiędzy lejem zasypowym a początkiem strefy grzejnej N_s . Parametry N , N_s , T_b , t_w , t_d , p_p , N_4 oraz δ_e są wprowadzane jako dane wejściowe do obliczeń (rys. 2). Jako dodatkowy parametr można wprowadzić czas wtrysku równy stosunkowi skoku ślimaka przy wtrysku oraz

slimak	wtryskarka	tworzywo	zaawansowane
160	Szybkość obrotowa ślimaka [obr / min]		
3	Skok ślimaka przy wtrysku [liczba zwojów]		
200	Średnia temperatura cylindra w części ogrzewanej [°C]		
10	Czas wystoju ślimaka w położeniu tylnym [s]		
1	Czas wystoju ślimaka w położeniu przednim [s]		
10	Ciśnienie uplastyczniania [MPa]		
4	Odległość strefy grzejnej od otworu zasypowego [liczba zwojów]		
0.1	Szerokość szczeliny pomiędzy wierzchołkami uzwojenia ślimaka a cylindrem [mm]		

Rys. 2. Parametry robocze wtryskarki, które należy wprowadzić do modelu

prędkości wtrysku. Czas ten (zwykle bardzo krótki) można zaliczyć do fazy stapiania statycznego mimo ruchu postępowego ślimaka, gdyż nie występuje tu usuwanie stopu znad warstwy złoża stałego.

Do celów obliczeniowych w niniejszym modelu niezbędna jest znajomość takich właściwości fizykochemicznych tworzywa jak jego temperatura topnienia (płynięcia) T_m , średnie współczynniki tarcia tworzywa o cylinder f_c oraz o ślimak f_s , gęstość nasypowa ρ_0 , gęstość tworzywa stałego ρ_s oraz stopionego ρ_m , jak również średnie wartości przewodnictwa cieplnego tworzywa stałego k_s i stopionego k_m , ciepło topnienia λ (dla tworzyw semikrystalicznych) oraz średnie wartości ciepła właściwego tworzywa stałego c_s i stopionego c_m . Przyjęto, że wielkości te są niezależne od temperatury i ciśnienia. Niezbędne są również pewne dane reologiczne charakteryzujące użyte równanie konstytutywne materiału. Dla równania Ostwalda-deWaele są to: stała lepkości k_0 w prawie potęgowym, wykładnik równania potęgowego n oraz współczynnik temperaturowy lepkości a . Wielkości T_m , f_c , f_s , ρ_0 , ρ_s , ρ_m , k_s , k_m , λ , c_s , c_m , m_0 , n oraz a należy wprowadzić jako dane wejściowe do obliczeń (rys. 3), przy czym dla wybranych polimerów przykładowe dane zostały w modelu już zamieszczone. Wartości te zostały przyjęte jako średnie z różnych danych literaturowych. Można je jednak wprowadzić w sposób niezależny.

Rys. 3. Właściwości fizykochemiczne oraz reologiczne tworzywa, które należy wprowadzić do modelu

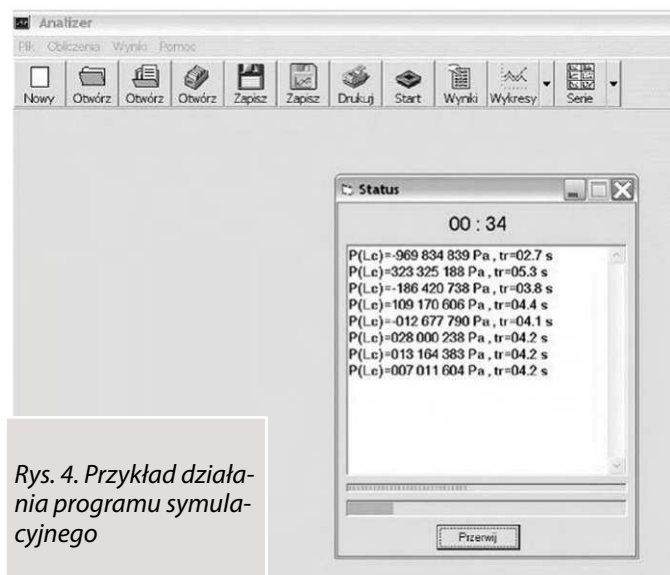
Po wprowadzeniu niezbędnych danych, model przyjmuje pewną początkową wartość szybkości ruchu wstecznego U , obliczając dla tej wartości profile złoża stałego, temperatury oraz ciśnienia na całej długości ślimaka (w tym ciśnienie p_{end} na końcu ślimaka). Pierwotna wartość U szacowana była zwykle na podstawie maksymalnej zdolności transportowej strefy zasilania. W dalszej kolejności program oblicza nową szybkość ruchu wstecznego, a na jej podstawie nowe profile złoża stałego, temperatury, ciśnienia oraz ciśnienie na końcu ślimaka. Profile te zostają obliczone, wykorzystując zaproponowane modele matematyczne dla różnych stref dynamicznych układu uplastyczniającego wtryskarki, a więc dla stref zasobnika i transportu tworzywa stałego oraz upla-

styczniania. Obliczenia w modelu przeprowadzane są stopniowo, na ustalonych wstępnie odcinkach elementarnych o długości Δ , na których parametry robocze, geometryczne oraz materiałowe traktowane są jako stałe. Wartości wielkości obliczonych w danym odcinku elementarnym są danymi wejściowymi do obliczeń na odcinku następnym. Program wyposażony został ponadto w różnego typu zabezpieczenia, obejmujące zarówno ograniczenia uniemożliwiające wprowadzenie nierealnych danych wejściowych, np. wielkości skoku powodującego wysunięcie ślimaka z cylindra, jak również proste zabezpieczenia kontrolujące rząd wielkości wprowadzonych danych wejściowych.

Działania te powtarzają się do chwili, gdy obliczone ciśnienie na końcu ślimaka p_{end} będzie równe założonemu (wprowadzonemu jako parametr roboczy wtryskarki) ciśnieniu uplastyczniania p_p z założoną dokładnością. Przy ustalonej charakterystyce roboczej, powyższą równość uzyskać można w modelu symulacyjnym poprzez właściwy dobór szybkości ruchu wstecznego ślimaka U , bezpośrednio związanej z wydatkiem uplastyczniania. Jest to możliwe przy zastosowaniu metody iteracji z użyciem odpowiedniego algorytmu określającego zmiany szybkości ruchu wstecznego ślimaka w zależności od obliczonego ciśnienia na końcu ślimaka oraz założonego ciśnienia uplastyczniania. Algorytm taki ma charakter doświadczalny, a jedynym kryterium jego doboru jest zapewnienie szybkiej zbieżności obliczeń (bez możliwości zapętlenia) niezależnie od założonej charakterystyki materiałowej, geometrycznej oraz parametrów pracy. W niniejszym modelu jako optymalny przyjęto algorytm zbieżności opisany zależnością (153). Wyznaczona przy tym szybkość U określa jednoznacznie wydatek uplastyczniania, pobór mocy i inne charakterystyki procesu.

$$U_2 = U_1 \left(1 + \frac{p_{end} - p_p}{|p_{end} - p_p| + p_p} \right)^{sgn(p_{end} - p_p)} \quad (153)$$

Przykładowe działanie programu symulacyjnego przedstawiono na rys. 4. Dla założonego ciśnienia uplastyczniania p_p równego w tym przypadku 10 MPa, wyświetlone zostały kolejne cykle dużej pętli programu w postaci obliczonego ciśnienia na końcu ślimaka ($p_{end} = p_{lc}$) oraz wyznaczonego czasu



Rys. 4. Przykład działania programu symulacyjnego

rotacji ślimaka $t_r = N_s / U$. Zaobserwować można zbieżność wyznaczonego ciśnienia na końcu ślimaka do wartości równej ciśnieniu uplastyczniania.

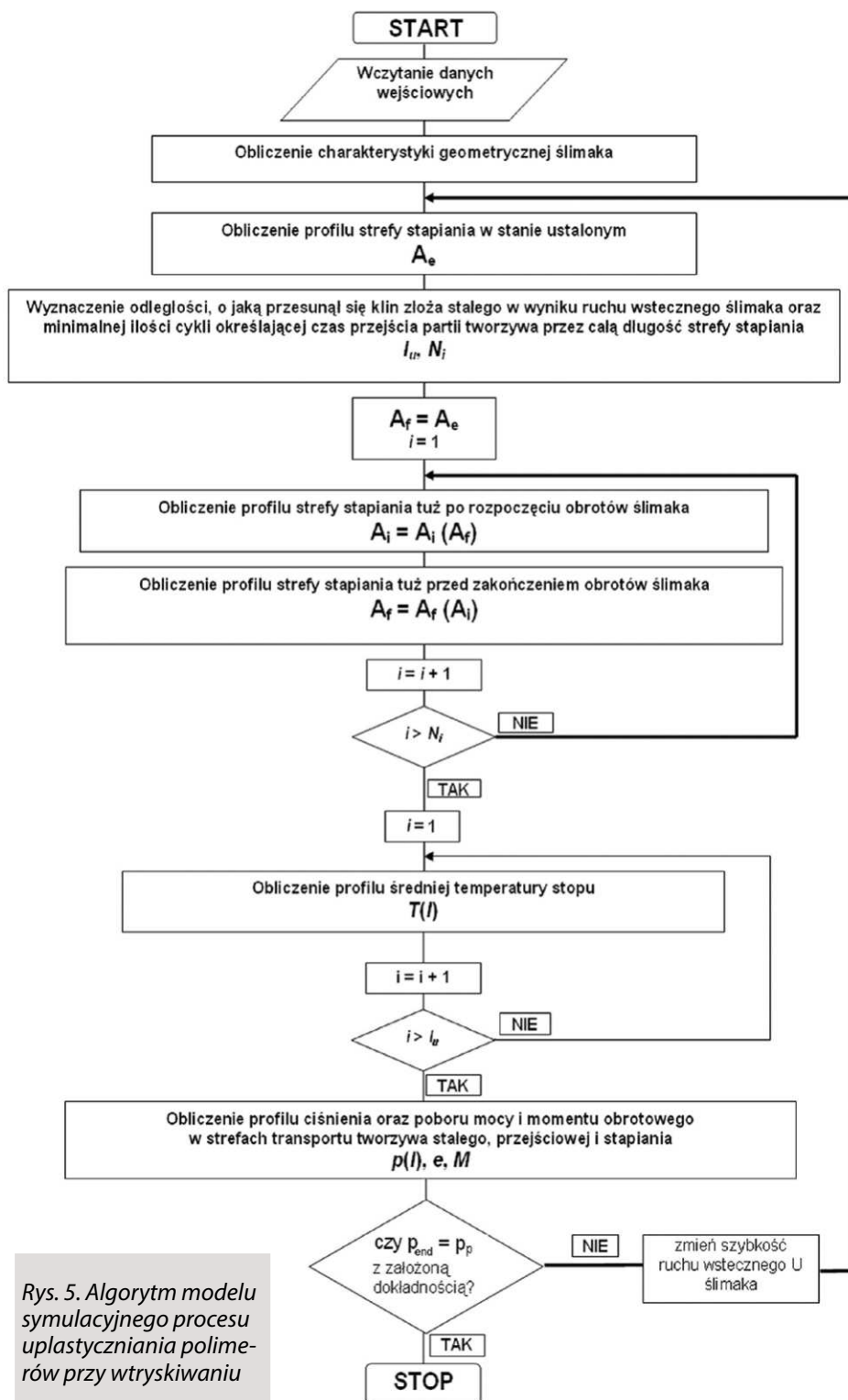
Symulacja procesu uplastyczniania przy wtryskiwaniu przebiega wg algorytmu przedstawionego na rys. 5. Pogrubioną linią zaznaczono najważniejsze sprzężenia zwrotne, występujące w modelu. W modelu występuje więc jedna duża pętla zwrotna – główna pętla modelu, którą program opuszcza w momencie, gdy, jak już wspomniano, wartość ciśnienia na końcu ślimaka p_{end} zrówna się z wartością ciśnienia uplastyczniania p_p z odpowiednią, założoną dokładnością. W modelu występuje ponadto jedna mała pętla zwrotna, związana z wyznaczeniem profilu złoza stałego w strefie stapiania.

Po ukończeniu obliczeń program umożliwia wyświetlenie następujących charakterystyk wyjściowych:

1. profilu względnej szerokości złoza stałego (liczbowo lub graficznie) w trzech stanach:
 - a) tuż przed zakończeniem rotacji ślimaka (po stapianiu dynamicznym),
 - b) tuż przed rozpoczęciem rotacji ślimaka (po stapianiu statycznym),
 - c) w stanie ustalonym (ciągła rotacja ślimaka jak w wytłaczaniu);
2. profilu temperatury tworzywa na długości ślimaka (liczbowo lub graficznie);
3. profilu ciśnienia tworzywa na długości ślimaka (liczbowo lub graficznie);
4. poboru mocy przez ślimak;
5. momentu obrotowego na ślimaku;
6. czasu rotacji ślimaka;
7. czasu pełnego cyklu wtryskowego;
8. wydajności masowej uplastycznionego tworzywa;
9. zużycia energii pobranej przez ślimak na jednostkę masy tworzywa;
10. maksymalnej temperatury stopionego tworzywa w cylindrze;
11. zawartości stopionego tworzywa na końcu ślimaka.

Ostatnie dwie charakterystyki związane z homogenizacją termiczną i materiałową tworzywa w strefie stapiania i transportu stopu traktować należy jako pomocnicze.

Jak już wspomniano, wszystkie powyższe wielkości z wyjątkiem 1b i 1c odnoszą się do momentu tuż przed zakończeniem rotacji ślimaka, w którym stopień wypełnienia



Rys. 5. Algorytm modelu symulacyjnego procesu uplastyczniania polimerów przy wtryskiwaniu

kanалу tworzywem stałym jest największy.

Wyniki modelowania można zapisać na dysku lub wydrukować. Istnieje też możliwość załadowania do programu kilku (do ośmiu) plików z wynikami i porównania tych wyników na wykresach.

Fragment monografii pt. Modelowanie procesu uplastyczniania tworzyw polimerowych przy wtryskiwaniu, 2021.

Dr inż. Jacek IWKO

Politechnika Wrocławska

S.I.S.E.



STEROWNIK GRZANYCH
KANALÓW

TERMOSTATY WODNE
I OLEJOWE



SYSTEM ZADZĄDZANIA
PRODUKCJĄ CYCLES



SYSTEMY STEROWANIA
WTRYSKIEM SEKWENCYJNYM



WYŁĄCZNY PRZEDSTAWICIEL W POLSCE

Labotek Polska
Power in Plastics



LABOTEK POLSKA
UL. POZNANSKA 1,
63-005 KLESZCZOWO



TEL: +48 61 67 08 087
E-MAIL: BIURO@LABOTEK.PL

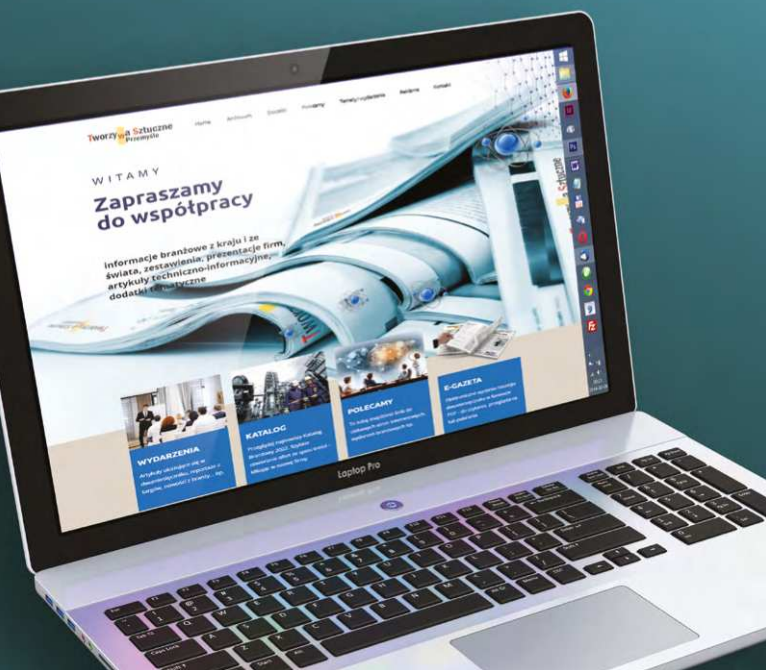


WWW.LABOTEK.PL

REKLAMA

www.tworzywasztuczne.biz

Zapraszamy na
naszą stronę
internetową!



tiege
ELECTRONIC



- JETmini od 1 do 2 stref grzewczych
- BASIC od 4 do 24 stref grzewczych
- VARIO od 4 do 32 stref grzewczych
- JETmaster TP od 24 do 240 stref grzewczych
- Hot runner controllers – simple, flexible, precise
- Oferujemy również kable do połączenia regulatorów z formami wtryskowymi wg specyfikacji klienta.
- Możliwość bezpłatnego przetestowania regulatorów BASIC 8 i VARIO 8.

**Trans
WEST**

tel. +48 61 285 26 63
biuro@transwest.pl
www.transwest.pl

Badania matrycy formy wtryskowej z pęknięciem

Sławomir Duda, Grzegorz Gembalczyk

Narzędzia do komputerowego wspomagania projektowania w znaczny sposób przyspieszyły proces produkcji złożonych układów mechanicznych, umożliwiając już na etapie konstrukcyjnym weryfikację geometrii każdego elementu i analizę kolizji pomiędzy komponentami. Zastosowanie takich narzędzi w znacznym stopniu zwiększa prawdopodobieństwo, że produkt końcowy spełni wszelkie wymagania i będzie działał prawidłowo.

W rzeczywistości, ze względu na ograniczone możliwości związane z technologiami wytwarzania, takie czynniki jak np. odchylenia od nominalnych wymiarów mogą mieć wpływ na ostateczny wygląd urządzenia i dokładność jego działania. Błędy w wykonaniu lub wymiarowaniu są szczególnie istotne w przypadku urządzeń z wieloma współdziałającymi ze sobą komponentami. Przykładami takich konstrukcji są między innymi złożone, dzielone formy wtryskowe, które często domykane są za pomocą siłowników generujących bardzo duże obciążenia. W idealnym przypadku, siłownik, odpowiedzialny za zamknięcie formy, powinien zagwarantować taki docisk, który uniemożliwi jej otwarcie się podczas procesu formowania wtryskowego, równoważąc siłę pochodzącą od uplastycznionego materiału wtryskiwanego pod ciśnieniem. Im większa siła docisku, tym większe naprężenia będą występowały w samej formie. Jest to zatem stan niepożądany, gdyż większe naprężenia negatywnie wpływają na żywotność formy. Należy mieć na względzie, że w przypadku form wtryskowych wytrzymałość zmęczeniowa jest szczególnie istotna, bo z założenia mają one prawidłowo działać przez miliony cykli obciążeniowych.

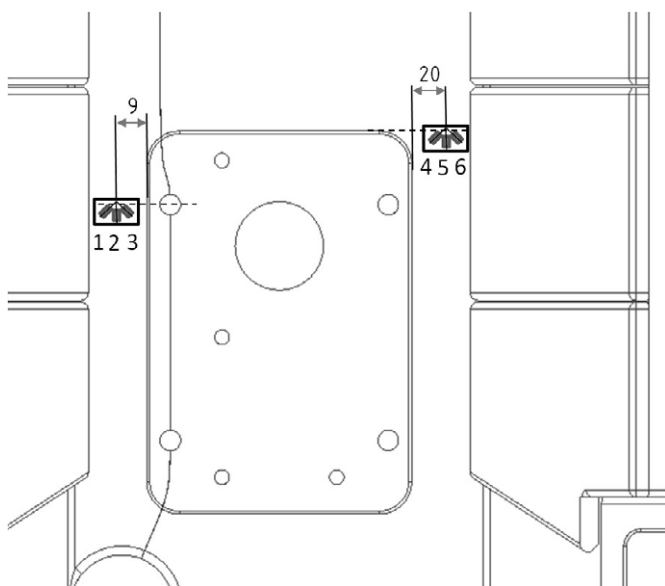
Wiadomo jednak, że form składających się z kilkudziesięciu elementów nie da się wytworzyć w sposób idealny. Wszelkie odchyłki wymiarowe związane z procesami technologicznymi wpływają na końcową niedokładność geometrii i mogą prowadzić do uszkodzenia poszczególnych elementów formy. Dlatego też określenie rzeczywistego stanu naprężenia formy wtryskowej jest zadaniem trudnym, a same analizy numeryczne (przy wykorzystaniu idealnych modeli geometrycznych przygotowanych przez konstruktorów) mogą być obarczone dużymi błędami. W artykule przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych stanu naprężenia formy wtryskowej, w której matryca uległa pęknięciu. W celu naprawy matrycy na końcach pęknięcia wykonane zostały otwory, co stanowiło zabezpieczenie przed dalszą propagacją pęknięcia, ale wpłynęło zarazem na zmniejszenie wytrzymałości matrycy. Opracowane modele numeryczne zostały poddane walidacji, którą przeprowadzono na podstawie wyników badań eksperymentalnych wykonanych z zastosowaniem metody tensometrycznej.

BADANIA EKSPERYMENTALNE

Przeprowadzone badania tensometryczne miały na celu określenie stanu odkształcenia i naprężenia w wytypowanych punktach matrycy formy wtryskowej, występującego podczas procesu wtrysku na skutek obciążeń eksploatacyjnych. Punkty pomiarowe, w których naklejono tensometry, wybrane zostały na podstawie wstępnych symulacji numerycznych. Uznano, że do badań wykorzystane zostaną dwie rozety składające się z trzech tensometrów. Na podstawie zarejestrowanych danych pomiarowych związanych ze stanem odkształcenia matrycy, znając własności mechaniczne zastosowanych materiałów, obliczone zostały naprężenia główne, naprężenia zredukowane oraz kierunki odkształceń głównych w punktach pomiarowych. Miejsca naklejenia tensometrów pokazane zostały na rys. 1 i rys. 2. Istotne jest, że konstrukcja formy umożliwiała wyprowadzenie przewodów pomiarowych z formy do rejestratora.

BADANIA SYMULACYJNE

Stan obciążenia matrycy podczas procesu wtrysku zależy od wielu czynników i jest trudny do wyznaczenia z wykorzystaniem samych tylko obliczeń numerycznych. Jed-



Rys. 1. Zaproponowana lokalizacja rozet tensometrycznych



Rys. 2. Rozeta tensometryczna na stanowisku pomiarowym

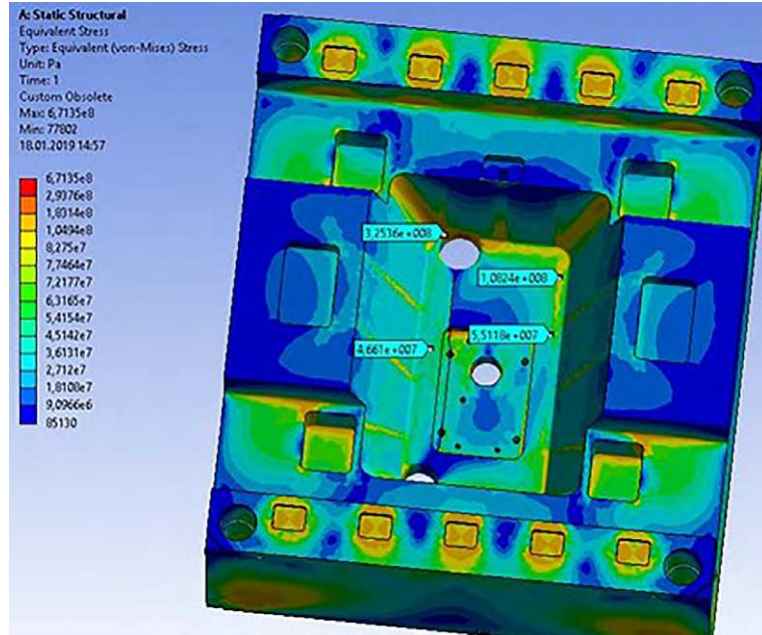
ną ze zmiennych, która istotnie determinuje obciążenia w konstrukcji formy, jest grubość płytek ślizgowych. Płytki te zlokalizowane są wewnątrz matrycy, a połówki formy ślizgają się po nich podczas zamykania. Im większa ich grubość, tym większa siła docisku dzielonych części formy, a zatem i większa siła działa na matrycę. Grubość tych płytek dobierana jest doświadczalnie podczas testów próbnych. Warunki brzegowe oraz parametry geometryczne w przygotowanym modelu numerycznym dobrano tak, aby wyznaczony stan odkształcenia w punktach pomiarowych (miejscach naklejenia tensometrów) był zbliżony z danymi zarejestrowanymi podczas eksperymentów. W analizie porównawczej uwzględniane były zarówno odkształcenia zredukowane, jak też kierunki odkształceń głównych. Przeprowadzona walidacja modelu obliczeniowego na podstawie zmierzonych doświadczalnie wartości stanu odkształcenia i naprężenia matrycy pozwala wnioskować, że symulacje numeryczne dają wiarygodny wgląd w przestrzenny stan naprężenia całej formy (rys. 3).

Przeprowadzone obliczenia numeryczne pozwoliły określić stan naprężenia występujący w matrycy formy wtryskowej, która poddana została naprawie. Uzyskane wyniki wykorzystano dalej do oszacowania jej żywotności pod względem wytrzymałości zmęczeniowej.

Dalszy etap prac był próbą zdefiniowania przyczyny powstania pęknięcia. Pod uwagę brano przede wszystkim dwie możliwości – wadę materiałową albo źle dobraną grubość płytek ślizgowych. Obliczenia przeprowadzone dla tego drugiego wariantu pokazały, że maksymalne naprężenia (przekraczające wartość naprężeń dopuszczalnych) występują w obszarze zlokalizowanym blisko przebiegu pęknięcia w obiekcie rzeczywistym, choć nie pokrywają się dokładnie. Wyniki sugerują jednak, że grubość płytek mogła mieć wpływ na wystąpienie pęknięcia. Dlatego też autorzy zaproponowali, aby proces doboru grubości płytek ślizgowych prowadzić z wykorzystaniem pomiarów tensometrycznych.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone pomiary doświadczalne i badań numerycznych pozwoliły określić faktyczny stan naprężenia, który występuje w matrycy formy wtryskowej w kolejnych cyklach produkcyjnych. Podczas walidacji modelu numerycznego



Rys. 3. Stan naprężenia pękniętej matrycy formy wtryskowej

charakteryzującego się silnie niesymetrycznym stanem naprężenia istotne jest uwzględnienie kierunków odkształceń głównych – weryfikacja dotycząca wyłącznie wartości naprężenia zredukowanego jest niewystarczająca. Zwalidowany model obliczeniowy pozwolił określić stan wyężenia matrycy, oszacować jej żywotność i podjąć próbę zidentyfikowania przyczyny jej pęknięcia.

LITERATURA

- [1] Fernandes C., Pontes A.J., Viana J.C., Gaspar-Cunha A., Modeling and Optimization of the Injection-Molding Process: A Review, *Advances in Polymer Technology*, Vol. 37(2), pp. 429-449, 2018.
- [2] Fu H., Xu H., Liu Y., Yang Z., Kormakov S., Wu D., Sun J., Overview of injection molding technology for processing polymers and their composites. *ES Materials & Manufacturing*, Vol. 8(20), pp. 3-23, 2020.
- [3] Gembalczyk G., Duda S., Czernecka K., Krawiec K., Numerical and experimental analysis of the distribution of strains and stresses during the adherence test of the protective coating using the pull-off method. *AIP Conference Proceedings*, Vol. 2078, No. 1. 2019.
- [4] Khosravani M. R., Nasiri S., Injection molding manufacturing process: Review of case-based reasoning applications, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 31, pp. 847-864, 2020.
- [5] Kumar S., Park H.S., Lee C.M., Data-driven smart control of injection molding process, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 31, pp. 439-449, 2020.

Artykuł został po raz pierwszy zamieszczony w materiałach konferencyjnych XVII Konferencji Naukowo-Technicznej TKI 2024 Techniki Komputerowe w Inżynierii 15-18.10.2024.

dr hab. inż. Sławomir Duda, prof. PŚ

dr inż. Grzegorz Gembalczyk

Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Politechnika Śląska

SYSTEM ZDALNEGO ODCZYTU LICZNIKÓW

Bezprzewodowe liczniki cykli

MoldMaker to zaawansowany system IT & Industry IoT, który jest nowoczesnym narzędziem kontroli dla form wtryskowych, tłoczników i wykrojników. Uwalnia od żmudnego ręcznego zbierania danych produkcyjnych i eksploatacyjnych, a gromadzi i porządkuje je w jednym miejscu. Jego istotną cechą jest globalny zasięg działania, co oznacza, że narzędzia mogą pracować w różnych lokalizacjach na całym świecie.



System umożliwia m.in. kontrolę czasu cyklu, temperatury i wydajności narzędzi w czasie rzeczywistym, lokalizację, monitoring demontażu licznika, generowanie alertów do różnych zdarzeń, przypomnienia o przeglądach i zapis wykonanych czynności z przeglądów. Ponadto dostępne są: katalog dokumentacji technicznej, katalog części zamiennych, karta techniczna narzędzia itp.

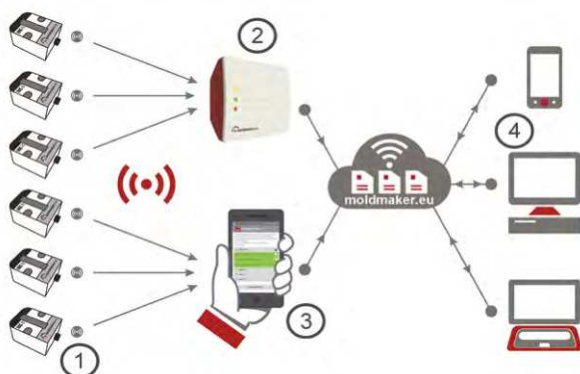
Wdrożenie systemu w zakładzie produkcyjnym to proces bardzo prosty. Wystarczy zamontować do form elektroniczne liczniki MoldMaker w miejsce liczników mechanicznych. Następnie za pomocą aplikacji mobilnej MoldMaker Scan ustawia się wartość startową na każdym liczniku w celu zachowania kontynuacji zliczania. Jeżeli narzędzie nie posiada kieszeni pod licznik, przykręca się go na boku formy za pomocą dedykowanej obudowy ochronnej lub wykonuje się odpowiednie wybranie pod licznik. W kolejnym kroku umieszcza się na hali koncentrator MMCD będący swego rodzaju routerem, który regularnie zbiera odczyty z liczników i przesyła je do serwera MoldMaker. Następnie zakłada się konto w systemie, loguje i ustawia parametry.

ZASADA DZIAŁANIA SYSTEMU MOLDMAKER

Każdy zamontowany w narzędziu licznik przesyła okresowo dane o liczbie wykonanych cykli do serwera kolekcjonującego odczyty. Transfer danych odbywa się przez aplikację mobilną lub dedykowane koncentratory odbiorcze. Części składowe systemu przedstawia schemat przepływu danych.

PANEL OPERATORSKI Z KOLUMNĄ SYGNALIZACYJNĄ

Nowym elementem systemu MoldMaker są bezprzewodowe panele operatorskie. Za ich pomocą operator zgłasza



Schemat przepływu danych w systemie MoldMaker

1. Licznik bezprzewodowy pracujący na hali produkcyjnej.
2. Urządzenie odbiorcze – koncentrator MMCD.
3. Aplikacja mobilna MoldMaker Scan.
4. Strona internetowa.

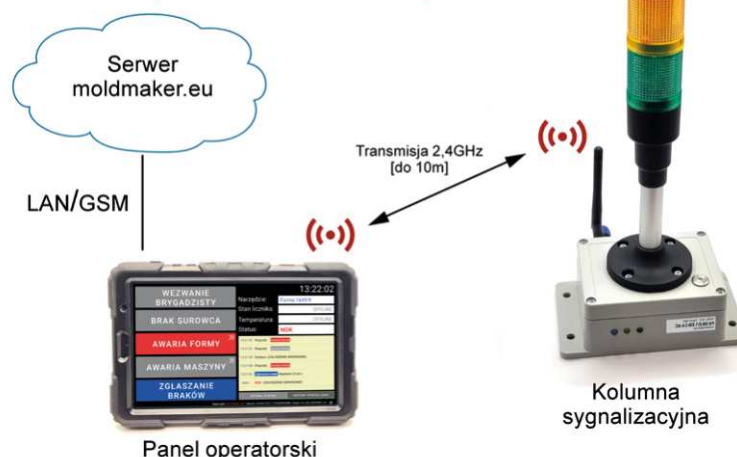


np. awarię maszyny lub formy, brak surowca, wzywa brygadzystę itp. Możliwe zdarzenia konfiguruje się w zależności od potrzeb firmy. Najważniejsza funkcja paneli operatorskich to zgłaszanie braków produkcyjnych, co pozwala na kontrolę i rejestrowanie przyczyn ich powstawania.

Panel operatorski wyposażony jest w kolumnę sygnalizacyjną, która odpowiednim kolorem wizualizuje aktualny status narzędzia pracującego na maszynie, np. OK lub NOK. Kolumna sygnalizuje również inne komunikaty systemu, np.: przekroczony harmonogram, przekroczona temperatura, alarm demontażu, zgłoszenie serwisowe.



PANEL OPERATORSKI Z KOLUMNĄ SYGNALIZACYJNĄ



BEZPRZEWODOWE LICZNIKI CYKLI

Najbardziej uniwersalny i przeznaczony do większości zastosowań jest licznik MMC-11 STD. Gabaryt licznika (47,8 x 38 x 25 mm) i rozstaw śrub mocujących (28,5 mm) jest zgodny z gabarytami typowych liczników do form. Dopuszczalna temperatura pracy licznika MMC-11 STD to 85°C, a gwarantowany zasięg odbioru to 30 m. W praktyce zasięg ten dochodzi do 100 metrów. Czas pracy baterii: 4-5 lat.

Liczniki wysokotemperaturowe to: MMC-12 HT do 150°C przewidziane do form grzanych olejowo oraz MMC-12 UHT



Licznik MMC-11STD



Licznik MMC-12HT



Obudowa ochronna

do 205°C do form wulkanizacyjnych do gumy oraz innych narzędzi o najwyższej temperaturze pracy.

Liczniki wraz z systemem MoldMaker posiadają następujące funkcjonalności: rejestr narzędzi i ich lokalizacja, bieżący status narzędzia, czas cyklu, alarm demontażu licznika, monitoring temperatury narzędzia i alarm przekroczenia, przypomnienia serwisowe i rejestracja przeglądów, folder dokumentacji technicznej, statystyki i wskaźniki wydajności, graficzna prezentacja danych na dużym TV umieszczonym na hali, przywołanie brygadzysty, ustawiacza bądź kontroli jakości, zgłoszenie awarii maszyny oraz zgłoszenie ilości braków, podgląd produkcji w odległych halach oraz u podwykonawców realizujących produkcję na formach powierzchniowych, odczyt danych na dowolnym urządzeniu z dowolnego miejsca na świecie.

KONCENTRATOR MMCD

Jest to bezobsługowy router odbiorczy pełniący rolę bufora i automatycznego przekaźnika informacji odebranych z liczników do serwera kolekcjonującego dane. Koncentrator pełni także rolę zabezpieczenia na wypadek braku połączenia internetowego z serwisem, przechowuje odczyty z liczników w swojej wewnętrznej pamięci, a po uzyskaniu połączenia internetowego przesyła zebrane dane do serwisu, zachowując ciągłość odczytów. Koncentratory MMCD stosuje się w firmach posiadających wiele narzędzi produkcyjnych, gdzie potrzebna jest pewność i regularność odczytów.

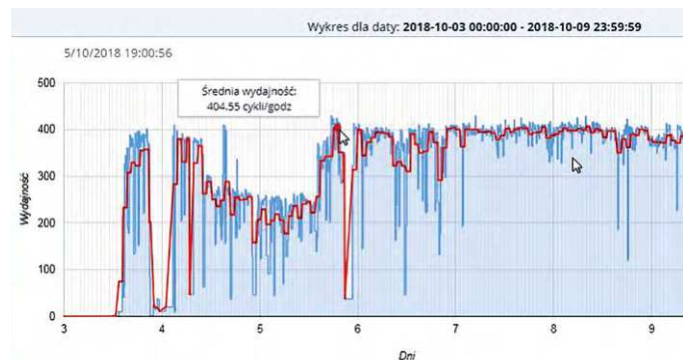
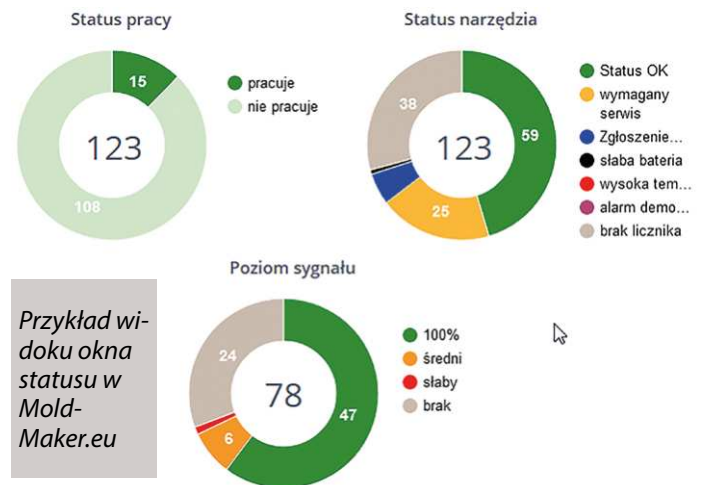
APLIKACJA SMARTFONOWA MOLDMAKER SCAN

Aplikacja mobilna MoldMaker Scan dedykowana jest na smartfony z systemem Android lub iOS, wyposażonych w interfejs Bluetooth i NFC. Umożliwia ona identyfikację formy, przypisanie licznika do formy lub jego zwolnienie, konfigurację licznika, harmonogramów serwisowych, dodanie zdjęć dokumentacyjnych itp.

SERWIS INTERNETOWY HTTPS://MOLDMAKER.EU

Sercem systemu MoldMaker jest serwis internetowy dostępny przez standardową przeglądarkę. Z tego poziomu

użytkownik może posługiwać się wszystkimi funkcjonalnościami systemu, m.in. nadzorować pracę narzędzi w czasie rzeczywistym, analizować wydajność i inne statystyki, obserwować współczynnik OEE, nadzorować realizację przeglądów technicznych itp.



Przykład wykresu wydajności narzędzia w MoldMaker.eu



Przykład montażu licznika MoldMaker do formy

Producentem systemu MoldMaker, operatorem i administratorem danych jest:

MEGA MOLD Sp. z o.o.
36-002 Jasionka 252E, POLAND,
tel. +48 607 259 412



email: moldmaker@moldmaker.eu
<https://moldmaker.eu>

Oficjalnym dystrybutorem urządzeń MoldMaker jest:

PROPLASTICA Sp. z o.o.
25-663 Kielce, ul. K. Olszewskiego 6
email: sales@proplastica.pl
<https://www.proplastica.pl>





Forma wtryskowa – kluczowe narzędzie w przetwórstwie tworzyw sztucznych

CZYM JEST FORMA WTRYSKOWA?

Forma wtryskowa to specjalistyczne narzędzie wykorzystywane w procesie wtryskiwania tworzyw sztucznych. Jej głównym zadaniem jest nadanie kształtu wypraskom poprzez precyzyjne odwzorowanie geometrii detalu. Konstrukcja formy obejmuje szereg skomplikowanych elementów, z których kluczowe znaczenie mają powierzchnie formujące:

- stempel (część ruchoma);
- matryca (część nieruchoma).

W zależności od konstrukcji forma może być jedno- lub wielogniazdowa, co oznacza możliwość produkcji jednej bądź wielu wyprasek w pojedynczym cyklu. Proces wtryskiwania polega na wtryskiwaniu uplastycznionego tworzywa do gniazda formy, gdzie ulega ono schłodzeniu i przyjmuje docelowy kształt.

BUDOWA I KLUCZOWE ELEMENTY FORMY WTRYSKOWEJ

Nowoczesne formy wtryskowe składają się z wielu precyzyjnie wykonanych komponentów, których jakość wpływa bezpośrednio na efektywność procesu oraz parametry gotowego detalu. Do podstawowych elementów formy należą:

Gniazda formujące

To zasadnicza część formy, która decyduje o geometrii wytwarzanej wypraski. Ich precyzyjne wykonanie i odpowiednia obróbka powierzchniowa zapewniają powtarzalność oraz wysoką jakość produktów.

Układ wlewowy

Odpowiada za doprowadzenie uplastycznionego tworzywa do gniazda formującego. Jego optymalne zaprojektowanie ma kluczowe znaczenie dla równomiernego wypełnienia formy oraz eliminacji wad wyprasek, takich jak:

- Niedolewy,
- Pęcherze powietrza,
- Wypływki.

Układ chłodzenia

Temperatura wypraski po wtrysku może sięgać nawet kilkuset stopni Celsjusza, dlatego efektywne chłodzenie formy jest niezbędne do skrócenia cyklu produkcyjnego i poprawy jakości detalu. Układ chłodzenia składa się z kanałów przepływowych, którymi cyркуluje medium chłodzące (np. woda lub olej).



**Lider w dziedzinie jakości
i innowacji**



ul. Spadowa 13 ● 42-233 Wierzchowisko ● tel. 34 38 73 052 ● tel. kom. 889 535 500
gimatic@gimaticpolska.pl ● www.gimatic.com

Układ wypychania

Zawiera zespół elementów odpowiedzialnych za bezpieczne usunięcie gotowego detalu z formy. W jego skład wchodzi wypychacze, tuleje i inne mechanizmy wspomagające automatyczne oddzielenie wypraski, zapobiegając jej uszkodzeniu.

Elementy prowadzące

Obejmują tuleje, kołki oraz prowadnice, które zapewniają precyzyjne centrowanie i płynne działanie formy w cyklu produkcyjnym. Ich właściwe wykonanie minimalizuje ryzyko zużycia oraz utrzymuje wysoką powtarzalność procesu.

Obudowa formy

Stanowi ochronę dla wewnętrznych komponentów i odpowiada za prawidłowe mocowanie formy w wtryskarce. Wykonana jest z wysokogatunkowej stali narzędziowej, co zapewnia jej trwałość i odporność na ekstremalne warunki pracy.

KOSZT WYKONANIA FORMY WTRYSKOWEJ – CO WPŁYWA NA CENĘ?

Koszt produkcji formy wtryskowej zależy od wielu czynników, a jego oszacowanie wymaga analizy parametrów technicznych oraz skali produkcji. Typowe przedziały cenowe kształtują się następująco:

- proste formy jednogniazdowe: od kilku do kilkunastu tysięcy złotych;
- zaawansowane formy wielogniazdowe: od kilkudziesięciu do nawet kilkuset tysięcy złotych.

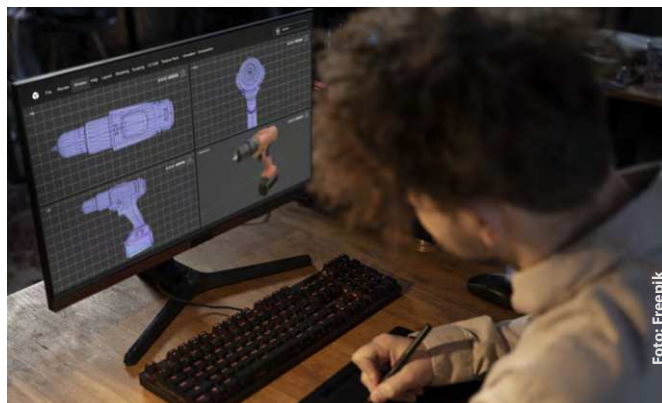
Najważniejsze czynniki wpływające na koszt formy wtryskowej to:

- Rozmiar i skomplikowanie konstrukcji – większe i bardziej złożone formy wymagają większej ilości materiału oraz dłuższego czasu obróbki.
- Rodzaj użytej stali – formy produkowane są zazwyczaj ze stali narzędziowej, jednak w niektórych przypadkach stosuje się stopy o podwyższonej odporności na ścieranie i korozję.
- Liczba gniazd formujących – formy wielogniazdowe pozwalają na produkcję większej liczby detali w jednym cyklu, co znacząco obniża jednostkowy koszt produkcji, ale podnosi początkowe nakłady inwestycyjne.
- Zastosowanie systemów gorącokanałowych – ograniczają ilość odpadów i skracają cykl produkcyjny, jednak ich wdrożenie zwiększa koszty początkowe.
- Koszty projektowe i symulacje przepływu materiału – szczególnie istotne w przypadku skomplikowanych form, wymagających precyzyjnego zaprojektowania układu chłodzenia i wlewowego.

PROCES PRODUKCJI FORMY WTRYSKOWEJ

Produkcja formy wtryskowej obejmuje kilka kluczowych etapów:

1. Projektowanie CAD – opracowanie modelu 3D formy z uwzględnieniem wymagań technologicznych i parametrów procesu.
2. Analiza przepływu tworzywa (MoldFlow) – symulacja wypełniania gniazda formy, pozwalająca zoptymalizować układ wlewowy i parametry procesu.



3. Obróbka CNC i EDM – precyzyjne frezowanie, toczenie oraz elektrodrążenie zapewniające dokładność odwzorowania kształtu formy.
4. Montaż i testy – finalne składanie komponentów oraz próby technologiczne na wtryskarce, mające na celu eliminację potencjalnych błędów.

RODZAJE FORM WTRYSKOWYCH

W zależności od specyfiki produkcji, wyróżnia się kilka podstawowych typów form wtryskowych:

- Formy zimnokanałowe – prostsze w budowie, generujące większe ilości odpadów produkcyjnych.
- Formy gorącokanałowe – wyposażone w systemy grzewcze, pozwalające na eliminację wlewków i redukcję strat materiałowych.
- Formy jednogniazdowe – przeznaczone do produkcji pojedynczych detali w jednym cyklu.
- Formy wielogniazdowe – umożliwiają jednoczesne wytwarzanie kilku identycznych wyprasek.
- Formy piętrowe (*stack mold*) – składające się z kilku poziomów gniazd formujących, co zwiększa wydajność i pozwala na optymalne wykorzystanie przestrzeni roboczej maszyny.

ZASTOSOWANIE FORM WTRYSKOWYCH W RÓŻNYCH BRANŻACH

Technologia wtrysku znajduje szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, m.in.:

- Automotive – elementy wnętrza pojazdów, panele, zderzaki.
- AGD/RTV – obudowy urządzeń, części mechaniczne.
- HVAC – komponenty systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych.
- Przemysł meblarski – elementy konstrukcyjne i dekoracyjne.

KNAUF INDUSTRIES – TWÓJ PARTNER W PRODUKCJI FORM WTRYSKOWYCH

Knauf Industries oferuje kompleksowe wsparcie w zakresie projektowania i produkcji form wtryskowych. Dzięki nowoczesnym technologiom oraz doświadczeniu w branży gwarantujemy najwyższą jakość i optymalizację procesów. Skontaktuj się z nami, aby omówić szczegóły współpracy i zoptymalizować swoje procesy produkcyjne.

www.knauf-industries.pl

Powiew bezpieczeństwa

Ileż to razy zdarzało się, że surowiec podczas wtrysku przedostawał się do przestrzeni instalacyjnej grzanych kanałów formy. Wtedy ujawnia się dramat zniszczeń: zalane przewody, termopary, grzałki. Niejednokrotnie elementy te trzeba wymienić na nowe. Do tego przestój produkcyjny formy... TRAGEDIA!

Ale z tym już koniec! Firma SCORPIO prezentuje rodzinę urządzeń BLOW dedykowaną do wczesnego wykrywania wycieku surowca w przestrzeni grzanych kanałów. Zasada działania jest prosta: powietrze przepływa bardzo powoli przez cieniutkie rurki kapilarne wprowadzone do formy. Przepływ w każdej z rurek mierzony jest z wielką precyzją, a jego zanik (będący skutkiem zalania przez surowiec we wczesnej fazie wycieku) jest natychmiast rejestrowany i zgłaszany. Układ kontrolny może też zatrzymać pracę maszyny.

BLOW-4 to samodzielny kontroler wycieków surowca przeznaczony dla małych form (obsługuje cztery rurki kapilarne). Montowany jest na formie. Układ nie wymaga żadnego ustawiania, programowania pracy itd. Podejmuje działanie od razu po włączeniu zasilania. Pełna diagnostyka pracy odbywa się za pomocą czterech wielokolorowych diod świecących.

Seria **BLOW PRO** przeznaczona jest do bardziej rozbudowanych form, gdzie konieczna jest kontrola większej ilości rurek kapilarnych. Kontroler **BLOW MASTER** instalowany jest na maszynie, a moduły pomiarowe **BLOW PRO** montowane są na formie. Użytkownik ma do dyspozycji trzy modele **BLOW PRO: PRO-8, PRO-12 i PRO-16** (liczba oznacza ilość kontrolowanych rurek). Do kontrolera **BLOW MASTER** można podłączyć do czterech modułów pomiarowych w dowolnej konfiguracji. Jedyne konieczne działanie to zaakceptowa-



nie nowej konfiguracji. Przy jakiegokolwiek nieprawidłowości (wyciek surowca, brak powietrza lub odłączenie modułu) system natychmiast wysyła powiadomienie i wstrzymuje pracę maszyny. Każda nieprawidłowość jest jednoznacznie i precyzyjnie identyfikowana. System zapamiętuje zaistniałe błędy do czasu skasowania ich przez użytkownika.

Kontroler BLOW MASTER inteligentnie zarządza zasilaniem modułów pomiarowych BLOW PRO w powietrze: w razie uszkodzenia podłączeń pneumatycznych automatycznie odcina nieprawidłowo funkcjonujący moduł pomiarowy.

Całe urządzenie charakteryzuje się znikomym poborem powietrza: system BLOW PRO w pełnej konfiguracji (64 rurki kapilarne) zużywa zaledwie ok. 20 litrów powietrza na minutę.

Dzięki drobiazgowemu opracowaniu tematu i zastosowaniu nowatorskich rozwiązań SCORPIO przekazuje użytkownikom doskonały i niezawodny system ostrzegający o niebezpieczeństwie zalania formy. Niska cena oferowanego rozwiązania czyni je powszechnie dostępnym, a potencjalne koszty usuwania skutków zalania formy są wielokrotnie większe niż inwestycja w system BLOW PRO.

BLOW PRO jest autorskim opracowaniem firmy SCORPIO.

03-257 Warszawa, ul. Echa Leśne 16
tel. 602 645 752, e-mail: scorpio@scorpio.net.pl
www.scorpio.net.pl

REKLAMA

*Lepiej
zapobiegać
niż...*



System wczesnego wykrywania wycieków surowca w gorących kanałach



Powiew bezpieczeństwa



SCORPIO

Tomasz Ciesielski

03-257 Warszawa, ul. Echa Leśne 16

e-mail: scorpio@scorpio.net.pl

tel. 602 645 752

www.scorpio.net.pl



4-6 marca 2025
Bydgoszcz

**7. Międzynarodowe Targi
Kooperacyjne Przemysłu
Narzędziowo-Przetwórczego**



W PROGRAMIE:

4.03.2025

- **TECHNOFORUM #PLASTICS RECYCLING**
- **Szkolenie „Jak sprzedać wtryskarke bez nakręcania bajek – sztuka marketingu w przemyśle”**

5.03.2025

- **Giełda kooperacyjna – spotkania B2B**
- **Wydarzenie informacyjne „Innovation Coach w Regionach”**

Odbierz bezpłatny bilet!



Chłodzenie konturowe form wtryskowych



Chłodzenie konturowe form wtryskowych z wykorzystaniem lutowania próżniowego to technika tworzenia kanałów chłodzących o geometrii odpowiadającej kształtowi wypraski. Dzięki temu osiąga się bardziej jednolite i efektywne odprowadzanie ciepła podczas procesu wtrysku, co wpływa na:

- Skrócenie cyklu produkcyjnego: Efektywne chłodzenie przyspiesza zestalenie tworzywa, co pozwala na szybszą produkcję detali.
- Poprawę jakości wyprasek: Jednolite chłodzenie minimalizuje powstawanie naprężeń, deformacji czy defektów powierzchniowych.

Lutowanie próżniowe jest technologią łączenia elementów przy użyciu lutów w warunkach próżni, co ma kilka istotnych zalet:

- Wysoka jakość połączenia: Próżnia ogranicza utlenianie powierzchni i zapewnia powstanie mocnej spoiny.
- Precyzyjne łączenie elementów o złożonych kształtach umożliwia tworzenie konturowych kanałów chłodzących.
- Stabilność wymiarowa: Proces lutowania w kontrolowanych warunkach gwarantuje, że połączenia są wytrzymałe i nie powodują deformacji elementów.

Proces realizacji

1. Projektowanie i symulacje: Na etapie projektowania formy wtryskowej uwzględnia się optymalny przebieg kanałów chłodzących zapewniających równomierne odprowadzanie ciepła.
2. Wykonanie elementów: Elementy, które mają być lutowane, są wykonywane tradycyjnymi metodami obróbki mechanicznej, która najczęściej jest realizowana przez zamawiającego.
3. Przygotowanie do lutowania: Powierzchnie łączone są sta-

rannie oczyszczane, a na nich наносzony jest lut dostosowany do kształtu połączenia.

4. Proces lutowania w próżni: Elementy są umieszczane w piecu próżniowym, gdzie przy kontrolowanym podgrzewaniu następuje stopienie lutu. Proces przebiega bez obecności tlenu, co minimalizuje ryzyko powstawania tlenków i innych zanieczyszczeń, a także zapewnia idealne wypełnienie połączenia szczeliny lutowniczej wypełniającą całą powierzchnię łączenia.
5. Proces hartowania w próżni: Po procesie lutowania elementy są nagrzewane w próżni i gwałtownie schładzane azotem. Zapobiega to odwęglaniu powierzchni stali i powstawaniu tlenków. Zamawiający otrzymuje gotowy, połączony i zahartowany detal z planowo rozmieszczonymi kanałami chłodzącymi.
6. Kontrola jakości: Po lutowaniu przeprowadza się kontrolę jakości spoiny, test szczelności i drożności.

Zalety chłodzenia konturowego

- Lepsza efektywność chłodzenia: Kanały chłodzące odwzorowujące kształt formujący umożliwiają bardziej równomierne odprowadzanie ciepła.
- Zmniejszenie gradientów temperatury: Mniejsze różnice temperatur w obrębie formy zmniejszają ryzyko powstawania naprężeń i deformacji.

Chłodzenie konturowe z wykorzystaniem lutowania próżniowego to metoda, która łączy inżynierskie podejście do projektowania form wtryskowych z zaawansowanymi technologiami łączenia. Dzięki temu uzyskuje się formy, które cechują się znacznie lepszym odprowadzaniem ciepła, wyższą jakością produkowanych elementów oraz wydłużoną żywotnością. Jest to szczególnie istotne w produkcji detali wymagających wysokiej precyzji i powtarzalności.

REKLAMA



Listemann Polska Sp. z o.o.
ul. Biskupińska 23
30-732 Kraków
tel. +12 65 34 230,
www.listemann.com

BEZPOŚREDNI KONTAKT:
Janusz Breliński
tel. kom. 501 65 22 26
j.breliński@listemann.com

Technologia lutowania, obróbki cieplnej i spiekania

Inteligentny dobór technologii chłodzenia konturowego

- Lutowanie próżniowe
- Chłodzenie konwencjonalne
- Chłodzenie konturowe
- Pomoc przy projektowaniu chłodzenia konturowego
- Obróbka cieplna

Dzięki kompleksowemu zakresowi usług, dużej elastyczności **Listemann Polska** oferuje Państwu indywidualne rozwiązania w zakresie chłodzenia konturowego,

- ❖ porady w zakresie konstrukcji form z chłodzeniem konturowym,
- ❖ optymalizację przebiegu kanałów chłodzących zaproponowanych przez dział konstrukcyjny klienta,
- ❖ lutowanie próżniowe i obróbkę cieplną.

Prezentacja branżowych nowości i spotkania handlowe

Dziesiątki nowych produktów i technologii, rozmowy i spotkania B2B, panele dyskusyjne, warsztaty dla przedsiębiorców i wystawa dotycząca recyklingu tworzyw sztucznych – te i inne wydarzenia czekają na przedstawicieli branży narzędziowo-przetwórczej, którzy 4-6 marca odwiedzą Targi INNOFORM® w Bydgoszczy.

Na tegoroczną edycję wystawcy przygotowali wiele nowości. Wśród nich wymienić można m.in.: BIO-PLASTIK „B100 SJ” wykonany głównie z muszli przegrzebków. Materiał ten zawiera bogate w witaminy wypełniacze, które dostarczają również składników odżywczych, np. do gleby z doniczki wykonanej z tego biotworzywa. Urządzenie przeznaczone do bezpiecznego i precyzyjnego otwierania oraz zamykania form wtryskowych, okrągłe płyty PR o średnicach od Ø 95 mm do Ø 400 mm, rozwiązanie do odpowietrzania płaskich wyrzutników, zdalnych wyrzutników i wyrzutników tulejowych, autorską 5-osiową maszynę treningową oraz oprogramowanie CAD CAM do form oraz tłoczników. Nie zabraknie także standaryzowanych recyklatów oraz energooszczędnych i ekologicznych systemów chłodzenia. W tym roku organizatorzy przygotowali specjalną Strefę Spotkań dla handlowców. Do udziału zaproszone są wszystkie firmy, które z jakiegoś powodu nie zdecydowały się na udział w targach w ramach tradycyjnego stoiska. Można jeszcze dołączyć do wydarzenia.

MERYTORYCZNE DYSKUSJE I WARSZTATY

Podczas targów nie zabraknie sprawdzonej i uznanej części merytorycznej. W tym roku w nowej formule, pod nazwą TECHNOFORUM #PLASTICS RECYCLING odbędą się panele dyskusyjne poświęcone ważnej i aktualnej tematyce recyklingu tworzyw sztucznych, w tym przede wszystkim technicznym aspektom wykorzystania recyklatów.

Wydarzeniem, którego nie mogło zabraknąć, będą spotkania B2B w ramach Giełdy Kooperacyjnej. 5 marca odbędą



się rozmowy w przestrzeni targowej, a 6 i 7 marca udostępniona zostanie możliwość spotkań na platformie on-line.

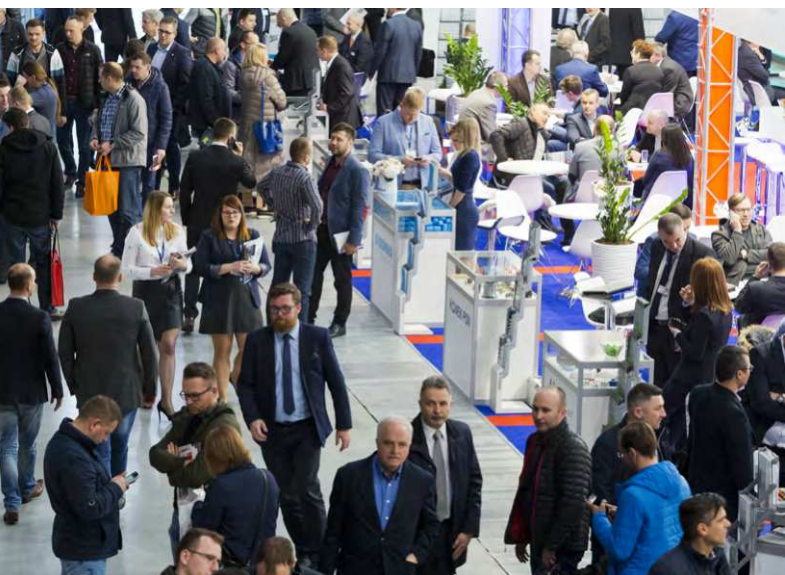
Nowością tegorocznej edycji targów będzie natomiast szkolenie z marketingu przemysłowego, zatytułowane „Jak sprzedać wtryskarkę bez nakręcania bajek – sztuka marketingu w przemyśle”. Do udziału organizatorzy zapraszają przedstawicieli działów marketingu oraz właścicieli firm z sektora przemysłowego.

Z kolei 5 marca 2025 r. odbędzie się bezpłatne wydarzenie informacyjne z cyklu „Innovation Coach w Regionach” skierowane do przedsiębiorców, którzy chcą dowiedzieć się, jak w pełni wykorzystać potencjał funduszy europejskich i regionalnych.

Udział we wszystkich wydarzeniach jest bezpłatny po dokonaniu rejestracji. Szczegółowy program opublikowany zostanie wkrótce na stronie www.innoform.pl.

PULA BEZPŁATNYCH BILETÓW

Aby zmaksymalizować oszczędność cennego czasu organizatorzy zachęcają do wcześniejszego zaplanowania wizyty na targach, zapoznania się z programem wydarzenia i pobrania bezpłatnego biletu on-line. Szczegółowe informacje oraz rejestracja gości są dostępne na stronie www.innoform.pl



Agregaty wody lodowej firmy Cool

PPH COOL to polska firma, której głównymi obszarami działalności są wykonawstwo kompletnych instalacji chłodniczych i klimatyzacyjnych, produkcja oraz serwis urządzeń. Do naszych atutów należą własny zakład produkcyjny z certyfikatem ETL dla wybranej linii produktowej, doświadczona kadra inżynierska oraz bliski kontakt z klientami w sieci lokalnych oddziałów na terenie całego kraju.

Mocną stroną PPH COOL jest umiejętność dostosowania rozwiązań do indywidualnych potrzeb klientów w trzech dziedzinach: CHŁODNICTWA, KLIMATYZACJI i SERWISU z wykorzystaniem własnych produktów.

Firma kładzie duży nacisk na energooszczędne i ekologiczne rozwiązania, np. FREE COOLING oraz stosowanie bezpiecznych dla środowiska czynników chłodniczych, takich jak R290.

Wybrane produkty fabryczne trafiają do odbiorców na całym świecie. PPH COOL współpracuje z najbardziej znanymi producentami i dostawcami komponentów w Europie, jest również dystrybutorem urządzeń znanych marek specjalistycznych z dziedziny chłodnictwa i klimatyzacji. Firma produkuje urządzenia zaprojektowane wg indywidualnych wymagań.

PRODUKUJEMY, DOSTARCZAMY, DYSTRYBUJEMY

- Agregaty wody lodowej (schładzacze cieczy);
- Agregaty chłodnicze (skraplające);
- Zespoły sprężarkowe;
- Urządzenia chłodnicze wg indywidualnych wymagań;
- Chłodnice, skraplacze, dry coolery marki Stefani;
- Automatykę i sprężarki marki Frascold, Danfoss, Copeland, Alco, Sanhua;
- Klimatyzatory split i klimakonwektory;
- Urządzenia klimatyzacji precyzyjnej.

NASZE WIODĄCE PRODUKTY

Wiodącymi produktami PPH COOL są kompaktowe agregaty wody lodowej z nieszkodliwym dla środowiska naturalnym czynnikiem R290 (propan) serii AQUACOOOL GREEN. Urządzenia o wydajności w zakresie 10-500 kW mocy chłodniczej mają uniwersalne zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu i mogą chłodzić ciecz (np. roztwór glikolu) w temperaturach od -25°C do +10°C.

PPH COOL 05-123 Chotomów, ul. Lipowa 10
tel. +48 22 772 64 18 e-mail: cool@cool.pl

REKLAMA

Gdy potrzeba chłodu jest pilna...

Agregaty wody lodowej na wynajem!

Zgłoś się do nas!

Posiadamy chillery o wydajności: 20-500 kW mocy chłodniczej!



Cool®
Istniejemy od 1981 roku



Dlaczego my?

- Jesteśmy obecni na rynku już ponad 40 lat
- Produkujemy chillery własnej marki od 23 lat
- Jesteśmy **krajowym liderem** w produkcji i sprzedaży chillerów z ekologicznym czynnikiem **R290 (propan)**
- Nasz zakład produkcyjny wyposażony jest w kompletne zaplecze do testów i konserwacji urządzeń

cool.pl

Relacja z 2. edycji konferencji „Forma wtryskowa i jej otoczenie”

W dniach 3–4 grudnia 2024 roku odbyła się 2. edycja konferencji „Forma wtryskowa i jej otoczenie”, organizowana przez Bydgoski Klaster Przemysłowy Dolina Narzędziowa przy wsparciu Urzędu Marszałkowskiego Województwa Kujawsko-Pomorskiego.

OFICJALNE OTWARCIE I INAUGURACJA

Wydarzenie rozpoczęło się od uroczystego otwarcia, którego dokonali: Dariusz Sykutera, wiceprezes Zarządu Bydgoskiego Klastra Przemysłowego, Zbigniew Ostrowski, wicemarszałek Województwa Kujawsko-Pomorskiego.

Podczas otwarcia konferencji na ręce wicemarszałka Zbigniewa Ostrowskiego zostały złożone podziękowania dla Urzędu Marszałkowskiego Województwa Kujawsko-Pomorskiego za wsparcie i współorganizację wydarzenia.

Następnie Dyrektor Zarządzający Bydgoskiego Klastra – Piotr Wojciechowski – przedstawił inauguracyjną prezentację pt. „Branża narzędziowo-przetwórcza – marka regionalna województwa kujawsko-pomorskiego”. Prezentacja ukazała kluczowe osiągnięcia oraz potencjał sektora narzędziowego w regionie, podkreślając, że Bydgoszcz po raz kolejny udowodniła, iż jest miastem, w którym forma ma znaczenie.

EKSPERCKIE WYSTĄPIENIA I PANELE TEMATYCZNE

Podczas konferencji odbyło się wiele interesujących prelekcji eksperckich, zorganizowanych w sześciu panelach tematycznych.

Pierwszy dzień wydarzenia poświęcono zagadnieniom związanym z projektowaniem, wyceną oraz obróbką form



wtryskowych.

- Zastosowanie innowacyjnych technologii CAM w produkcji form wtryskowych i wynikające z tego korzyści – AMS International sp. z o.o.
 - Teamcenter Product Cost Management – Wycena kosztów produkcji wyprasek oraz kalkulacja zysków i strat – CAM-division sp. z o.o.
 - Optymalizacja mechaniczna wyrobów z tworzyw sztucznych poprzez eksport wyników symulacji wtrysku do obliczeń wytrzymałościowych – PAWFORM sp. z o.o.
 - Projektowanie i produkcja wyrobów z tworzyw sztucznych z zastosowaniem oprogramowania firmy DPS Software – case study z wdrożenia – DPS Software sp. z o.o.
- W dalszej części dnia omówiono zagadnienia związane z wykorzystaniem stali narzędziowych w produkcji oraz ich obróbką:
- STAL NARZĘDZIOWA – standardowe i nowe wymagania rynku – IMS Polska sp. z o.o.
 - Możliwości ingerencji w formę wtryskową w kierunku wymagań estetycznych wyrobu – Sumaris Group.
 - Gwarancja jakości w procesie produkcyjnym – Renishaw sp. z o.o.
 - Precyzyjna próżniowa obróbka cieplno-chemiczna narzędzi i form – AMP sp. z o.o.
 - Zintegrowany system przecinarki drutowej FANUC Robocut i przebijarki do otworów Pentron firmy Penta – Fanuc Polska sp. z o.o.
 - Nowoczesne obrabiarki CNC i automatyzacja procesów –





DEMATEC Polska sp. z o.o.

- Funkcjonalne powierzchnie tłoczników pokrywane powłokami diamentowymi. Podsumowanie wyników projektu CORNET DiAlForm – Politechnika Wrocławska.

Na zakończenie dnia omówiono technologie czyszczenia i konserwacji form wtryskowych:

- KONEK Renew – innowacyjna technologia kompleksowego czyszczenia systemów GK oraz form wtryskowych – KONEK Renew.
- Czyszczenie form i wkładek metodą ultradźwiękową – Metals Minerals sp. z o.o.

Pierwszy dzień konferencji zakończył się uroczystą kolacją, podczas której podsumowano sesje oraz umożliwiono dalsze dyskusje między uczestnikami.

DZIEŃ DRUGI – 4 GRUDNIA 2024 ROKU

Drugi dzień wydarzenia poświęcono innowacyjnym systemom gorącokanałowym oraz normalizowanym elementom form.

- Niezawodność i wydajność w systemach gorących kanałów oraz urządzenia wspomagające proces technologiczny wtrysku – Mold-Masters Europa GmbH.
- Zbalansowanie: Jak konstrukcja kanałów przepływowych wpływa na równomierne wypełnianie? – EWIKON Heisskanalsysteme GmbH.
- Kompleksowe rozwiązania gorącokanałowe Wadim Plast – optymalizacja doboru systemu GK – Wadim Plast sp. z o.o.



- Jakość, niezawodność, efektywność pracy form wtryskowych dzięki zastosowaniu najnowszych rozwiązań HASCO – Hasco Polska sp. z o.o.
- Elementy znormalizowane Meusburger w budowie form wtryskowych – 60 lat standaryzacji – Meusburger Georg GmbH & Co KG.
- Matryce i formy – praktyczne rozwiązania – VERASHAPE sp. z o.o.

W dalszej części dnia zaprezentowano nowatorskie rozwiązania technologiczne wspierające produkcję narzędziową:

- Pomiar i technologie alternatywne w branży narzędziowej: Automatyzacja procesów jakości w zakresie form wtryskowych i wyprasek – ITA sp. z o.o. sp.k.
- Kontrola jakości w procesie wtrysku: Nowatorskie narzędzie do inspekcji wyprasek – ZEISS De-Warp – Carl Zeiss sp. z o.o.
- Niskoseryjna produkcja – Safe Concept sp. z o.o.
- Druk 3D MJF jako wsparcie formowania wtryskowego – Technology Applied sp. z o.o.



WYDARZENIA TOWARZYSZĄCE

W ramach wydarzenia odbyły się również wystawki firm prezentujących swoje produkty i rozwiązania technologiczne. Wśród wystawców znalazły się m.in.: Urząd Marszałkowski Województwa Kujawsko-Pomorskiego; APE Group sp. z o.o.; Vanity Style sp. z o.o.; Respect Energy S.A.; Verashape sp. z o.o.; Sumaris Group; ITA sp. z o.o. sp.; AMP sp. z o.o.; Wadim Plast sp. z o.o.; Meusburger Georg GmbH & Co KG.; Renishaw sp. z o.o.; Metal Minerals sp. z o.o.; DPS Software sp. z o.o.; Danje-Polymer sp. z o.o.; AMS International sp. z o.o.; Pomorska Specjalna Strefa Ekonomiczna; Technology Applied sp. z o.o.; Carl Zeiss sp. z o.o.

PODSUMOWANIE

W konferencji wzięło udział 190 uczestników, reprezentujących przedsiębiorstwa z województwa kujawsko-pomorskiego oraz z całej Polski. Wydarzenie stało się istotną platformą wymiany wiedzy oraz promocji potencjału narzędziowo-przetwórczego regionu.

Dziękujemy wszystkim uczestnikom i prelegentom za wspólnie spędzony czas i inspirujące dyskusje!

Źródło: www.klaster.bydgoszcz.pl

Konica Minolta CM-17d to nowy standard ręcznych spektrofotometrów

Andrzej Wojtkowski

W połowie 2024 roku Konica Minolta wprowadziła na rynek ręczny spektrofotometr CM-17d, który zastępuje powszechnie znane urządzenie CM-700d. Co nowego pojawia się w tym modelu? Jest naprawdę dużo do opowiadania. Zanim jednak padnie odpowiedź, to warto podkreślić, że geometria pomiarowa została bez zmian, czyli mamy do czynienia z d/8. Ponadto cały czas jest kontynuowana świetna konstrukcja pionowa, która jest chwalona przez większość klientów. To ona sprawia, że trzymanie tego urządzenia w ręku czy ni pomiary szybkimi i łatwymi. Co ważniejsze inżynierowie uwzględnili potrzebę wysokiej zbieżności wyników pomiarów z jego poprzednikiem. Jest to niesamowicie istotne, bo poprzedni model CM-700d było oferowany na całym świecie od 2007 roku i zdobył ogromną liczbę użytkowników.

CO MA W SOBIE CM-17D?

Przechodząc do odpowiedzi na temat nowości, jakie kryje w sobie CM-17d, to warto zacząć od wyświetlacza. Jest on teraz większy i lekko skierowany pod kątem – w stronę operatora dla lepszej czytelności wyników. Rzeczywiście cel został osiągnięty, bo po pomiarze nie trzeba odrywać od razu urządzenia z miejsca pomiaru, by zobaczyć wyniki. Można wyświetlać do kilkunastu różnych ekranów. Wśród nich występuje możliwość indywidualnego ustawienia każdej ko-

mórki ekranu lub poprzez ustawienie tylko tych, które chcemy widzieć. Pozwala to na unikanie zbędnego przełączania po pomiarze w celu sprawdzenia wyników. Menu jest teraz po polsku, co pozwala nowym pracownikom łatwiej opanować obsługę. Kolejną nowinką dostępną w CM-17d jest pomiar nieprzezroczystości.

Coraz częściej da się dostrzec stosowanie wzorców wirtualnych, które zastępują fizyczne odpowiedniki. CM-17d jest na to przygotowany i posiada możliwość wprowadzania parametrów wzorca po danych kolorymetrycznych. Takie wartości można wpisać dla dwóch iluminantów zarówno dla składowej SCI jak i SCE. Ponadto możliwości menu pozwalają na ustalenie 2 rodzajów użytkowników z pewnym ograniczeniem dla pracownika i z pełną funkcjonalnością za pomocą hasła – dla statusu administratora.

Już po włączeniu urządzenia i wykonaniu podstawowej kalibracji dostrzegamy WAA. To kolejna nowość, którą Konica Minolta pierwszy raz wprowadza do ręcznych spektrofotometrów. To opatentowana technologia, która daje klientowi lepszą pewność i wysoką jakość bez kompromisów dla przenośnych urządzeń. Funkcja WAA wykonuje sprawdzenie, czy nie doszło do mikro przesunięć sensorów podczas pracy z urządzeniem, które jest ciągle w ruchu poprzez stałe przenoszenie, stawianie i odkładanie.

WBUDOWANA KAMERA

Kolejną nowością jest kamera, którą Konica Minolta wprowadza pierwszy raz do ręcznych spektrofotometrów. Wnikliwe słuchanie klientów i nieustanne przyglądanie się pracy z poprzednim modelem zaowocowało właśnie taką funkcją. Od razu pojawia się pytanie: kiedy kamera pomaga? Otóż jest kilka istotnych sytuacji, w której zastosowanie jej daje możliwość pomiaru dla miejsc wcześniej niedostępnych:

- dla zaokrąglonych profili i obłych kształtów, by mieć pewność powtarzalnego przyłożenia,
- dla wiotkich i miękkich materiałów, gdy chcemy mieć pewność pełnego przykrycia pola pomiarowego,
- podczas pomiarów drobnych elementów w celu łatwego znalezienia odpowiedniego miejsca pomiaru,
- podczas pomiarów dużych i ciężkich detali, których nie weźmiemy w rękę,
- w sytuacji pomiarów konkretnego miejsca na dużej wzniesłej powierzchni,
- podczas pomiarów próbek w formie granulatu czy pelletu.

Ostatni przykład wymaga zastosowania szalki, do której wysypuje się próbkę. W takiej sytuacji spektrofotometr stawia się za pomocą specjalnego uchwytu tak, by był skierowany



otworem pomiarowym w górę i stosując program Spectra Magic NX2, sprawdza się powtarzalność nasypową pola pomiarowego. Obraz z kamery jest dostępny zarówno na samym spektrofotometrze, jak i na komputerze. Z doświadczeń klientów wynika, że coraz częściej występuje potrzeba dokumentu, który jest widocznym potwierdzeniem pomiaru danej powierzchni. Zdjęcie najlepiej spełnia to zadanie, a pracując z programem, można je zrzucić do specjalnie przygotowanego raportu przedstawiającego porównania zdjęcia próbki i wzorca.

FUNKCJONALNA OBSŁUGA URZĄDZENIA

Dużo większe możliwości menu to kolejna cecha wyróżniająca CM-17d w porównaniu do jego poprzednika. Nowy model pozwala na prostsze wpisywanie nazw wzorców i próbek. Pozwala na zamianę próbki na wzorec, czego nie dało się wykonać we wcześniejszym modelu. Ponadto obecny CM-17d ma większą pamięć pomiarową i teraz zmieści ich aż o 1000 danych więcej. Komunikacja po WLAN to kolejna nowość, która pozwala na dużo większe odległości pracy pomiędzy komputerem a urządzeniem. Moduł komunikacyjny, w który można wyposażyć urządzenie również oferuje powszechnie znany Bluetooth. Taka bezprzewodowa łączność jest szczególnie korzystna, gdy każdy pomiar powinien być notowany w firmowym systemie bazodanowym. Można to zorganizować właśnie przez program Spectra Magic NX2, w którym każdy wynik będzie automatycznie zapisywany w oddzielnym pliku *.csv o zadeklarowanej nazwie. Również jest to możliwe poprzez dostępne SDK, które pozwala na pisanie indywidualnego programu. Kolejną funkcją, którą wyróżnia się od poprzedniego modelu, to ustawienie czasu następnej kalibracji użytkownika wyrażonej w godzinach.

Nowy model ma już dedykowaną baterię i stację do ładowania, która jest jednocześnie zestawem kalibracyjnym. Służy ponadto jako miejsce spoczynku urządzenia, które podłączone do zasilania ładuje włożony tam spektrofotometr. Całość wygląda schludnie i pozwala zachować porządek w miejscu pracy.

Warto podkreślić, że nowy model CM-17d otrzymał dodatkowe nowe specjalne indeksy barw – Jetness, Blackness i Undertone. Są one dedykowane wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z czarnymi powierzchniami, których współczynnik odbicia nie przekracza 5%. Taki typ powłoki potrafi mieć mnóstwo różnych odcieni, a szczególnie w kierunku niebieskiego i czerwonego w zależności od prawidłowości przygotowania powierzchni i procesu nakładania lakieru. Dzięki stosowaniu opisanych wskaźników łatwiej można analizować zmiany barwy na tak wrażliwych dla oceny wzrokowej powierzchni. Oprócz wyżej wymienionych indeksów można również wyświetlać indywidualny wzór użytkownika bez potrzeby stałego połączenia z programem.

Krótszy czas pomiaru to kolejna zaleta, jaką da się dostrzec od razu po krótkim zapoznaniu z urządzeniem. CM-17d charakteryzuje się tymi samymi parametrami pomiarowymi co poprzednik, oferując przy tym lepsze wartości dokładności, która jest na poziomie $dE^*ab \leq 0,12$ i powtarzalności, która wynosi $dE^*ab \leq 0,02$.

Zaletą w porównaniu do poprzedniego modelu jest fakt dodania nowych iluminantów, które są zgodne ze współczesną techniką świetlną. Chodzi o symulację źródeł LED. Oprócz tego można dodać aż 3 indywidualne iluminanty poprzez pomiar źródła spektrofotometrem Konica Minolta CL-500A i wprowadzeniu tych danych za pomocą programu Spectra Magic NX2.

Mostem łączącym poprzedni model CM-700d z nowym CM-17d jest fakt wykorzystania dokładnie takich samych przysłon. Daje to wymierny efekt w postaci możliwości kontynuowania powtarzalnych metod pomiarowych, zarówno poprzez pomiary z urządzeniem w rękę czy w sytuacji pomiarów produktów sypkich, past, proszków czy płynów za pomocą takiej samej dedykowanej szalki z uchwytem.

Droży Państwo, jeżeli chcecie poznać w działaniu CM-17d, to zapraszamy do kontaktu. Oferujemy niezobowiązującą prezentację z możliwością przetestowania u nas w biurze we Wrocławiu lub u Państwa na miejscu.

Konica Minolta Sensing Europe B.V.

Sp. z o.o. Oddział w Polsce

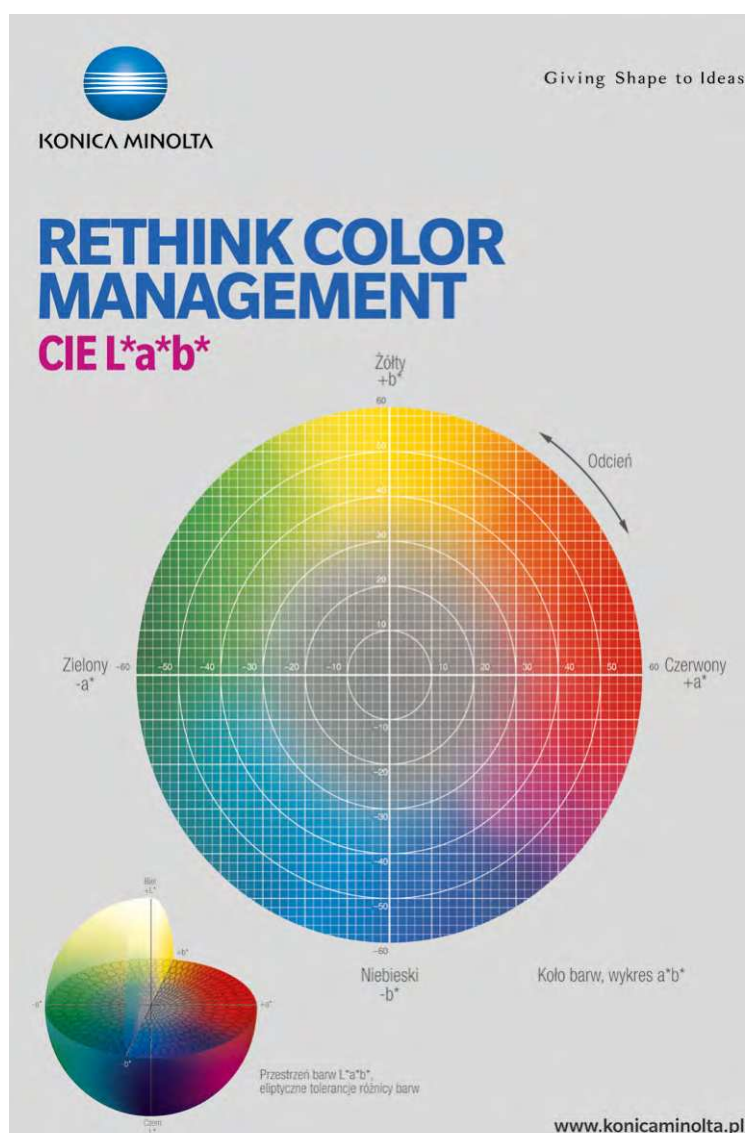
53-025 Wrocław, ul. Skarbowców 23a

tel. +48 71 734 52 11

e-mail: info.poland@seu.konicaminolta.eu

web: www.konicaminolta.pl

REKLAMA



Dlaczego PET odnajdzie się w systemie kaucyjnym

Butelki wykonane z tworzywa PET mogą być podane recyklingowi i wykorzystane powtórnie - to obecnie jeden z najskuteczniejszych i efektywnych środowiskowo sposobów gospodarowania odpadami z tworzyw sztucznych. Wejście od 2025 roku systemu kaucyjnego dodatkowo zapewni czysty gatunkowo surowiec wtórny, jakim są postkonsumenckie butelki napojowe PET.

Zgodnie ze znowelizowaną ustawą o gospodarce opakowaniami i odpadami opakowaniowymi, która dostosowuje polskie prawo do unijnej dyrektywy w sprawie zmniejszenia wpływu niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko, z początkiem 2025 r. zacznie funkcjonować system kaucyjny. Będą mu podlegać:

- jednorazowe butelki z tworzyw sztucznych (do 3 litrów);
- metalowe puszki (do 1 litra);
- szklane butelki wielorazowego użytku (do 1,5 litra).

Dla dwóch pierwszych rodzajów opakowań kaucja ma wynosić 0,5 zł, a w przypadku trzeciego będzie to 1 zł. Klienci odzyskają kaucję, oddając puste opakowania, np. do sklepów, które będą uczestniczyły w systemie kaucyjnym. Już teraz coraz więcej placówek handlowych przygotowuje się i uruchamia specjalne automaty, zwane recyklomatami.

Sprawnie działający system kaucyjny jest podstawą efektywnego recyklingu, co potwierdzają przykłady krajów, które skutecznie go wprowadziły. Powrót opakowań z tworzyw sztucznych do obiegu oznacza redukcję zanieczyszczeń i odpadów oraz możliwość pozyskania wysokiej jakości surowca do przetwarzania, co bywa dla branży problematyczne. Odzysk tego surowca jest niezbędny, aby spełnić normy dotyczące używania recyklatów w procesach produkcji nowych materiałów opakowaniowych. Sprawnie funkcjonujący system kaucyjny, połączony z projektowaniem opakowań z tworzyw sztucznych z myślą o recyklingu, będzie skutkować stworzeniem zamkniętego obiegu w tym obszarze - mówi Mariusz Musiał, Dyrektor Zarządzający ALPLA Polska.

DLACZEGO WARTO POSTAWIĆ NA PET?

Butelki PET najczęściej znajdują zastosowanie w branży napojów i wody. Samo tworzywo jest zaś cennym materiałem i zrównoważonym, przyjaznym dla środowiska surowcem opakowaniowym:

- PET może być przetwarzany wielokrotnie i nadaje się do recyklingu;
- recykling opakowań PET generuje znacznie mniej CO₂ niż opakowań i butelek ze szkła czy metalu;
- zwrotna butelka PET może być napełniana średnio aż 25 razy;
- ze względu na mniejszą masę transport butelek PET gene-



Foto: Freepik

ruje mniej CO₂ niż transport butelek szklanych;

- granulat z recyklingu jest wykorzystywany nie tylko do produkcji nowych butelek PET, ale również do produkcji innych wyrobów, takich jak tekstylia, folie czy inne opakowania;
- opakowania, które straciły swoje właściwości w wyniku wielokrotnego przetwarzania, mogą zostać zutylizowane, pozwalając w trakcie tego procesu odzyskać energię.

Wykorzystanie PET stanowi obecnie jeden z najskuteczniejszych i efektywnych środowiskowo sposobów gospodarowania tworzywami sztucznymi. Zużyte opakowania PET powinniśmy zdecydowanie uważać za cenny materiał, dlatego tak istotny jest ich prawidłowy recykling. W żadnym wypadku nie powinny być zmarnowane i trafiać do środowiska naturalnego jako zwykły odpad.

CORAZ WIĘKSZA ŚWIADOMOŚĆ KORZYŚCI PET

Właściwości PET obalają mit, że tworzywa sztuczne są mniej przyjazne dla środowiska niż szkło, papier i metal. Dla przykładu, 1-litrowa butelka PET wielokrotnego użytku w trakcie całego cyklu życia emituje zaledwie 102 g CO₂ do otoczenia, podczas gdy w przypadku butelek ze szkła jest to 144 g (butelka wielorazowa) lub nawet 552 g (butelka jednorazowa).

Wiele firm widzi więc przyszłość w wykorzystaniu materiałów PET i inwestuje w rozwiązania do nowoczesnego recyklingu. Między innymi, by spełnić coraz wyższe normy środowiskowe - od 2026 roku butelki PET będą musiały składać się w co najmniej w 25% z tworzywa sztucznego pochodzącego z recyklingu. Niektórzy producenci już idą dalej i sprzedają produkty w butelkach czy opakowaniach wykonanych nawet w całości z recyklatu.

Źródło: Alpla Sp. z o.o. Opakowania z tworzyw sztucznych

Rynek foliowy

Rozwiązania dla wymagających



Polietyleny
LDPE, LLDPE,
HDPE

Polipropyleny
HOPO, COPO,
RANDOM,
IMPACT

Polietyleny Metalocenowe
SUPEER™ (mLLDPE),
COHERE™ (POP), FORTIFY™ (POE)

**Kleje do folii
barierowych**
Coesive®
Proesive®

Plastoplan Polska jest Państwa dostawcą tworzyw sztucznych dla motoryzacji, medycyny, przemysłu elektrotechnicznego, opakowań i budownictwa. Wspólnie z producentami o ugruntowanej pozycji możemy zaoferować Państwu szeroką ofertę tworzyw, które spełnią Wasze wymagania.

Jesteśmy oficjalnym dystrybutorem SABIC® oraz wyłącznym przedstawicielem Industrie Polieco – MPB srl na rynku polskim. Pozwala nam to zaoferować pełną gamę polietylenów i polipropylenów foliowych oraz środków adhezyjnych do produkcji folii barierowych:

Polietyleny | Polipropyleny | Polietyleny Metalocenowe | Kleje do folii barierowych

Nasz zespół techniczny zajmie się Państwa projektem na wszystkich jego etapach i służy pomocą od momentu projektu wyrobu, przez dobór surowców i narzędzi i parametrów przetwórstwa aż po kontrolę jakości. Własne magazyny, rozwiązania logistyczne oraz doskonale wyposażone laboratorium są w stanie zaspokoić wszelkie potrzeby.

Tworzywo, którego potrzebujesz czeka na Ciebie w naszym magazynie!



Doświadczenie, innowacje, jakość

W pełni elektryczne maszyny serii MTM do technologii ISBM zawierają w sobie najlepsze rozwiązania firmy Magic z ostatnich 35 lat doświadczenia w budowie innowacyjnych maszyn elektrycznych do rozdmuchu.

Seria maszyn MTM została starannie opracowana przez naszych inżynierów w celu spełnienia teraźniejszych i przyszłych wymagań klientów, dając im możliwość zakupu od nas maszyny o bardzo prostej koncepcji, w połączeniu z atrakcyjną ceną w stosunku do jakości, oferowanej technologii oraz komponentów w całości wykonanych w Europie.

NISKIE KOSZTY UŻYTKOWANIA

Maszyny zostały zaprojektowane z myślą o ekonomice w produkcji, co jest możliwe nie tylko dzięki niskiemu zużyciu energii elektrycznej, krótkim cyklom, ale także kompaktowym rozmiarom, ergonomii i szybkości przebiegów oraz możliwości adaptacji form producentów maszyn hydraulicznych.

FORMY DO ISBM

Jesteśmy także producentem form ISBM, co stanowi istotną wartość dodaną dla nowych, szybkich projektów czy form pilotażowych.

Wewnętrzna narzędziownia pozwala na adaptację form innych producentów oraz zapewnia szybką dostawę części zamiennych.

CZYSTOŚĆ

Maszyna jest również zalecana do pomieszczeń clean

SMART COOLING

room i produkcji opakowań dla klientów, gdzie brak oleju hydraulicznego jest ważnym aspektem aseptyczności opakowań np.: farmacja, kosmetyki, żywność.

ZALETY MASZYN MTM ALL ELECTRIC

- Niskie zużycie energii elektrycznej;
- Krótkie cykle produkcyjne;
- Kompaktowa konstrukcja;
- Brak oleju hydraulicznego;
- Elektrycznie napędzany stół obrotowy, układ zamykania form wtrysku i rozdmuchu (patent nr EP1914061B1);
- W pełni elektryczny agregat wtryskowy;
- NOWOŚĆ! Nasze maszyny wyposażone są teraz w system SMART COOLING pozwala na optymalizację temperatury preformy przed stacją rozdmuchu;
- Wymienność form z maszynami innych producentów;
- Bardzo niski poziom hałasu dzięki elektrycznym napędzom;
- Nowy interfejs HMI dla operatora, łatwy i intuicyjny w użyciu;
- Zintegrowane roboty odbierające butelki oraz testery szczelności pracujące w linii technologicznej z maszyną.

Przedstawiciel na Polskę:

Petpoint Automation Sp. z o.o.

Wielgolas Brzeziński 1C, 05-074 Halinów

tel. +48 511 376 511; www.petpoint.eu

SERIA MTM

KOMPAKTOWE-CZyste-CICHE
ELEKTRYCZNE MASZYNY DO ISBM
www.magicmp.it



Nowość!

SMART COOLING



Przedstawiciel na Polskę: **Petpoint Automation Sp. z o.o.**
Wielgolas Brzeziński 1C ▲ 05-074 Halinów ▲ tel: +48 511 376 511 ▲ www.petpoint.eu

Ocena możliwości stosowania PET, jako dodatek do betonu w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym

Brzeska Anita, Curyło Beata, Mohamed Alwaeli, Tomasz Ponikiewski, Krzysztof Musioł

Wzrastająca liczba ludności, urbanizacja i rozwój gospodarczy, szczególnie w krajach rozwijających się powoduje, że wytwarzanie odpadów gwałtownie wzrasta. Odpowiednie gospodarowanie odpadami służy ochronie środowiska i regeneracji światowych zasobów naturalnych. Z tego powodu należy stworzyć politykę zrównoważonego rozwoju skupiającą się na jak najlepszym poziomie ochrony środowiska, a także wydajności ekonomicznej i akceptacji społecznej.

Zwiększone zużycie materiałów z powodu urbanizacji i wzrostu liczby ludności doprowadziło do szybkiego wyczerpania zasobów naturalnych, w tym energii i surowców. Dodatkowo, wraz ze wzrostem produkcji powstaje znaczna ilość odpadów, a odpady te negatywnie wpływają na środowisko.

Obecnie istnieje duże zainteresowanie wdrażaniem idei gospodarki o obiegu zamkniętym oraz poszukiwaniem optymalnych metod gospodarki odpadami pod względem surowców i energii. Gospodarka o obiegu zamkniętym stała się światowym trendem i jedynym sposobem na zrównoważony rozwój gospodarczy. Jak wiadomo recykling jest podstawowym elementem gospodarki o obiegu zamkniętym. Dlatego różne rodzaje odpadów poddaje się recyklingowi, np. jako zamiennik drobnych kruszyw w technologii betonu. Szacuje się, że w skali światowej zużywa się rocznie ponad 20 miliardów ton naturalnych kruszyw [2]. W celu ograniczenia zużycia naturalnego kruszywa, sztucznie wytwarzane kruszywo i niektóre odpady przemysłowe mogą być stosowane jako alternatywa.

Kruszywo jest jednym z głównych składników (do 70% objętościowych) w betonie i ma zasadniczy wpływ na właściwości betonu [3]. Recykling odpadów, jako zamiennik naturalnego kruszywa, jest najlepszą zrównoważoną metodą, która zapobiega składowaniu i innym ogólnym zanieczyszczeniom środowiska. Zatem opracowanie skutecznego podejścia do recyklingu odpadów pomoże znaleźć alternatywne sposoby ochrony środowiska.

W ostatnich latach podjęto szeroko zakrojone badania mające na celu recykling odpadów w celu ewentualnego wykorzystania w produkcji wyrobów betonowych w celu

ograniczenia zanieczyszczenia, ale także sprawdzenia właściwości betonu wyprodukowanego przy użyciu odpadów frakcji PET. Utylizacja odpadów w technologii betonu ma wiele do zaoferowania, jeśli chodzi o pomoc w osiągnięciu celów gospodarki o obiegu zamkniętym.

Politereftalan etylenu w gospodarce

Ze względu na rodzaj polimeru można wskazać ich udział w całości produkcji tworzyw sztucznych, dla PET w Polsce wynosiło ponad 170 tysięcy ton, z czego 150 było zużyte do produkcji opakowań [5].

22 maja 2018 r. państwa członkowskie UE przyjęły pakiet dyrektyw odpadowych, którego celem jest transformacja modelu gospodarczego z linearnego na cyrkularny. W ramach dyrektyw zdefiniowano metodologię pomiaru odzysku i recyklingu:

- Zwiększono poziom recyklingu do osiągnięcia w przyszłości: Opakowania z tworzyw sztucznych: 50% do 2025, 55% do 2030 oraz wprowadzono zakaz składowania odpadów komunalnych zebranych selektywnie;
- W 2035 roku tylko 10% odpadów komunalnych może być składowane [6].

IMPLEMENTACJA GOZ W SEKTORZE BUDOWNICTWA

Wyzwania i problemy sektora budowlanego w kontekście przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym [7-8]:

- kryzys piaskowy;
- wciąż rosnący sektor budowlany;
- spodziewane znaczne zwiększenie popytu na materiały budowlane;
- wpływ na środowisko w zakresie produkcji materiałów budowlanych i ich przetwarzanie, szczególnie z powodu zużycia energii;
- niska efektywność materiałowa.

Rekomendacje [7-8]:

- załagodzenie skutków gospodarczych wynikających z nadmiernej eksploatacji środowiska naturalnego;
- podejście holistyczne, angażujące wszystkie ogniwa łańcucha dostaw, na wszystkich etapach cyklu życia wyrobu;
- optymalizacja wydajności materiałów w celu zminimali-

zowania wpływu na środowisko, wynikającego z wykorzystania materiałów i wytwarzania odpadów bez uszczerbku dla stabilności strukturalnej budynku, trwałości lub żywotności użytkowej budynku;

- budowanie strategii efektywności materiałowej.

WPŁYW ŚRODOWISKOWY

W ocenie środowiskowej zastosowano oprogramowanie SimaPro, które jest zaawansowanym narzędziem o wszechstronnym zastosowywaniu w kontekście oceny wpływu na środowisko produktów i procesów.

Zastosowane metody

ReCiPe to metoda oceny wpływu (LCIA) w LCA. Ocena wpływu cyklu życia (LCIA) przekłada emisję i wydobycie zasobów na ograniczoną liczbę siły oddziaływania na środowisko za pomocą tak zwanych czynników charakteryzujących. Istnieją dwa główne sposoby uzyskiwania czynników charakteryzujących, tj. na poziomie punktu środkowego i na poziomie punktu końcowego. ReCiPe oblicza:

- 18 wskaźników punktu środkowego,
- 3 wskaźniki punktu końcowego.

Wskaźniki punktu środkowego koncentrują się na pojedynczych problemach środowiskowych, na przykład zmianie klimatu lub zakwaszeniu. Wskaźniki punktu końcowego pokazują wpływ na środowisko na trzech wyższych poziomach agregacji, stanowiących wpływ na zdrowie ludzi, różnorodność biologiczną i niedobór zasobów.

Konwersja punktów środkowych na punkty końcowe upraszcza interpretację wyników LCIA [9]

IPCC GWP – opisuje potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP, z ang. *global warming potential*) – wskaźnik służący do ilościowej oceny wpływu danej substancji na efekt cieplarniany. Porównuje ilość ciepła zatrzymanego przez określoną masę gazu do ilości ciepła zatrzymanego przez podobną masę dwutlenku węgla. GWP jest przeliczany dla określonego przedziału czasu, zwykle 20, 100 lub 500 lat [10].

Użyte jednostki [11]

DALY – stosowana do określenia stanu zdrowia danego

społeczeństwa. Wyraża łącznie lata życia utracone wskutek przedwczesnej śmierci bądź uszczerbku na zdrowiu w wyniku urazu lub choroby. Species.yr - określa utratę lokalnych gatunków zintegrowanych w czasie (rok przeżycia danego gatunku) na skutek oddziaływań na ekosystem takich czynników jak: zmiany klimatyczne, zakwaszenie lądowe, eutrofizacja słodkowodna, ekotoksyczność lądowa, ekotoksyczność wody słodkiej, ekotoksyczność dla środowiska morskiego, zajęcie gruntów rolnych, zajęcie terenów miejskich i naturalne przekształcanie gruntów.

USD - koszt zużycia paliw kopalnych i surowców metalicznych.

Zakres danych i ramy systemu

Produkcja betonu z wykorzystaniem standardowego kruszywa, którym jest piasek, oraz wykorzystaniem płatków PET wymaga wielu zasobów, takich jak urządzenia do transportu i przeróbki, energię elektryczną, wodę oraz zagospodarowanie i naruszanie gruntów. Emitowane są także znaczne ilości zanieczyszczeń do powietrza i wytwarzane ścieki o różnym stopniu zanieczyszczenia.

Ze względu na znaczne podobieństwo wykorzystanych zasobów w obu procesach produkcji, w celu uproszczenia analizy, wykorzystano różnice w ilości i rodzaju zużywanego kruszywa. Różnice w zużyciu i morfologii badanych betonów wskazano w tabeli 1.

ANALIZY LCA

Analiza cyklu życia uwzględniała wpływ ilościowego zużycia kruszywa i płatków PET dla danych rodzajów betonu w czasie 1 roku przy produkcji wynoszącej 20 000 m³. Korzystając z bazy danych, zastosowano następujące pozycje kruszyw w zmiennych proporcjach (0%, 2%, 5% i 10% płatków PET):

- Sand {GLO}| market for | Alloc Def, U;
- PET (amorphous) E;

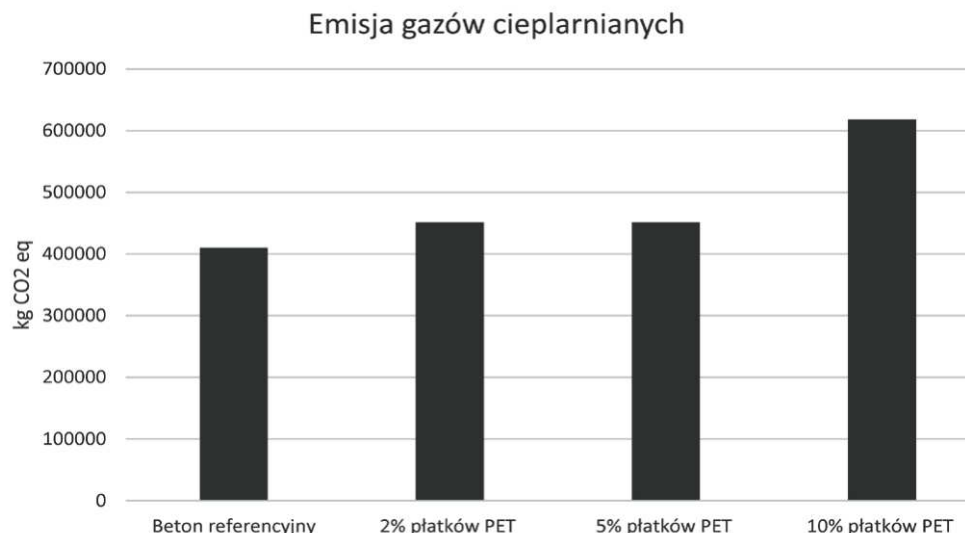
Analizę sporządzono na podstawie poniższych wskaźników wpływu:

- emisja gazów cieplarnianych, wyrażoną w jednostce ekwiwalentu wyemitowanego CO₂,

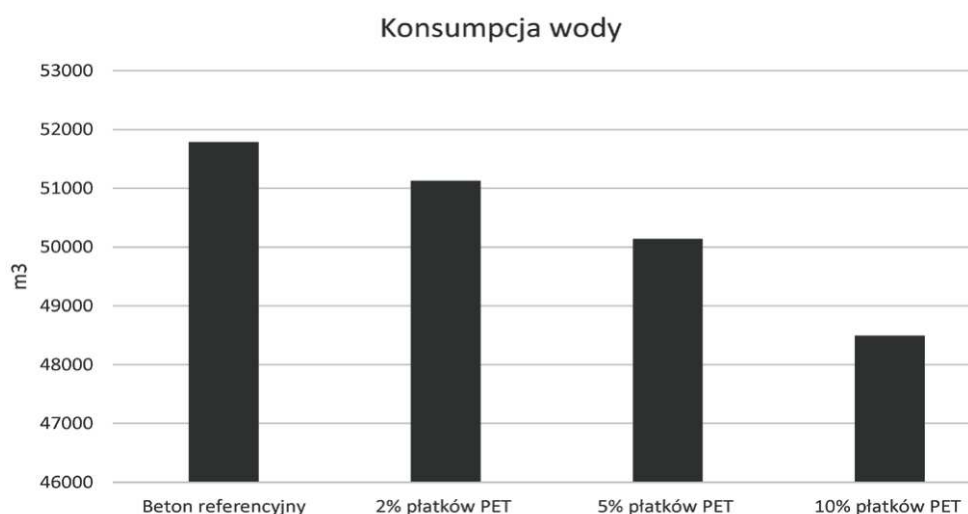
Tabela 1. Zużycie surowców do produkcji betonu według składu morfologicznego w skali 1 roku

Surowiec	Beton referencyjny bez udziału pł. PET	2% udział płatków PET	5% udział płatków PET	10% udział płatków PET
Jednostka	Mg/rok			
Kruszywo frakcji 2-8 mm	10 000	9330,4	8326	6 652
Kruszywo frakcji 8-16 mm	11 000	10 985,60	10 964	10 928
Piaski frakcji 0,1- 0,2 mm	15 000	14 964	14 910	14 820
Płatki PET frakcji 2-8 mm	0	669,6	1674	3348
Płatki PET frakcji 8-16 mm	0	14,4	36	72
Płatki PET frakcji 0,1- 0,2 mm	0	36	90	180
Cementy	70 000	70 000	70 000	70 000
Suma PET	0	720	1 800	3 600
Suma kruszywa	36 000	35 280	34 200	32 400

Rys. 1. Podsumowanie wyników pod względem emisji gazów cieplarnianych



Rys. 2. Podsumowanie wyników pod względem konsumpcji wody



- konsumpcja wody, wyrażona w m³,
- zagospodarowanie terenu, jako ekwiwalent powierzchni w m³ przeznaczonej do upraw rolnych,
- zużycie zasobów kopalnych, wyrażone jako koszt surowców w USD,
- zużycie zasobów mineralnych, wyrażone jako koszt surowców w USD.

Sprawdzono także jak zmienia się wpływ danej mieszanki betonu w perspektywie 100 lat (metoda IPCC GWP 100Y).

Wyniki metodą Recipe

Z wykresu (rys. 1) wynika, że, dodatek płatków PET wpływa negatywnie na efekt cieplarniany, powodując większą emisję ekwiwalentu CO₂. Dodatek 10% tworzyw sztucznych powoduje aż o ponad 30% zwiększenie emisji gazów cieplarnianych w porównaniu do betonu referencyjnego.

Dodatek płatków PET wpływa na zmniejszenie konsumpcji

wody - wraz ze wzrostem dodatku tworzyw sztucznych ta tendencja rośnie. Zużycie wody spada z 51 783,43 m³ dla betonu referencyjnego do 48 488,13 m³ dla betonu z 10% dodatkiem PET przy produkcji betonu 20 000 m³ na rok.

Zwiększony dodatek płatków PET wpływa niekorzystnie na zagospodarowanie terenu, czego skutkiem może być zmniejszona dostępność gruntów pod uprawy rolne (rys. 3).

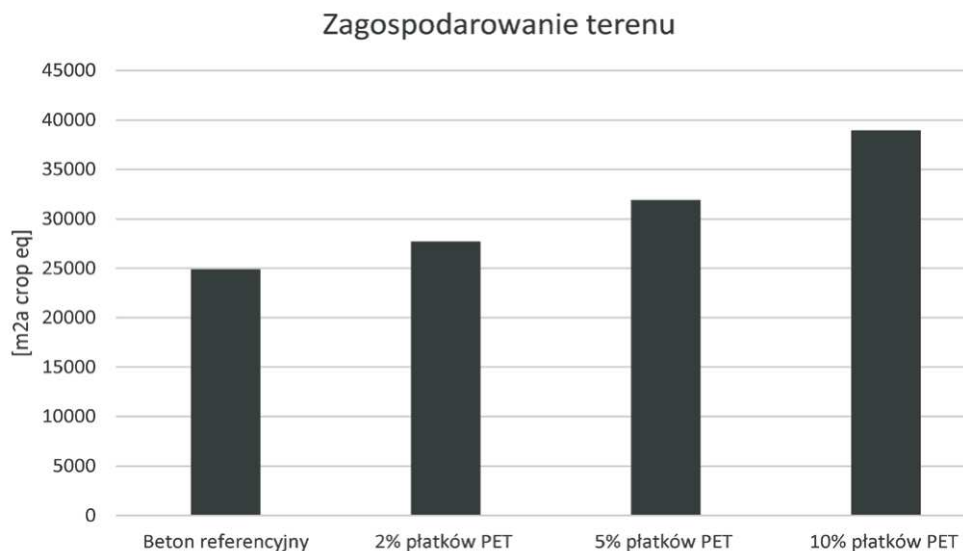
Z wykresu (rys. 4) wynika, że wraz ze wzrostem użycia płatków PET w betonie wzrastają koszty pozyskania paliw kopalnych. Koszt ten wzrasta o ponad 9% w porównaniu z betonem bez płatków i betonem ich 10% zawartością.

Wykres (rys. 5) wyraźnie wskazuje, że dodatek płatków PET wpływa niekorzystnie na niedobór zasobów mineralnych. Dodanie 10% objętościowo płatków PET zwiększa koszty pozyskania tych zasobów ponad trzykrotnie w porównaniu z betonem referencyjnym, bez dodatku tworzyw sztucznych.

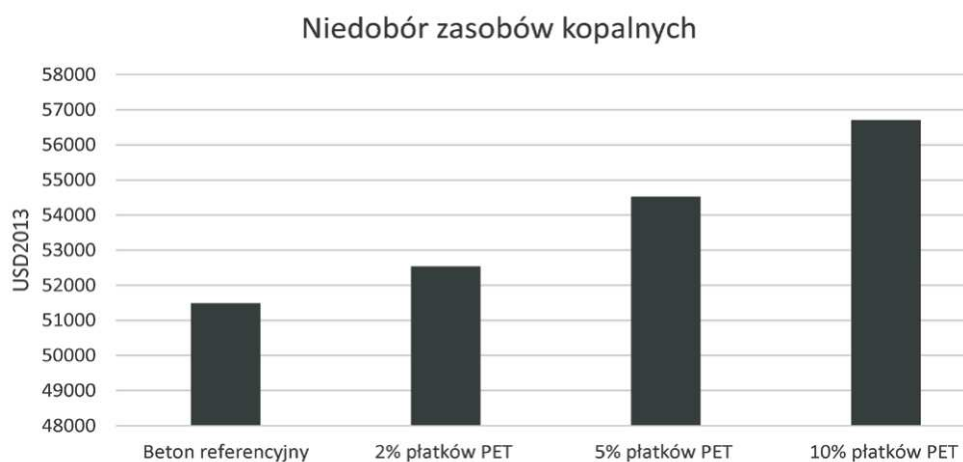
Tabela 2. Wyniki zbiorcze analizy LCA metodą IPCC GWP 100y dla betonu z różną zawartością płatków PET

Zastosowany materiał	Unit	Kruszywo	Płatki PET	Total
Referencyjny	kg CO ₂ eq	417040,84	0	425551,88
Zawartość płatków PET 2%	kg CO ₂ eq	417040,84	72342,42	489383,26
Zawartość płatków PET 5%	kg CO ₂ eq	404274,28	180856,05	585130,33
Zawartość płatków PET 10%	kg CO ₂ eq	382996,69	361712,10	744708,79

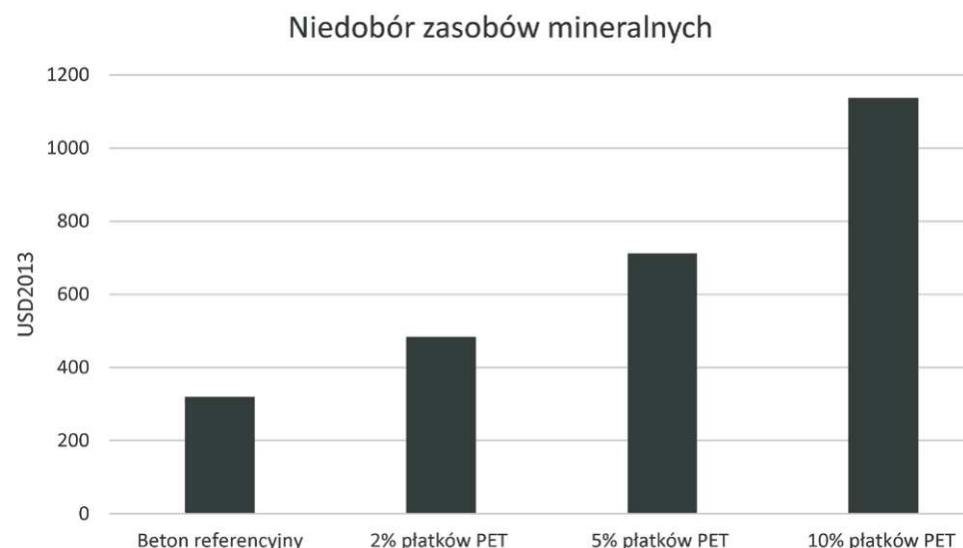
Rys. 3. Podsumowanie wyników pod względem zużycia zagospodarowanych terenów



Rys. 4. Podsumowanie wyników pod względem wpływu na niedobór zasobów kopalnych



Rys. 5. Podsumowanie wyników pod względem wpływu na niedobór zasobów mineralnych



Wyniki metodą IPCC GWP 100y

Z zestawienia zastosowanych materiałów w tabeli 2 wynika, że w określonym przedziale, tj. 100 lat, wraz ze zwiększonym dodatkiem płatków PET do mieszanki betonu wzrasta negatywny potencjał efektu cieplarnianego.

WPŁYW ZAMIENNIKA NA WŁAŚCIWOŚCI BETONU

Dodatki tworzyw sztucznych w tym PET mają pozytywny, jak i negatywny wpływ na właściwości betonu w zależności

od rodzaju i sposobu przygotowania danego odpadu oraz użytych proporcji.

Zbadanym pozytywnym efektem dodatku płatków, włókien bądź żywicy PET są:

- zmniejszenie ciężaru betonu [12], [47],
 - odporność na oddziaływanie środowiska agresywnego [13], [49],
 - zwiększona odporność na uderzenia [13], [49].
- Natomiast negatywnymi skutkami dodatku PET do betonu są:
- degradacja PET w betonie [12], [47],

- wzrost porowatości [12], [47],
- słaba kohezja na granicy zaczyn-PET [14], [18].

PODSUMOWANIE

W ostatnich latach wiele badań skupiło się na sprawdzeniu właściwości betonu, który zawiera w pewnej części tworzywa sztuczne. Większość z nich stawia negatywne wnioski. Według licznej literatury dodatek PET redukuje wytrzymałość i pogarsza parametry wraz ze wzrostem ilości stosowanych odpadów [15-20].

Analizując wyniki pozyskane przy użyciu oprogramowania SimaPro, można zauważyć, że beton wykonany przy użyciu płatków PET z recyklingu wypada gorzej i tendencja ta wzrasta wraz ze zwiększoną ilością dodatku PET. Jedyną kategorią wpływu, w której wpływ betonu z płatkami PET kształtuje się pozytywnie, to konsumpcja wody.

W związku z tym nie stwierdzono oczekiwanego pozytywnego wpływu na środowisko poprzez zastosowanie odpadowych płatków PET do betonu jako zamiennika. Ponadto nie ma dowodów na to, że ten beton jest porównywalny pod względem właściwości mechanicznych i trwałości tradycyjnemu betonowi, a wiele badań wskazuje inaczej [21-22]. Jednak sektor budownictwa może nadal mieć dobrą opcję wykorzystania odpadowego PET, a rozwiązania alternatywne należy odpowiednio przeanalizować przy użyciu odpowiedniej metodologii. Na przykład LCA przy zwiększonym zakresie, dodaniu transportu surowców, gdzie granulatu PET z recyklingu jest powszechniej dostępny niż piasek.

Badanie brazylijskich naukowców wskazuje również, że dobrym pomysłem jest porównawcza analiza LCA betonu polimerowego wytworzonego przy użyciu żywicy poliestrowej wykonanej z odpadów PET i wpływ środowiskowy takiego betonu może być mniej negatywny. Niestety takie badania, na dzień dzisiejszy, nie zostały przeprowadzone [23].

Podziękowanie

Dziękujemy Politechnice Śląskiej za wsparcie finansowe i laboratoryjne na prowadzenie działań badawczych i możliwość realizowania projektu PBL. Dziękujemy także opiekunom projektu dr. hab. inż. Tomaszowi Ponikiewskiemu, prof. PŚ, dr. hab. inż. Mohamedowi Alwaeli, prof. PŚ oraz dr. inż. Krzysztofowi Musiołowi za pomoc w prowadzeniu badań i realizację projektu oraz dr. inż. Magdalenie Bogackiej za wsparcie merytoryczne i udostępnienie oprogramowania do sporządzenia analizy środowiskowej.

LITERATURA

- [1] A. Petek Gursel, Eric Masanet, Arpad Horvath, Alex Stadel, Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review, *Cement and Concrete Composites*, Volume 51, August 2014, Page 38.
- [2] Wiesław Kozioł, Łukasz Machniak, Adrian Borcz, Ireneusz Baic, *Górnictwo kruszywa w Polsce – szanse i zagrożenia*, Inżynieria Mineralna, Lipiec-Grudzień 2016, str. 175.
- [3] Zbigniew Giergiczny, *Kruszywa w składzie betonu*, Vademecum Technologia Betonu, str. 1.
- [4] *Tworzywa sztuczne – Fakty 2019* Analiza produkcji, zapotrzebowania oraz odzysku tworzyw sztucznych w Europie, str. 22.
- [5] Eurostat / Plastics Europe Market Research Group (PEMRG) / Conversio Market &

Strategy GmbH.

- [6] DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-12-2018-INIT/en/pdf>, dostęp 21.04.2020.
- [7] <https://ungc.org.pl/info/materialy-zamiecyszczczenia-odpady-efektywnosc-materialowa-budownictwie/>, (dostęp 20.05.2020).
- [8] <https://businessinsider.com.pl/technologie/nauka/na-swiece-konczy-sie-pia-sekwyczerpuja-sie-zasobynaturalne/> 1989njw, (dostęp 18.05.2020).
- [9] <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe> (dostęp 15.06.2020r.),
- [10] https://pl.wikipedia.org/wiki/Potencja%C5%82_tworzenia_efektu_cieplarnianego (dostęp 15.06.2020r.).
- [11] Anna Hendlik i inni, Zastosowanie wybranych metod oceny wpływu cyklu życia procesu produkcji flokulantu syntezowanego z odpadów żywicy fenolowoformaldehydowej na jakość środowiska, *ŚRODKOWO-POMORSKIE TOWARZYSTWO NAUKOWE OCHRONY ŚRODOWISKA* Tom 13. Rok 2011, str. 1813.
- [12] Gu, L. - Ozbakkaloglu, T.: Use of recycled plastics in concrete: A critical review. *Waste Management*, 51, 2016, nr October 2017, s. 19–42.
- [13] Alfahdawi, I.H., Osman, S.A., Hamid, R., Al-Hadithi, A.I.: Utilizing waste plastic polypropylene and polyethylene terephthalate as alternative aggregates to produce lightweight concrete: A review. *Journal of Engineering Science and Technology*, 11, 2016, nr 8, s. 1165–1173.
- [14] Al-Hadithi A. I., i Hilal N. N., The possibility of enhancing some properties of self-compacting concrete by adding waste plastic fibers, *Journal of Building Engineering*, t. 8, 2016, s. 20–28,
- [15] Akçaözog˘lu, S., Atis, C.D., Akçaözog˘lu, K., . An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 30, 2010, 285–290.
- [16] Albano, C., Camacho, N., Hernandez, M., Matheus, A., Gutierrez, A., Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Manage.* 29, 2009, 2707–2716.
- [17] Asokan, P., Osmani, M., Price, A.D., Assessing the recycling potential of glass fibre reinforced plastic waste in concrete and cement composites. *J. Cleaner*, 2009.
- [18] Babu, D.S., Babu, K.G., Tiong-Huan, W., Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete. *Cement Concr. Compos.* 28, 2006, 520–527.
- [19] Choi, Y.W., Moon, D.-J., Chung, J.-S., Cho, S.-K., Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cem. Concr. Res.* 35, 2005, 776–781.
- [20] Castro-Gomes, J.P., 2011. Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar. *Constr. Build. Mater.* 25, 2011, 1712–1717.
- [21] Sharma, R., & Bansal, P. P., Use of different forms of waste plastic in concrete—a review. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2016, 473–482.
- [22] Gu L., Ozbakkaloglu T., Use of recycled plastics in concrete: A critical review <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.005> (dostęp 13.06.2020).
- [23] Calmon J.L., Zulcão R., LCA of waste PET particles as a partial replacement for sand in self-compacting concrete Conference: Sustainable Built Environment 2016 Brazil & Portugal At: Vitória-ES Volume: 1.

Artykuł został po raz pierwszy zamieszczony w publikacji „Współczesne Problemy Ochrony Środowiska i Energetyki 2020”, s. 24-32.

Anita Brzeska, Beata Curyło, prof. Mohamed Alwaeli, dr hab. inż. Tomasz Ponikiewski, prof. PŚ, dr hab. inż. Krzysztof Musioł
Politechnika Śląska

APEL członków PZPTS

Apel o podjęcie dialogu i wypracowanie wytycznych dotyczących kwalifikacji produktów i opakowań z tworzyw sztucznych, jako produktów i opakowań wielokrotnego użytku.

W ostatnich miesiącach przedsiębiorcy będący producentami lub importerami produktów z tworzyw sztucznych, oferowanych jako produkty wielorazowego użytku, doświadczają licznych kontroli ze strony wojewódzkich inspektorów ochrony środowiska (WIOŚ) na polecenie Generalnego Inspektora Ochrony Środowiska (GIOŚ). Kontrole te weryfikują, czy przedsiębiorcy nie dopuszczają się naruszenia regulacji wprowadzonych ustawą z dnia 14 kwietnia 2023 r. o zmianie ustawy o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej oraz niektórych innych ustaw („Ustawa SUP”).

Ustawa ta implementowała do polskiego porządku prawnego tzw. Dyrektywę SUP [1], której celem jest ograniczenie użycia określonych produktów jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych i ostatecznie ograniczenie ilości odpadów powstałych z tych produktów.

Jakkolwiek PZPTS potępia wszelkie działania stanowiące próbę obejścia obowiązujących przepisów prawnych i potwierdza, że działania kontrolne są potrzebne, to w przypadku kontroli związanych z przestrzeganiem Ustawy SUP, PZPTS obserwuje niepokojące przypadki:

- kwestionowania kwalifikacji produktów z tworzyw sztucznych jako tych wielokrotnego użytku, pomimo przedstawiania przez kontrolowanych przedsiębiorców dokumentacji potwierdzającej, że ich produkty nadają się do wielokrotnego użytku
- różnic w praktyce uznania produktów (opakowań) jako nadające się do wielokrotnego użytku pomiędzy poszczególnymi organami kontrolnymi.

OBECNY STAN PRAWNY

- Zarówno Dyrektywa SUP, jak i Ustawa SUP, nie definiują pojęcia produktów wielorazowego użytku, które nie są objęte ograniczeniami wynikającymi z ww. Regulacji. Przepisy nie wskazują jasno jak oceniać czy dany produkt (opakowanie) spełnia przesłanki pozwalające na uznanie danego produktu lub opakowania za wielokrotnego użytku.
- Obowiązek udowodnienia powyższego spoczywa na przedsiębiorcy, który wprowadza dany produkt z tworzyw sztucznych do obrotu, zaś brak udowodnienia będzie prowadzić do ryzyka nałożenia na przedsiębiorcę dotkliwych kar – sięgających nawet pół miliona złotych [2]. Przedsiębiorca nie ma jednak żadnego zestawu uniwersalnych wytycznych, które pomogłyby mu dokonać tej kluczowej oceny.

PRAKTYCZNE SKUTKI OBECNEGO STANU PRAWNEGO

- Brak jasnych wytycznych dla tej kwalifikacji może prowadzić do sytuacji, gdzie przedsiębiorcy będą kwalifikować swoje produkty, spełniające kryteria uznania za produkty wielokrotnego użytku, jako produkty jednorazowego użytku tylko po to, aby uniknąć ryzyka późniejszego zakwestionowania tej klasyfikacji przez organy kontrolne i nałożenia kar pieniężnych.

PZPTS apeluje o niezwłoczne rozpoczęcie szerokiego dialogu pomiędzy Ministerstwem Klimatu i Środowiska (MKiŚ), GIOŚ oraz innymi zainteresowanymi organami i podmiotami, we współpracy z przedstawicielami rynku zrzeszonymi w PZPTS. Dialog ma prowadzić do wypracowania wytycznych, które jasno określiłyby:

- jakie przesłanki musi spełnić produkt z tworzyw sztucznych, aby być kwalifikowany jako produkt wielokrotnego użytku w rozumieniu Ustawy SUP;
- jakimi dokumentami (w tym badaniami laboratoryjnymi i testami) powinien dysponować przedsiębiorca, aby wykazać wobec organu kontrolującego, że wprowadzany przez niego do obrotu produkt z tworzyw sztucznych jest wielokrotnego użytku i tym samym nie podlega Ustawie SUP.

Przyjęcie wytycznych dotyczących Ustawy SUP ułatwiłoby zainteresowanym przedsiębiorcom dostosowanie się do przepisów i zapewniłoby pewność obrotu. Zapobiegłoby to również zarzutom o niewdrożenie Dyrektywy SUP w Polsce. Wytyczne te byłyby także pomocne dla organów kontrolnych, takich jak WIOŚ i Inspekcja Handlowa, w zakresie kontroli przestrzegania przepisów przez wprowadzających produkty do obrotu oraz jednostki gastronomiczne i handlowe.

Dlatego PZPTS prosi o podjęcie dialogu w ww. zakresie i deklaruje pełną gotowość do zaangażowania się w prace nad wytycznymi.

[1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/904 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie zmniejszenia wpływu niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko (Dz. U. UE. L. z 2019 r. Nr 155, str. 1).

[2] Por. np. kary na naruszenie zakazu wprowadzania do obrotu określonych produktów wynikające z art. 40b ust. 1 pkt 2 w zw. z art. 40a pkt 7 ustawy o obowiązkach.

Źródło: Polski Związek Przetwórców Tworzyw Sztucznych



P&F Wartacz – 35 lat doświadczenia w sprzedaży maszyn dla przemysłu tworzyw sztucznych i recyklingu

Firma P&F Wartacz, założona w 1990 roku, od ponad trzech dekad dynamicznie działa na rynku przemysłowym, oferując szeroką gamę maszyn i urządzeń przeznaczonych do przetwórstwa tworzyw sztucznych, drewna oraz recyklingu. Dziś P&F Wartacz jest jedną z najstarszych firm handlowych w branży przetwórstwa tworzyw sztucznych, obsługującą klientów w 17 krajach Europy i Azji. Siedziba firmy mieści się we Wrocławiu, gdzie na stałej ekspozycji znajduje się kilkadziesiąt maszyn gotowych do testów, dzięki czemu potencjalni klienci mogą wypróbować oferowane technologie przed podjęciem decyzji zakupowej.

SPECJALIZACJA W KRUSZARKACH I MŁYNACH DLA PRZEMYSŁU PRZETWÓRSTWA TWORZYW SZTUCZNYCH I NIETYLKO

W ostatnich latach szczególnym uznaniem wśród klientów cieszą się kruszarki oraz młyny dostarczane przez firmę P&F Wartacz. Oferowane maszyny umożliwiają efektywną obróbkę i rozdrabnianie różnego typu materiałów, co czyni je idealnym rozwiązaniem dla przetwórców tworzyw sztucznych oraz przedsiębiorców związanych szeroko pojętym recyklingiem. Warto zwrócić uwagę na kruszarki firmy GENOX, które cieszą się solidną reputacją na rynku międzyna-

rodowym. Dostępne modele oferują moce od 18 do ponad 200 kW, a ich rotory rozdrabniające mają długość od 60 do 280 cm. W stałej ofercie znajdują się m.in. maszyny serii BH 2000 (2x75 kW) oraz BH2200 (2x90 kW), które można przetestować bezpośrednio w hali ekspozycyjnej we Wrocławiu. Na życzenie klientów firma dostarcza także przenośniki taśmowe na wymiar oraz separatory metalu, dostosowane do specyficznych potrzeb.

GENOX – ZAUFANY PRODUCENT MASZYN DO RECYKLINGU

Firma GENOX, z którą współpracujemy od kilkunastu lat, jest ceniona za swoje rozwiązania w zakresie systemów recyklingu. Znana z niezawodnych kruszarek i młynów, GENOX zapewnia szeroki wachlarz maszyn, które idealnie wpisują się w potrzeby polskich przetwórców i producentów. Ich kruszarki jednowałowe, takie jak Vision czy Behemoth, można szczegółowo obejrzeć i zamówić przez stronę internetową P&F Wartacz.

WSPARCIE DLA MNIEJSZYCH PRZETWÓRCÓW

Oprócz dużych rozwiązań dla przemysłu, P&F Wartacz oferuje również maszyny dla mniejszych przetwórców. Mły-

ny mielące, które produkują frakcje kilkumilimetrowe, cieszą się dużą popularnością wśród producentów dbających o efektywność i ekologię. Jesteśmy przedstawicielem takich firm jak Xiecheng i Rhong, w ciągłej sprzedaży posiadamy gramulATORY/młyny szybkoobrotowe, wolnoobrotowe, stanowiskowe, nadające się zarówno dla typowych przedsiębiorców zajmujących się recyklingiem, jak i przetwórców tworzyw i producentów, którzy chcą ograniczyć swój odpad i zawrócić go do produkcji. Dzięki stałemu rozwijaniu oferty oraz niezawodności sprzętu, P&F Wartacz zyskała sobie lojalne grono klientów, które systematycznie się powiększa. Firma nieustannie dąży do dostarczania najlepszych rozwiązań dla przemysłu tworzyw sztucznych oraz recyklingowego, zapewniając zarówno solidność, jak i innowacyjność. Zapra-



szamy do odwiedzenia naszej hali ekspozycyjnej we Wrocławiu i skorzystania z możliwości przetestowania naszych maszyn. Na życzenie klientów dorabiamy przenośniki taśmowe na wymiar oraz separatory metalu.

P&F WARTACZ P.H.U. Paweł Wartacz

Rok założenia 1990

51-416 Wrocław, ul. Kościerzyńska 21-23

filip.wartacz@wartacz.com.pl • biuro@wartacz.com.pl

tel. + 48 71 32 55 065

www.wartacz.com.pl

REKLAMA



Rok założenia 1990

Firma Genox to sprawdzony producent specjalizujący się w budowie linii i systemów do szeroko pojętego recyklingu.

W NASZEJ OFERCIE DLA BRANŻY DRZEWNEJ I MEBLARSKIEJ:

- Rębaki firmy **GENOX** o mocy od 18 do ponad 200 kW i długości rotorów rozdrabniających od 60 do 280 cm
- Kilkanaście tych maszyn stale na stanie, w tym maszyny serii BH 2000 (2x75 kW) oraz BH 2200 (2x90 kW)
- Możliwe są próby na tych maszynach.
- Na życzenie klientów dorabiamy przenośniki taśmowe na wymiar oraz separatory metalu.



P&F WARTACZ P.H.U. Paweł Wartacz
filip.wartacz@wartacz.com.pl, biuro@wartacz.com.pl

ul. Kościerzyńska 21-23, 51-416 Wrocław
tel.: + 48 71 32 55 065

www.wartacz.com.pl



Całkowita redukcja odoru w recyklingu tworzyw. Najnowsze technologie

VGT Polska od 25 jest dostawcą nowoczesnych urządzeń i systemów do przetwórstwa tworzyw sztucznych. Oferowane przez nas rozwiązania (urządzenia i całe systemy) gwarantują m.in. redukcję zużycia energii, optymalizację procesów produkcji, poprawienie parametrów jakościowych wyrobów końcowych.

Ze względu na zaostrzające się wymogi zarówno przepisów prawa, jak i samego rynku dotyczące przetwarzania powtórnego tworzyw zawróżonych, recyklingu, dołączyliśmy do naszej oferty urządzenia oraz całe linie do recyklingu tworzyw naszego nowego partnera – RECY Technologies z Włoch.

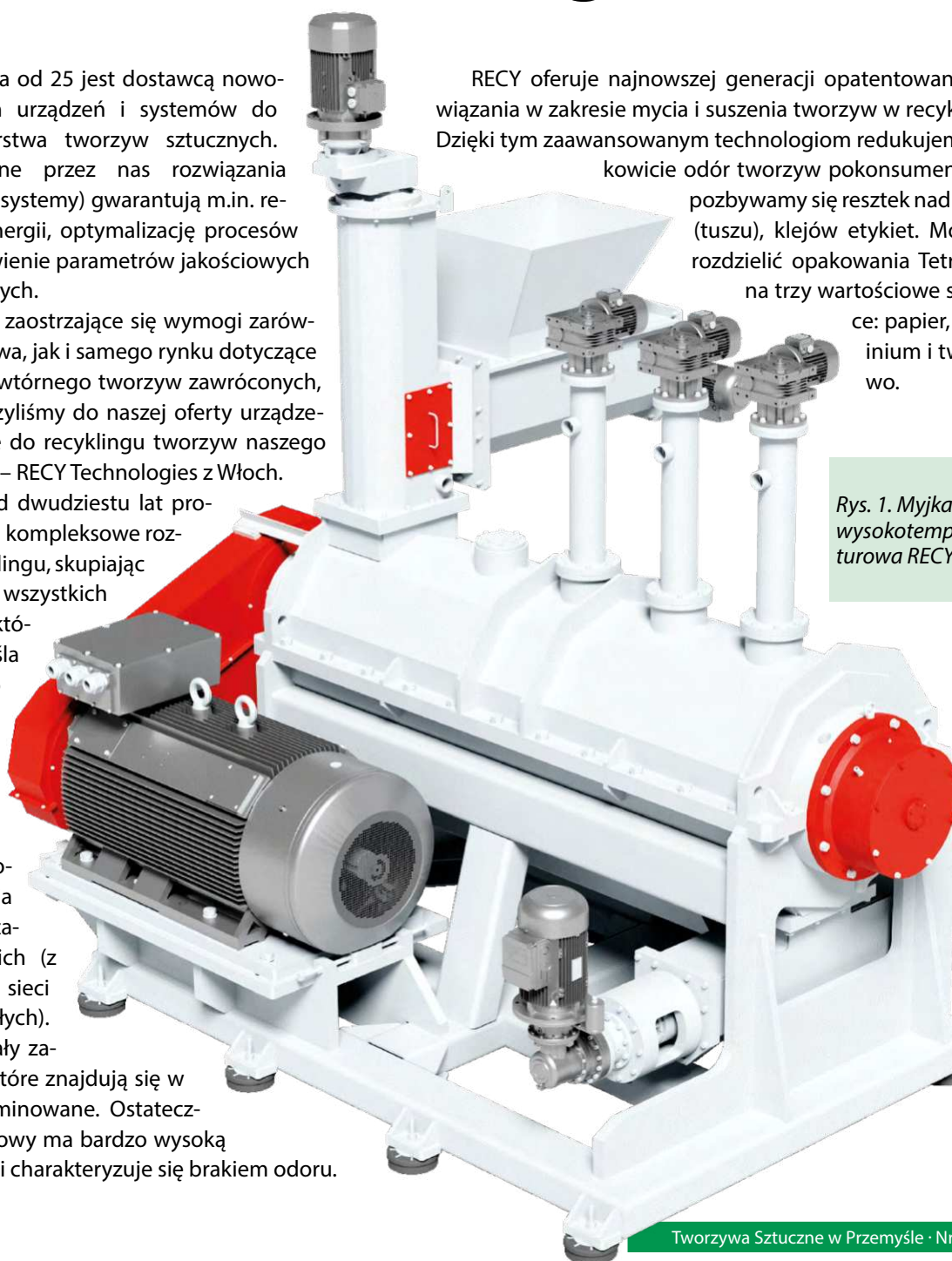
RECY od ponad dwudziestu lat projektuje i wytwarza kompleksowe rozwiązania do recyklingu, skupiając się na recyklingu wszystkich tych materiałów, które zazwyczaj określa się jako trudne do przetworzenia.

RECY Technologies to jedyna firma na świecie, która projektuje i tworzy linie do mycia wszystkich rodzajów sieci rybackich (z oceanów, z mórz, sieci dużych, sieci małych). Wszystkie materiały zanieczyszczające, które znajdują się w produkcie, są eliminowane. Ostatecznie materiał końcowy ma bardzo wysoką jakość, jest czysty i charakteryzuje się brakiem odoru.

RECY oferuje najnowszej generacji opatentowane rozwiązania w zakresie mycia i suszenia tworzyw w recyklingu. Dzięki tym zaawansowanym technologiom redukujemy całkowicie

odor tworzyw pokonsumenckich, pozbywamy się resztek nadruków (tuszu), klejów etykiet. Możemy rozdzielić opakowania Tetrapack na trzy wartościowe surowce: papier, aluminium i tworzywo.

Rys. 1. Myjka wysokotemperaturowa RECY



NOWE ROZWIĄZANIA W RECYKLINGU



Linie do MYCIA

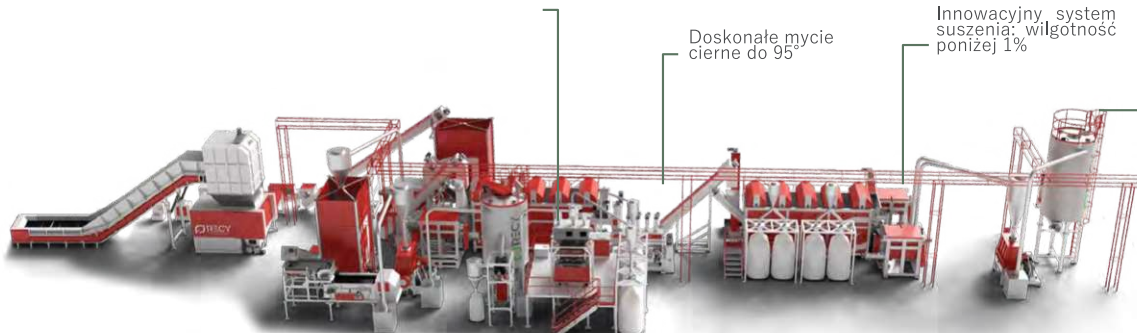
Odzysk materiałów tonących

Elastyczność naszej linii produkcyjnej pozwala nam odzyskiwać ponad 90% materiałów tonących, takich jak PP, PS i ABS, zarówno z wypełnieniem, jak i bez.

Materiał końcowy wolny od zanieczyszczeń i zapachów

Innowacyjny system suszenia: wilgotność poniżej 1%

Doskonałe mycie
cierne do 95°



Dzięki zastosowaniu najnowocześniejszej technologii jesteśmy w stanie uzyskać produkt końcowy nadający się do zastosowań w przemyśle spożywczym.



Sieci



Odpady



Folia



HDPE - PP



PET



Dywany i wykładziny



Tetrapak



Włókny

Linie do SORTOWANIA

Dokładność otwierania

Szybka i łatwa konserwacja

Doskonałe przesiewanie

Bezpieczny i niezawodny transport

Najnowocześniejsza technologia sortowania

Maksymalizacja odzysku materiałów



Doskonała selekcja

Dokładne przesiewanie

Wydajność od
2.000 do
15.000 kg/h



VGT POLSKA SP. Z O.O.
PLAC BŁONIE-BESZCZ 2
31-573 KRAKÓW

+48 12 281-34-87
INFO@VGT.COM.PL
WWW.VGT.COM.PL



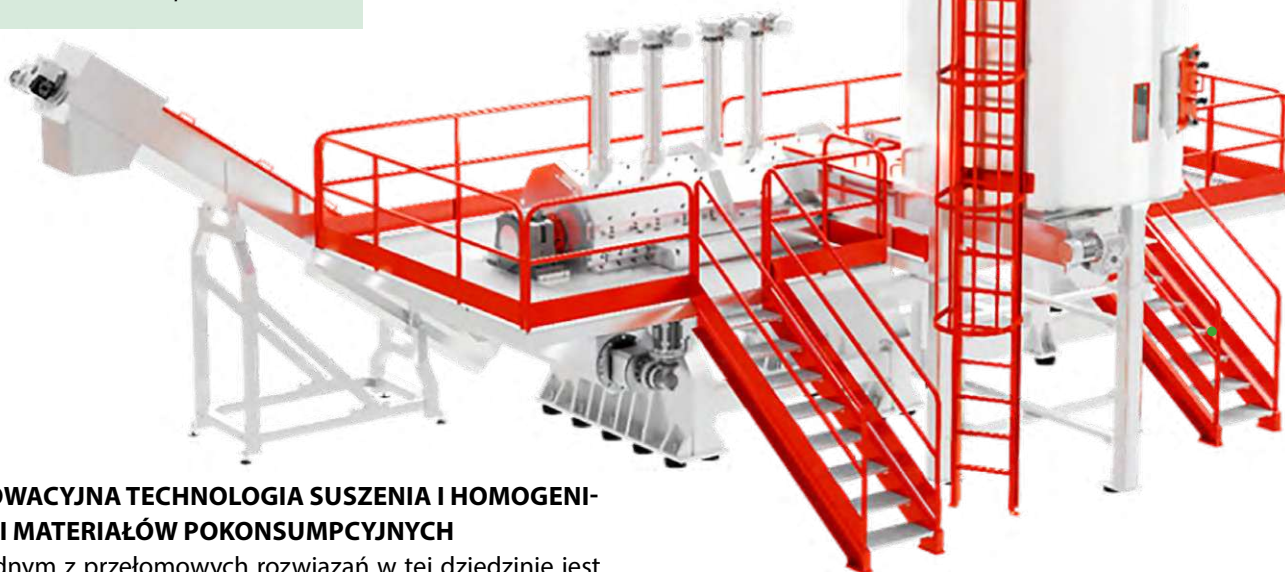
Tym przełomowym rozwiązaniem technologicznym jest myjka wysokotemperaturowa.

Przedstawione na rys. 1 urządzenie do mycia na gorąco, z regulacją tarcia, samoistnie podgrzewa wodę (nie jest konieczna dodatkowa energia). Zapewnia intensywne mycie powierzchni dzięki połączeniu wysokiej temperatury i tarcia, z użyciem produktów chemicznych lub bez nich. Myjka wysokotemperaturowa RECY pozwala usuwać z powierzchni z tworzyw sztucznych wszelkie zanieczyszczenia, takie jak: ziemia, piasek, klej, olej, papier i substancje lepkie, pozostałości organiczne, kamienie, metale, farby, tusze oraz wszelkiego rodzaju zapachy.

Poza tym urządzenie jest konfigurowalne i zapewnia pełną integrację i wymiennność z istniejącymi instalacjami (maksymalną adaptowalność).

Kolejnym urządzeniem wyprzedzającym konkurencję jest suszarka EXT (rys. 2), dzięki której przy znacznie mniejszym zużyciu energii w porównaniu do standardowych rozwiązań możemy uzyskać wilgotność resztkową suszonego surowca na poziomie nawet do 0,2%. Dodatkowo urządzenie to działa jako kompaktor do zagęszczania (przykładowo z poziomu gęstości 50 kg/m³, materiał jest zagęszczany do 350 kg/m³).

Rys. 2. Suszarka i kompaktor EXT



INNOWACYJNA TECHNOLOGIA SUSZENIA I HOMOGENIZACJI MATERIAŁÓW POKONSUMPCYJNYCH

Jednym z przełomowych rozwiązań w tej dziedzinie jest Super EXT – innowacyjna maszyna, która wyznacza nowe standardy w suszeniu i homogenizacji materiałów pokonsumpcyjnych:

- Zaawansowane suszenie i przygotowanie do ekstruzji – Super EXT to nie tylko urządzenie suszące – jego unikalna konstrukcja pozwala na jednoczesne homogenizowanie materiału, co optymalnie przygotowuje go do dalszego etapu ekstruzji. Dzięki temu proces staje się bardziej efektywny, a jakość końcowego produktu – wyższa;
- Wszechstronność w recyklingu różnych typów plastiku – jednym z kluczowych atutów Super EXT jest elastyczność w przetwarzaniu różnych rodzajów tworzyw sztucznych, w tym: LDPE, LLDPE, HDPE, PP, PULPER, EPS, TNT, PET, PA i PS PC, PVC, ABS;
- Technologia na najwyższym poziomie – zaawansowana konstrukcja Super EXT gwarantuje precyzyjne i niezawod-

ne działanie, zapewniając;

- Skuteczne suszenie z wilgotnością resztkową poniżej 0,2%;
- Zagęszczanie materiału z poziomu gęstości 50 kg/m³ do 350 kg/m³;
- Czterostopniowe odgazowanie (*quadruple degassing*);
- Wzmocnione podawanie wymuszone (*enhanced forced feeding*).

Dzięki tym rozwiązaniom możliwe jest znaczące zwiększenie wydajności linii recyklingowej i jednocześnie ograniczenie strat surowca.



Zapraszamy do współpracy.

VGT Polska Sp. z o.o.

31-573 Kraków, Plac Błonie-Beszczy 2

tel. +48 12 281 34 87

e-mail: info@vgt.com.pl

Jesteśmy jedną z wiodących firm zajmujących się recyklingiem PMMA w Europie, skupujemy następujące materiały:

- Skrawki z formowania wtryskowego
- Odcięte kawałki z arkuszy
- Odpady początkowe (bryły lub wióry)
- Pellety poza normą (żywice) / kulki / arkusze oraz nadwyżki magazynowe
- Pyły, np. ze szlifowania

Ponadto produkujemy PMMA w postaci proszku, regranulaty PMMA oraz żywice na bazie MMA do różnych zastosowań.

D-64584 Biebesheim, An der Flurscheide 7

tel.: +49 (0) 6258 8006-0,

fax: +49 (0) 6258 8006-70

e-mail: info@kfg-biebesheim.de

www.kfg-biebesheim.de

KUNSTSTOFF- UND FARBEN-GESELLSCHAFT mbH

KFG

REKLAMA



Recovery Green
RECYCLING SUROWCE Sp. z o.o.



Firma RGR SUROWCE jest recyklerem odpadów komunalnych i przemysłowych posiadający Eurocertplast na poniższe sortymenty:

PP

HDPE

Granulaty posiadają certyfikat EuroCertPlast i są w 100% PCR

Możemy modyfikować regranulaty według życzenia klienta oraz możliwości naszego zakładu.

Ponadto firma zajmuje się usługowo:
granulacją • kruszeniem tworzyw • mieleniem tworzyw

Recovery Green Recycling Surowce Sp. z o. o.
Plac Kilińskiego 1, 32-660 Chelmek

tel. +48 530 820 806, e-mail: rgrsurowce@rgr.zone

www.rgr.zone



Tworzywa Sztuczne
Przemysle

www.tworzywasztuczne.biz

Zapraszamy
do zakładki
e-gazeta!

Analiza modeli rozdrabniania

Bartosz Walentyn

Proces rozdrabniania polega na podziale materiału na poszczególne cząstki. W tym celu maszyny robocze pokonują siły spójności cząstek materiału. W wyniku wspomnianego procesu następuje zmniejszenie wymiarów wyżej wymienionych cząstek materiału przy równoczesnym wzroście powierzchni materiału. Wobec powyższego, rozdrabnianie można rozpatrywać jako proces tworzenia nowych powierzchni.

W maszynach rozdrabniających proces rozdrabniania materiału może zachodzić poprzez:

- rozłupywanie,
- zgniatanie,
- rozcieranie,
- rozciąganie,
- rozbijanie.

Proces rozbijania materiału poprzez uderzenia wykorzystany jest w rozdrabniaczach bijakowych, które znalazły powszechne zastosowanie w przetwórstwie rolno-spożywczym czy też w przetwórstwie minerałów.

Przykładowy schemat konstrukcji rozdrabniacza bijakowego przedstawiono na rys. 1.

Każda maszyna, czy urządzenie na etapie projektowania wymaga jednak dogłębnej analizy uwzględniającej wiele aspektów pracy. Do najważniejszych z nich niewątpliwie należy zaliczyć m.in. właściwości materiałów eksploatacyjnych i urobku czy warunki pracy maszyny, bądź urządzenia. W przypadku rozdrabniaczy bijakowych, decydującym czynnikiem na etapie ich projektowania jest rodzaj materiału, jaki ma podlegać rozdrobnieniu. Od niego właśnie zależy, na której spośród dziewięciu najważniejszych teorii rozdrabniania materiałów powinien opierać się konstruktor rozdrabniacza.

Publikację tę opracowano w celu przybliżenia problema-

tyki rozdrabniania materiałów ziarnistych, które jest realizowane za pomocą rozdrabniaczy bijakowych. W tym celu dokonano klasyfikacji istniejących modeli rozdrabniania oraz opisano ich zastosowania na etapie projektowania i eksploatacji wyżej wymienionych rozdrabniaczy.

PRZEGLĄD MODELI ROZDRABNIANIA

Wielu badaczy podejmowało się badań analitycznych w zakresie procesów rozdrabniania materiałów. Wśród nich przodowali: P. Rittinger, F. Kick, F.C. Bond, I. Rebinder, S. Melnikow, Walker, J. Dmitrewski, J. Flizkowski [1, 2, 4–7].

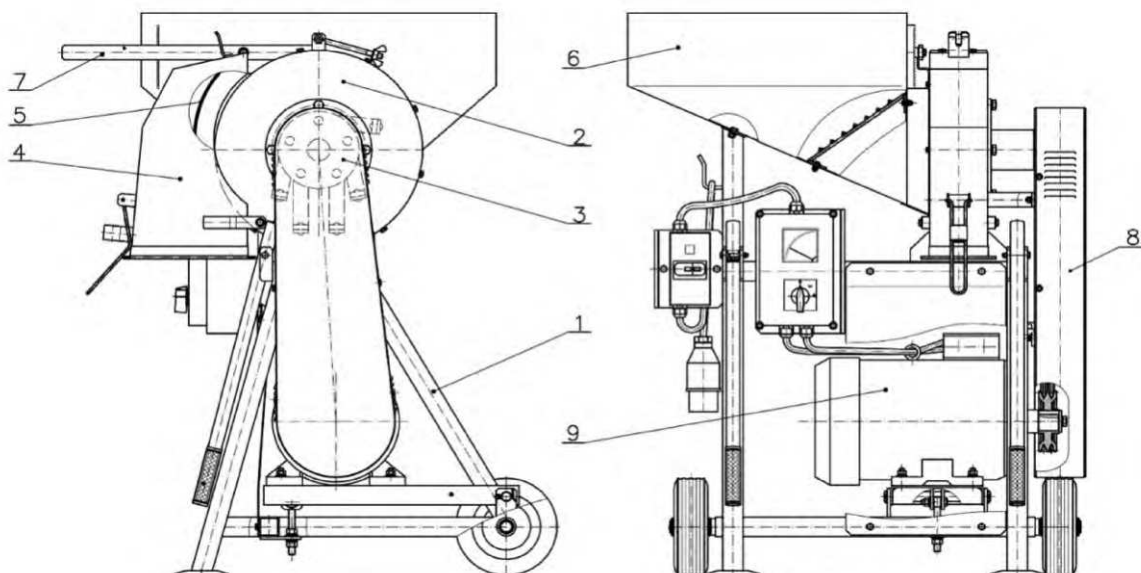
Podstawowym problemem uniemożliwiającym jednolite ujęcie rozpatrywanego zagadnienia w modelu matematycznym jest wpływ rozmaitych czynników na proces rozdrabniania [1, 2, 4–7].

W teoriach rozdrabniania materiałów, rozpatrywane są modele uwzględniające zależności pomiędzy wydatkiem pracy na przyrost powierzchni rozdrabnianego materiału, a charakterem zmienności wymiarów rozdrabnianych cząstek. Energia niezbędna do rozdrobnienia, wyrażana jest jako energia potrzebna do pokonania sił spójności rozdrabnianego materiału.

Zdecydowaną większość istniejących hipotez rozdrabniania, sformułowano w postaci teorii wytrzymałościowych. Zgodnie z nimi, energia rozdrabniania jest ujmowana jako funkcja właściwości fizycznych materiałów, a także ich cech geometrycznych.

Najstarszym modelem rozdrabniania materiałów jest teoria Rittingera, sformułowana w 1867 roku w podręczniku pt. „Lehrbuch der Aufbereitungskunde”. Zawarto w nim teorię rozdrabniania minerałów, a także przedstawiono budowę maszyn do tego służących. Zasadnicza teza tej teorii brzmi

Rys. 1. Schemat konstrukcji rozdrabniacza bijakowego [12]: 1 – rama, 2 – bęben wirnika, 3 – wirnik, 4 – workownik, 5 – sito, 6 – kosz zasypowy wraz z kratką zabezpieczającą, 7 – zasuwa ręczna, 8 – przekładnia pasowa wraz z osłoną napędu, 9 – instalacja elektryczna



następująco: „Praca, potrzebna do rozdrobnienia, rośnie proporcjonalnie do stopnia rozdrobnienia” [5].

Rittinger przyjął bowiem, że cała energia zużywana jest na pokonanie sił spójności międzycząsteczkowej w trakcie rozdrabniania materiałów stałych [10].

$$E = K_{Ri} \cdot \Delta F \quad (1)$$

gdzie: E – energia procesu rozdrabniania [J]; K_{Ri} – współczynnik zależny od kształtu ziarna i ciężaru właściwego materiału [$J m^{-2}$]; ΔF – przyrost powstałej powierzchni w procesie rozdrabniania [m^2].

Według kolejnego założenia Rittingera „praca potrzebna do rozdrobnienia rośnie proporcjonalnie do stopnia rozdrobnienia”. Stąd wniosek, że wraz ze wzrostem stopnia rozdrobnienia wzrasta również praca włożona w ten proces [5].

Drugim modelem jest teoria Kicka z 1885 roku, zawarta w książce pt. „Das Gesetz der proportionalen Widerstände und seine Anwendungen” („Prawo proporcjonalnych oporów i jego zastosowania”) [5].

Kick założył, że cała energia zużyta na rozdrobnienie, wykorzystywana jest na wytworzenie odkształcenia, które spowoduje przekroczenie naprężenia krytycznego. Ponadto naprężenie wzrasta liniowo wraz z odkształceniem aż do osiągnięcia wartości naprężenia krytycznego. Z przytoczonych założeń wynika, że praca rozdrabniania proporcjonalna jest do objętości rozdrabnianego materiału [10].

$$E_k = \frac{\sigma_c^2}{2E} \cdot V \quad (2)$$

gdzie: E_k – energia procesu rozdrabniania wg Kicka [MJ]; σ_c – naprężenie niszczące [MPa]; E – moduł sprężystości [MPa]; V – objętość ciała [m^3].

O wiele nowszym modelem, bo powstałym w 1952 roku, jest teoria Bonda [5]. Przyjął on, że proces rozdrabniania dzieli się na dwie fazy. W pierwszej z nich powstaje odkształcenie doprowadzające do wystąpienia naprężenia krytycznego. W drugiej zaś odpowiedni dodatek energii niszczy siły spójności międzycząsteczkowej. Taki model potwierdza słuszność teorii Rittingera w przypadku rozdrabniania drobnego. Ten rodzaj nie wymaga bowiem dużego udziału energii do wykonania deformacji w stosunku do energii zużytej na pokonanie sił spójności. Ponadto model ten tłumaczy również słuszność teorii Kicka w przypadku rozdrabniania grubego – występuje bowiem konieczność wytwarzania dużych odkształceń przy stosunkowo niewielkiej nowo utworzonej powierzchni [10].

$$E_{BO} = 10W_i \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}^p}} - \frac{1}{\sqrt{d_{80}^n}} \right) \quad (3)$$

gdzie: E_{BO} – energia procesu rozdrabniania wg Bonda [$kWh Mg^{-1}$]; W_i – indeks Bonda, określa podatność materiału na mielenie, jest on określany empirycznie [$kWh Mg^{-1}$]; d_{80}^p , d_{80}^n – 80% produktu rozdrabniania i nadawy (dla wymiarów oczek sit, przez które przechodzi 80% produktu rozdrabniania i nadawy) [m].

Jeszcze nowszym modelem jest teoria Bracha, zwana również „teorią wielokrotności pracy kruszenia”. Została ona

sformułowana w 1962 roku, a jej istotą jest powtarzalność procesów rozdrabniania pojedynczego ziarna w celu osiągnięcia założonego stopnia rozdrobnienia [2]. Zgodnie z teorią tą za podstawę przyjęto, że gdy ciało kruche poddane zostanie odpowiedniemu obciążeniu, odkształci się ono, a następnie rozpadnie się na części. Pierwszym założeniem autora jest powstanie nowego ziarna w wyniku pojedynczego kruszenia, drugim zaś – stwierdzenie zależności między jednostkową pracą rozdrabniania a wymiarem ziarna. Przy formułowaniu tej teorii rozpatrywano kolejne fazy kruszenia ziaren od wymiarów nadawy do wymiarów produktu [10].

$$E_{Br} = K_{Br} \left(\frac{1}{d_p^m} - \frac{1}{d_n^m} \right) \quad (4)$$

gdzie: E_{Br} – energia rozdrabniania według Bracha [J]; K_{Br} – stała zależna od materiału [$J m^{-2}$]; d_n – wymiar ziarna nadawy [m]; d_p – wymiar ziarna produktu [m]; m – wykładnik potęgowy funkcji określającej zwiększenie energii jednorazowego rozdrabniania w miarę zmniejszania się wymiarów cząstek.

Kolejnym modelem rozdrabniania jest teoria Rebintera. Jest to połączenie teorii Rittingera i Kicka. To model teoretyczny, bowiem ze względu na brak szczegółowych wskaźników m_y oraz E_0 praktycznie nie stosuje się wzorów w nim zawartych. Niemniej jednak, poprzez takie sformułowanie zbudowane zostały podwaliny pod nowy kierunek w analizie energochłonności rozdrabniania materiałów.

$$E_{RE} = E_1 + E_2 + E_3 = E_1 + m_y \cdot C_b + E_0 \cdot \Delta F \cdot a \quad (5)$$

gdzie: E_{RE} – energia rozdrabniania według Rebintera [J], E_1 – energia deformacji urządzenia rozdrabniającego i ciała przed jego skruszeniem [J], E_2 – energia deformacji ciała rozdrabnianego zgodnie z teorią Kicka [J], E_3 – energia potrzebna do wytworzenia nowej powierzchni zgodnie z teorią Rittingera [J], m_y – liczba cykli deformacji, C_b – energia odkształcenia niszczącego [J], E_0 – energia potrzebna do wytworzenia jednostki przyrostu powierzchni [$J m^{-2}$], ΔF – przyrost powierzchni [m^2], a – współczynnik Rebintera.

Wyżej wymieniona teoria Rebintera występuje również w formie rozszerzonej, znanej jako teoria Mielnikowa. Sformułowana została w 1967 roku [6]. Od teorii Rebintera różni się tym, że dodatkowo zostały w niej uwzględnione właściwości materiału rozdrabnianego oraz maszyny kruszącej. Określono ponadto warunki, w jakich można tę teorię stosować, choć mają one charakter czysto teoretyczny [10]. Teoria bazuje bowiem na równaniu wyznaczonym z bardzo dużym przybliżeniem. Dlatego nie znalazła żadnego zastosowania w praktyce inżynierskiej [6].

$$L_d = C_1 \ln \lambda^3 + C_1(\lambda - 1) \quad (6)$$

gdzie: L_d – jednostkowa praca odkształcenia [$J kg^{-1}$]; λ – stopień rozdrobnienia; C_1 , C_2 – współczynniki ustalone doświadczalnie [$J kg^{-1}$].

Istotą teorii Dmitreńskiego jest natomiast założenie, że można obliczyć zapotrzebowanie energetyczne na realizację procesu rozdrabniania ziaren zbóż na podstawie doświad-

czalnych założeń odnośnie do skutecznej liczby uderzeń bijaka o ziarno – aż do powstania pęknięć powierzchniowych, które następnie rozprzestrzeniają się w całej masie ziarna. Na wartość tej wielkości decydujący wpływ wywiera prędkość obwodowa bijaków. W trakcie rozdrabniania na daną cząstkę materiału oddziałuje n uderzeń, choć tylko część z nich stanowią uderzenia użyteczne. Moc pobierana przez wirnik rozdrabniacza z bijakami wynosi [10]:

$$N = P v \quad (7)$$

gdzie: N – moc pobierana przez wirnik z bijakami [W], P – siła oporu rozdrabniania na obwodzie wirnika [N], v – prędkość obwodowa końców bijaków [ms^{-1}].

Siła oporu rozdrabniania została zdefiniowana jako funkcja wydajności oraz zmiany prędkości rozdrabnianych cząstek materiału, wynikająca z wielokrotnych uderzeń bijaków [10]:

$$P = W \Delta \omega n = W n B v \quad (8)$$

gdzie: P – siła oporu rozdrabniania na obwodzie wirnika [N], W – wydajność rozdrabniacza [kg s^{-1}], n – liczba skutecznych uderzeń bijaków, $\Delta \omega$ – zmiana prędkości uderzonej cząstki materiału w kierunku ruchu elementów rozdrabniających [rad s^{-1}], B – współczynnik proporcjonalności, v – prędkość obwodowa końców bijaków [ms^{-1}].

Jednostkowa praca rozdrabniania jest funkcją mocy rozdrabniania względem ilości rozdrobnionego materiału w czasie trwania tego procesu [10]:

$$L_j = \frac{N}{W} = n B v^2 \quad (9)$$

gdzie: L_j – jednostkowa praca rozdrabniania [J kg^{-1}], N – moc rozdrabniania [W], W – wydajność rozdrabniacza [kg s^{-1}].

Liczba niezbędnych uderzeń bijaków do rozdrobnienia materiału jest zdeterminowana prędkością kątową wirnika, liczbą bijaków oraz czasem rozdrabniania masy ziaren znajdujących się w komorze rozdrabniacza [10]:

$$n = z \frac{\omega}{2\pi} t \quad (10)$$

gdzie: n – liczba skutecznych uderzeń bijaków; z – liczba bijaków; ω – prędkość kątowa wirnika [rad s^{-1}]; t – czas rozdrabniania [s].

Masę materiału krążącego w komorze rozdrabniacza bijakowego wyznaczono na podstawie wymiarów konstrukcyjnych komory [10]:

$$m = 2\pi R L h_m \zeta \mu \quad (11)$$

gdzie: m – masa ziarna znajdująca się w komorze roboczej [kg]; R – promień wirnika [m]; L – szerokość wirnika [m]; h_m – grubość warstwy krążącego materiału [m]; ζ – gęstość rozdrabnianego materiału [kg m^{-3}]; μ – koncentracja materiału.

Po przekształceniach wzorów (7–11), równanie pracy rozdrabniania wg Dmitrewskiego przyjmuje postać [10]:

$$L_D = z \omega t R L h_m \zeta \mu B v^2 \quad (12)$$

gdzie: L_D – praca rozdrabniania [J]; z – liczba bijaków; ω – prędkość kątowa wirnika rozdrabniacza [rad s^{-1}]; t – czas rozdrabniania [s]; R – promień wirnika [m]; L – szerokość wirnika [m]; h_m – grubość warstwy krążącego materiału [m]; ζ – gęstość rozdrabnianego materiału [kg m^{-3}]; μ – koncentracja

materiału; B – współczynnik proporcjonalności; v – prędkość obwodowa końców bijaków [m s^{-1}].

Z kolei Walker jest twórcą uogólnionej różniczkowej hipotezy rozdrabniania, zwanej teorią różniczkową, w której uwzględniono zależność między energią rozdrabniania a uziarnieniem [10].

$$dE = -K \left(\frac{dx}{x^n} \right), \quad 1 \leq n \leq 2 \quad (13)$$

gdzie: dE – energia procesu rozdrabniania niezbędna do zmniejszenia wymiaru liniowego cząstki [J]; K , n – stałe zależne od właściwości rozdrabnianego materiału; x – wymiar liniowy cząstki [m].

Po scałkowaniu zależności (13) w przedziale od d_n do d_p , otrzymano wzór na energię rozdrabniania. Wykładnik potęgowy ($w = n - 1$) jest stałą materiałową i wywiera istotny wpływ na wartość energochłonności procesu rozdrabniania. Poprzez przyjęcie wartości wykładnika $n = 2$, uzyskano zależność wynikającą z teorii Rittingera. Tymczasem dla wartości $n = 1,5$ otrzymano zależność wynikającą z teorii Bonda [1]. Stała K oznacza miarę odporności materiału na rozdrabnianie. Wartość tego współczynnika zależy od jego krystalicznej struktury i liczby defektów sieci [10].

$$E = K \left(\frac{1}{d_p^w} - \frac{1}{d_n^w} \right) \quad (14)$$

gdzie: E – energia procesu rozdrabniania [J]; K – stała zależna od właściwości rozdrabnianego materiału, miara podatności badanego materiału na rozdrabnianie; n – stała materiałowa; d_p , d_n – średnica produktu i nadawy [m].

Ostatnią teorią, którą omówiono w prezentowanej pracy, jest teoria Flizikowskiego. Jej istotą jest ogólny wskaźnik efektywności energetycznej procesu rozdrabniania ziaren zbóż, który wyznaczono zgodnie z definicją biologicznego wskaźnika efektywności [10].

$$e_R = \frac{(\eta_{bio} - \eta_z) E_{brutto} \eta_s \eta_p}{(k_j v_r + \sigma_{max} F_r + \varepsilon F_r' v_r^2) v_r t M_k} \quad (15)$$

gdzie: e_R – wskaźnik efektywności rozdrabniania, η_{bio} – wskaźnik wartości biologicznej dla produktu rozdrabniania, wyznaczony na podstawie analizy sitowej i strawności *in vitro*, η_s – sprawność mechaniczna silnika [%], η_p – sprawność mechaniczna przekładni [%], η_z – wskaźnik strawności ziarna przed rozdrobnieniem, E_{brutto} – średnia zawartość energii brutto w 1 kg suchej masy ziaren [MJ kg^{-1}], M_k – wskaźnik krotności próby masowej w przypadku, gdy składniki mianownika dotyczą danych różnych od 1 kg; k_j – współczynnik oporów ruchu jałowego [N s m^{-1}]; v_r – prędkość rozdrabniania [m s^{-1}]; σ_{max} – maksymalne naprężenie w miejscu oddziaływania elementu rozdrabniającego na materiał [N m^{-2}], F_r , F_r' – pole powierzchni rozdrabnianego przekroju [m^2]; ε – współczynnik proporcjonalności [$\text{N s}^2 \text{m}^{-4}$].

Dla określonego przedziału wartości biologicznej poszczególnych grup wymiarowych produktu rozdrabniania istnieje możliwość obliczenia wskaźnika energetycznego [10]:

$$\eta_{bio} = f_{<0,5} \cdot \eta_{bio<0,5} + f_{0,5-1,5} \cdot \eta_{bio0,5-1,5} + f_{>1,5} \cdot \eta_{bio>1,5} \quad (16)$$

gdzie: η_{bio} – wskaźnik wartości biologicznej dla produktu rozdrabniania, wyznaczony na podstawie analizy sitowej i strawności *in vitro*; $\eta_{bio<0,5}$ – wskaźnik wartości biologicznej frakcji produktu o podanych wymiarach; $\eta_{bio0,5-1,5}$ – wskaźnik wartości biologicznej frakcji produktu o podanych wymiarach; $\eta_{bio>1,5}$ – wskaźnik wartości biologicznej frakcji produktu o podanych wymiarach; $f_{<0,5}$, $f_{0,5-1,5}$, $f_{>1,5}$ – udziały frakcji o podanych wymiarach.

Obliczony wskaźnik wartości biologicznej produktu rozdrabniania stanowi przedział liczbowy, wyznaczony z odpowiednim prawdopodobieństwem.

Znajomość wartości tej wielkości pozwala obliczyć stosunek przyrostu energii wyzwolonej dzięki rozdrabnianiu, do nakładów poniesionych na jej uzyskanie.

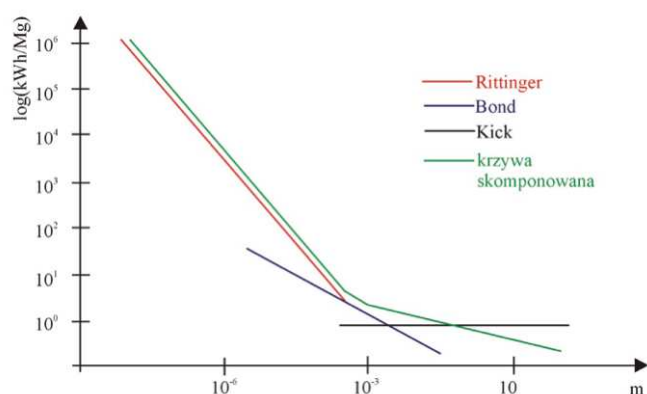
OBSZARY ZASTOSOWAŃ POSZCZEGÓLNYCH MODELI ROZDRABNIANIA NA ETAPACH PROJEKTOWANIA I EKSPLOATACJI ROZDRABNIACZY BIJAKOWYCH

Jak już wspomniano powyżej, projektowanie rozdrabniaczy wymaga dogłębnej analizy wielu czynników występujących w trakcie jego pracy. Pomocą dla projektantów są niewątpliwie opisane w tej pracy teorie rozdrabniania, mimo że autorzy tych teorii zastosowali w nich wiele założeń i uproszczeń badawczych.

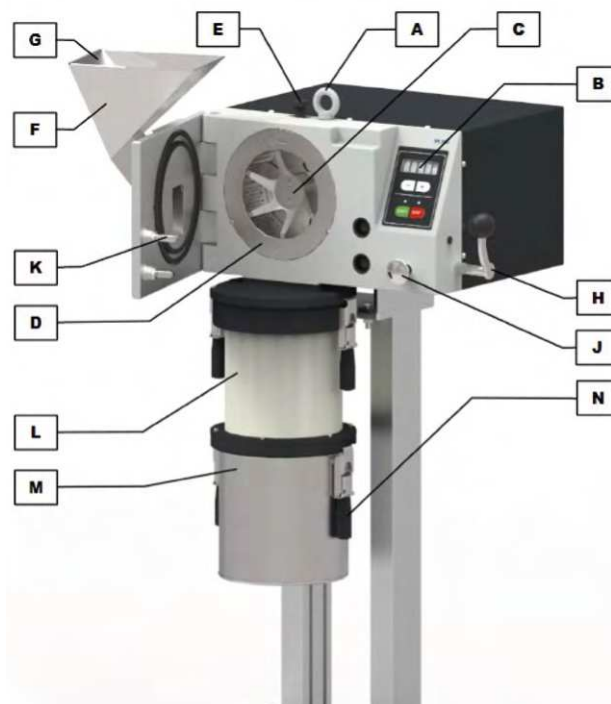
Niemniej jednak, modele matematyczne procesu rozdrabniania pozwalają na określenie niektórych parametrów, decydujących o energochłonności rozdrabniania, m.in. takich jak czas rozdrabniania czy stopień rozdrobnienia.

Przykładem może być zakres stosowności hipotez Kicka, Rittingera i Bonda, ustalony na podstawie analizy istniejących modeli rozdrabniania. Dotyczy on zależności między energią rozdrabniania, a wymiarami ziaren. Za pomocą danych zamieszczonych na wykresie (rys. 2) przedstawiono zakres zastosowania ww. teorii w zależności od wymiarów produktu rozdrabniania [10].

Bijakowe maszyny rozdrabniające znalazły zastosowanie w różnych gałęziach gospodarki. Przykładem tego typu urządzeń mogą być młyny węglowe szybkobieżne. Służą one w energetyce do rozdrabniania węgla, głównie brunatnego (o ziarnistości do 30 mm i wilgotności do 65%) bądź kamiennego. Zakres ich prędkości obrotowych wynosi od



Rys. 2. Zależność pomiędzy jednostkową energią rozdrabniania a rozmiarem rozdrabnianych ziaren. Na rysunku pokazano zakres zastosowania równań Kicka, Bonda i Rittingera wg R.T. Hukkiego podany w pracach [3, 8]



Rys. 3. Schemat konstrukcji młyna laboratoryjnego [16]: A – uchwyt transportowy, B – panel sterujący, C – wirnik, D – rama ustalająca wraz z wkładem sitowym, E – kołek blokujący, F – lej zasypowy, G – osłona przed rozpryskami, H – dźwignia blokady, J – mechanizm zaczepowy, K – mechanizm blokady, L – filtr, M – pojemnik zbiorczy, N – dźwignia zaciskowa

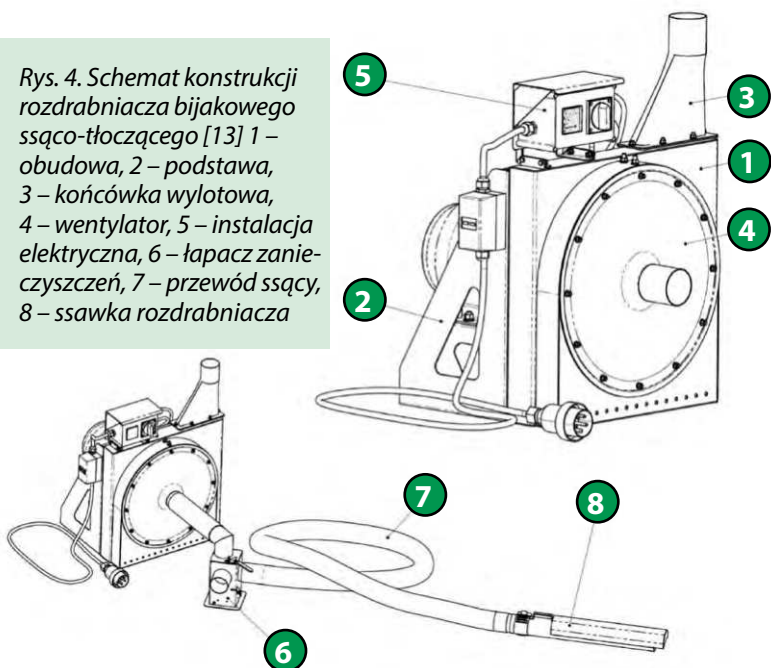
400 do 1500 obr./min. Cechą odróżniającą młyny te od ich wentylatorowych odpowiedników jest zastosowanie bijaków w postaci młotków, przytwierdzonych przegubowo do tarczy. Wydajność młynów węglowych szybkobieżnych wynosi do 150 t/h [18].

Rębaki bijakowe znalazły zaś zastosowanie przy rozdrabnianiu biomasy (słoma, liście, odpady sadownicze). Maszyny te wyposażone są w walec, wytwarzający ruch ostrzy. Ich praca przebiega dwuetapowo. W pierwszym etapie podany materiał poddawany jest wstępnemu rozniecieniu, a następnie zmiażdżeniu za pomocą młotków bijakowych miażdżących. Drugi etap to rozdrobnienie przygotowanego w ten sposób materiału przez młotki bijakowe tnące [17].

Innym urządzeniem, wykorzystującym bijaki, jest młyn laboratoryjny. Jak sama nazwa wskazuje, stanowi on część wyposażenia laboratoriów badawczych. Jego zadaniem jest rozdrabnianie kruchych materiałów twardych, m.in. takich jak: betonit, cukier, farby proszkowe, gips, gleby, grafit, koks, leki, materiały roślinne, nawozy, przyprawy, ryż, sól, tworzywa sztuczne, węgiel, wyroby chemiczne, zioła, żywność czy żywność. Zasada działania takiego młyna polega na wykorzystaniu zjawisk rozbijania i ścinania. Materiał wejściowy podawany jest przez lej zasypowy. Następnie trafia do komory mielenia. Tam poddawany jest rozdrobnieniu. Następuje to pomiędzy wirnikiem, a specjalnym sitem lub wkładem mielącym. Gdy cząstki materiału rozdrabnianego osiągną rozmiar mniejszy od otworu w sicie, spadają do pojemnika [15].

Kwestią zasadniczą prezentowanej pracy są jednak rozdrabniacze bijakowe. Jak już wspomniano we wstępie, słu-

Rys. 4. Schemat konstrukcji rozdrabniacza bijakowego ssąco-tłoczącego [13] 1 – obudowa, 2 – podstawa, 3 – końcówka wylotowa, 4 – wentylator, 5 – instalacja elektryczna, 6 – łapacz zanieczyszczeń, 7 – przewód ssący, 8 – ssawka rozdrabniacza



żą one do przetwarzania masy organicznej na śrutę w celu ulepszenia jej właściwości trawiennych. Charakteryzują się stosunkowo prostą konstrukcją [14]. Podziału ziaren zbóż dokonują poprzez zderzenie ich z bijakami, znajdującymi się w komorze rozdrabniającej [19]. W celu uzyskania założonego stopnia rozdrobnienia wystarczy ustawić odpowiednią grubość szczelin w sicie [14].

Do podstawowych rodzajów rozdrabniaczy zalicza się:

- rozdrabniacze bijakowe ssąco-tłoczące (rys. 4) – urządzenia te dzięki zastosowaniu dodatkowego wentylatora, odpowiadającego za zaciąg zboża i wyrzutu śruty, nie potrzebują „asysty” człowieka podczas poboru zboża z przrzymy lub silosu. Powoduje to, że produkcja śruty staje się procesem niezwykle efektywnym i mało uciążliwym. Ich konstrukcja zaś umożliwia szybką wymianę sita w celu dobrania odpowiedniej granulacji dla danego gatunku. Ze względu na parametry techniczne i możliwości tych urządzeń ich wydajność wynosi od 1 do 3 t/h, a droga poboru zboża – nawet do 20 metrów [19];
- rozdrabniacze bijakowe zasypowe (rys. 1) – w stosunku do rozdrabniaczy ssąco-tłoczących charakteryzują się większą wydajnością (przy zastosowaniu tych samych mocy silników ich wydajność wzrasta średnio o 1 t/h). W modelach o mocy 22 kW w ciągu godziny można uzyskać do 4 ton pszenicy o wilgotności względnej na poziomie 14% i średnicy przemiału 6 mm. Tego typu maszyny najlepiej sprawdzają się w dużych mieszalniach pasz [19].

PODSUMOWANIE

Zaprezentowane w pracy modele rozdrabniania mają duże znaczenie dla nauki i praktyki inżynierskiej, pomimo że zostały opracowane przy pewnych założeniach i uproszczeniach badawczych. Analizowane modele w większości opierają się na bilansie energii rozdrabniania, lecz na ich podstawie nie można wyprowadzić jednoznacznych zależności do analizy efektywności zarówno danej metody, jak i maszyny realizującej ten proces. Należy jednak stwierdzić, że zaprezentowane modele matematyczne procesu rozdrabniania

dają możliwość określenia niektórych parametrów, decydujących o energochłonności rozdrabniania, takich jak: czas rozdrabniania, stopień rozdrobnienia, czy wydajność maszyny rozdrabniającej.

LITERATURA

- [1] Bochat, A., Wesołowski, L., Próba modelowania rozdrabniania materiałów ziarnistych za pomocą rozdrabniacza bijakowego, *Inż. Ap. Chem.* 5, (2010), 127–129.
- [2] Feliks, J., Filipowicz, A., Zastosowanie teorii rozdrabniania do doboru mocy w kruszarce węgla, *Inż. Ap. Chem.* 4, (2009), 42–43.
- [3] Flizikowski, J., *Rozdrabnianie tworzyw sztucznych*, Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1998.
- [4] Flizikowski, J., Bieliński, K., Bieliński, M., Podwyższenie energetycznej efektywności wielotarczowego rozdrabniacza nasion zbóż na paszę, Wydawnictwa Uczelniane ATR – OPO, Bydgoszcz 1994.
- [5] Gawenda, T., *Rozdrabnianie wczoraj, dziś i jutro*, https://www.kieruneksurowce.pl/Resources/art/6170/bmp_5266447eeec39.pdf (dostęp: 26.05.2021).
- [6] Molendowski, F., *Energochłonność rozdrabniania surowców roślinnych na przykładzie rdzeni kolb kukurydzy*, Rozprawy 229, Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 2005.
- [7] Opielak, M., *Wybrane zagadnienia rozdrabniania materiałów w przemyśle rolnospożywczym*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin 2000.
- [8] Pahl, M., *Zerkleinerungstechnik*, Verlag TÜV, Rheinland 1994.
- [9] Sokołowski, E.M., Uogólniona hipoteza rozdrabniania oraz metoda wyznaczania stałych materiałowych, *Materiały IX Gliwickiego Sympozjum Teorii i Praktyki Procesów Przerobczych Podstawowe Problemy Procesów Rozdrabniania*, Gliwice 1992.
- [10] Wesołowski, L., *Badanie wpływu cech konstrukcyjnych zespołu bijakowego na efektywność rozdrabniania ziaren zbóż*, rozprawa doktorska, UTP, Bydgoszcz 2012.
- [11] Zawada, J., *Wstęp do mechaniki procesów kruszenia*, Instytut Maszyn Roboczych Ciężkich, Politechnika Warszawska, Warszawa 1998.
- [12] Agro-Stanek, rozdrabniacz bijakowy H 115, http://agro-stanek.pl/allegro/rozdrabniacz_bijakowy_H115.pdf (dostęp: 09.06.2021).
- [13] Invest-Rol, rozdrabniacz bijakowy H 116, https://investrol.pl/wp-content/uploads/pdf/POM_Augustow_rozdrabniacz_H116.pdf (dostęp: 27.07.2021).
- [14] M-Rol, Jak działają rozdrabniacze bijakowe w rolnictwie?, <https://mrol.com.pl/aktualnosci/jak-dzialaja-rozdrabniacze-bijakowe-w-rolnictwie> (dostęp: 26.05.2021).
- [15] Retsch, młyn bijakowy SR 300, <https://www.retsch.pl/pl/produkty/mlynki-laboratoryjne/mlyny-z-rotorem/sr-300/cechy-i-funkcje> (dostęp: 26.05.2021).
- [16] Retsch, Rotor Beater Mill SR 300, https://www.retsch.pl/dltmp/www/55ce-2081-3c88-4436-9ac2-37b6bc282b86-837b3a1307df/m_anual_sr300_20.752.xxxx_en.pdf (dostęp: 19.07.2021).
- [17] Vademecum dla uczniów technikum, *Mechaniczne przetwarzanie biomasy*, <http://www.instsani.pl/429/mechaniczne-przetwarzanie-biomasy> (dostęp: 26.05.2021).
- [18] Wikipedia, młyn węglowy, https://pl.wikipedia.org/wiki/Młyn_węglowy (dostęp: 26.05.2021).
- [19] Zuptor, rodzaje rozdrabniaczy do zboża, <https://zuptor.pl/rodzaje-rozdrabniaczy-do-zboza> (dostęp: 26.05.2021).

Artykuł został po raz pierwszy zamieszczony w czasopiśmie pt. „*Developments in Mechanical Engineering*” 17 (9) 2021.

Mgr inż. Bartosz Walentyn

Recykling tworzyw sztucznych z wykorzystaniem zmieniaaczy sit firmy Bagsik

Recykling tworzyw sztucznych to kluczowy element działań na rzecz ochrony środowiska i ograniczania negatywnego wpływu odpadów. Proces ten wymaga nie tylko odpowiedniego sortowania i przetwarzania materiałów, ale również zastosowania zaawansowanych technologii, które pozwalają na uzyskanie wysokiej jakości surowców wtórnych. Jednym z innowacyjnych rozwiązań w tej dziedzinie są zmieniaacze sit do filtracji tworzyw sztucznych, oferowane przez firmę Bagsik.

Są to urządzenia stosowane w procesie recyklingu, których zadaniem jest skuteczna filtracja stopionego tworzywa. W trakcie przetwarzania odpadów, takich jak PET, folie LDPE czy odpadów polipropylenowych, konieczne jest usunięcie zanieczyszczeń. Do zanieczyszczeń tych zaliczyć możemy: formy pochodzące od katalizatorów, zużycia się części mechanicznych, oderwane i przypalone resztki materiału znajdujące się pomiędzy cylindrem a ślimakiem, korozje i inne. Najwięcej zanieczyszczeń znajdujemy jednak w regranulatach oraz dodatkach do tworzyw takich jak: barwniki, pigmenty i włókna. Dodatkowo jako zanieczyszczenia w

tworzywie należy nazwać nie do końca spolimeryzowane tworzywo, nieroztopione granulaty oraz łatwo deformowalne żele.

Dzięki zmieniaaczom sit firmy Bagsik, proces ten przebiega sprawnie i efektywnie, co przekłada się na lepszą jakość końcowego produktu.

Oferowana technologia wyróżnia się zastosowaniem nowoczesnych rozwiązań, w tym ciągłą filtracją bez potrzeby zatrzymywania procesu produkcyjnego. To kluczowy aspekt w przemyśle recyklingowym, gdzie każda przerwa w pracy oznacza straty czasowe i finansowe. Zmieniaacze sit Bagsik zapewniają stały przepływ materiału, jednocześnie eliminując zanieczyszczenia i minimalizując straty surowca.

Kluczowe zalety zmieniaaczy sit to:

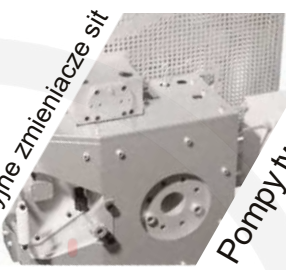
1. Wysoka jakość filtracji – skuteczność w usuwaniu nawet drobnych zanieczyszczeń.
2. Niskie zużycie energii – urządzenia zaprojektowane z myślą o efektywności energetycznej.
3. Wszechstronność – możliwość zastosowania w różnych procesach przetwarzania tworzyw sztucznych.
4. Prosta obsługa i konserwacja – intuicyjna konstrukcja, która ułatwia pracę operatorom.

www.bagsik.net

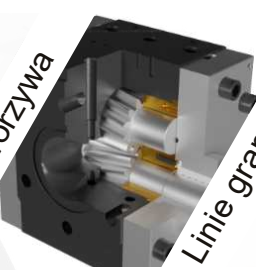
REKLAMA


Bagsik®
www.bagsik.net

PRODUCENT MASZYN DO RECYKLINGU TWORZYW SZTUCZNYCH



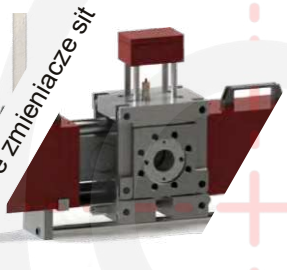
Rotacyjne zmieniaacze sit



Pompy tworzywa



Linie granulacyjne



Suwakowe zmieniaacze sit



Technika pomiarowa



Siatki filtracyjne



Elementy ślimaków



Regeneracja

Bagsik Sp. z o. o. Sp. k.
 ul. G. H. Donnersmarcka 16
 PL 41-807 Zabrze
 EU VAT: PL6312679252

Kontakt i serwis:
 tel.: +48 32 334 0000
 mob.: +48 602 691 421
 mail: office@bagsik.net



X-COMPOUND
Plastic compounding plants



extruder experts



oerlikon barmag



Kubota Brabender Technology GmbH

Badania wstępne możliwości zastosowania regranulatu polipropylenowego w mieszankach cementowych przeznaczonych do druku 3D

Szymon Skibicki, Alicja Żygadło, Monika Głowacka, Dariusz Górnostaj

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój technologii druku 3D kompozytów cementowych [1–5]. Prowadzone są badania w zakresie kompozytów na spoiwie cementowym, w zakresie materiałowym oraz technologicznym [6]. Stosowane do druku 3D mieszanki cementowe zawierają dużą ilość spoiwa oraz dobrej jakości kruszywa drobnego [7, 8]. Ten stan rzeczy wpływa negatywnie na środowisko (z powodu dużej ilości cementu w mieszankach) oraz przyczynia się do ograniczenia zasobów naturalnych (m.in. ze względu na kruszywo). Obecne tendencje naukowe dążą do ograniczenia emisji dwutlenku węgla oraz ograniczenia wydobycia zasobów naturalnych. Jednym z rozwiązań problemu zużycia zasobów naturalnych jest zastosowanie w kompozytach do druku 3D kruszyw z recyklingu [7], w tym z tworzyw sztucznych [9].

W pracach badawczych opisanych w artykule przeanalizowano możliwość wykorzystania kruszywa recyklingowego w postaci regranulatu polipropylenowego (PP) w mieszance przeznaczonej do druku 3D. Autorzy zbadali

kluczowe właściwości mechaniczne dla mieszanek referencyjnych i zmodyfikowanej wyżej wymienionym kruszywem. Następnie wydrukowano nadproże łukowe, co potwierdziło przydatność nowego materiału do stosowania w technologii druku 3D kompozytów cementowych.

METODYKA BADAWCZA

W ramach prac badawczych opisanych w artykule skupiono się na analizie właściwości mechanicznych i trwałościowych kompozytów na spoiwie cementowym przeznaczonych do druku 3D. W pracy jako mieszankę bazową wykorzystano mieszankę oznaczoną jako PP0, która jest znaną mieszanką dostosowaną do druku 3D [8]. Wskazaną mieszankę zmodyfikowano za pomocą dodatku kruszywa w postaci regranulatu polipropylenowego (PP) (gęstość 0,92 g/cm³, temperatura topnienia (ang. *melting point*) 230°C). W badaniach zastosowano mieszanki o trzech stopniach zastąpienia kruszywa naturalnego za pomocą regranulatu PP (10%, 30% oraz 50%). Ze względu na różnice gęstości kruszywa naturalnego (2,65 g/cm³) oraz regranulatu

Tabela 1. Skład mieszanek wykorzystanych do badań

Mieszanka	Kruszywo w postaci regranulatu PP	Kruszywo naturalne	Cement CEM I 42.5R	Popiół lotny	Pył krzemionkowy	Superplastyfikator*
	[% objętościowo]	[% objętościowo]	[kg / m ³]	[kg / m ³]	[kg / m ³]	[kg / m ³]
PP0	0	100	490	140	70	2,15
PP10	10	90				1,5 – 2,15 (1,5)
PP30	30	70				1,25 – 2,15 (1,25)
PP50	50	50				2.15 – 1.00 (1,00)

* ilość superplastyfikatora została iteracyjnie dobrana w celu osiągnięcia założonych wymagań reologicznych, wartość podana w nawiasie oznacza wartość przyjętą ostatecznie do badań

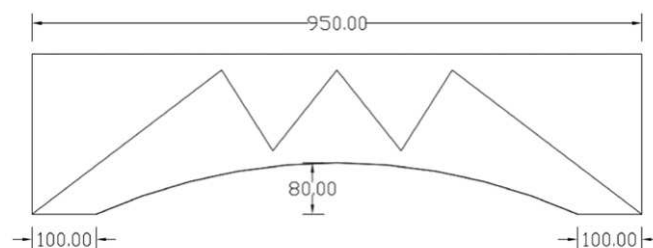
PP zamiarę kruszywa wykonano objętościowo. Wszystkie mieszanki miały stały stosunek wody do spoiwa, który wynosił 0,30. Gęstości stwardniałego materiału mieszanek PP0, PP10, PP30 oraz PP50 wynosiły odpowiednio 2341,69 kg/m³, 2249,22 kg/m³, 2062,36 kg/m³ oraz 1874,77 kg/m³.

Szczegółowe składki mieszanek przedstawiono w tabeli 1. Ze względu na znaczącą różnicę w wodożądności kruszywa naturalnego oraz regranulatu PP przeprowadzono optymalizację ilości potrzebnego superplastyfikatora na podstawie badania na stoliku rozplywu wg normy PN-EN 1015-3 [10] po 15 minutach od dolania wody do suchych składników. Podobną procedurę zastosowano dla oceny kompozytów cementowych w pracach [11–13]. Ponadto najnowsze prace zespołu Khayat et al. [14] wykazały, że badania na stoliku rozplywu mogą być zbieżne z innymi badaniami reologicznymi z wykorzystaniem reometru.

Badania w artykule podzielono na trzy etapy:

1) Dobór optymalnej ilości superplastyfikatora. Na tym etapie badań przeprowadzono modyfikację mieszanki, zmieniając ilość superplastyfikatora. W pierwszym podejściu utrzymano stałą ilość superplastyfikatora dla wszystkich mieszanek, a w kolejnych podejściach dobierano superplastyfikator tak, żeby uzyskać rozplyw na stoliku rozplywu równy 160 mm ± 10 mm, co jest wartością zalecaną dla mieszanek przeznaczonych do druku 3D na podstawie badań [9, 11, 15]. Dobór odpowiedniej ilości superplastyfikatora wykonano dla mieszanek PP10, PP30, PP50 (tabela 1).

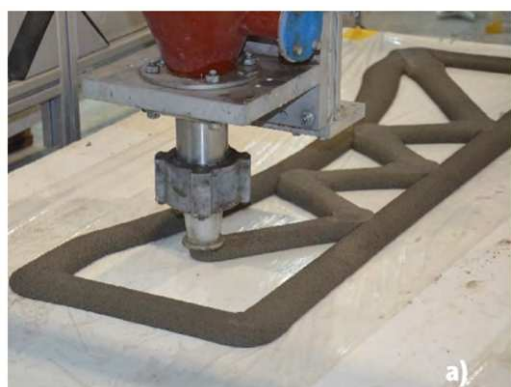
2) Badania parametrów mechanicznych kompozytów na spoiwie cementowym na podstawie próbek normowych o wymiarach 4 × 4 × 16 cm (wytrzymałość na zginanie) oraz 4 × 4 × 4 cm (wytrzymałość na ściskanie). Badania przeprowadzono na próbkach normowych przygotowanych oraz



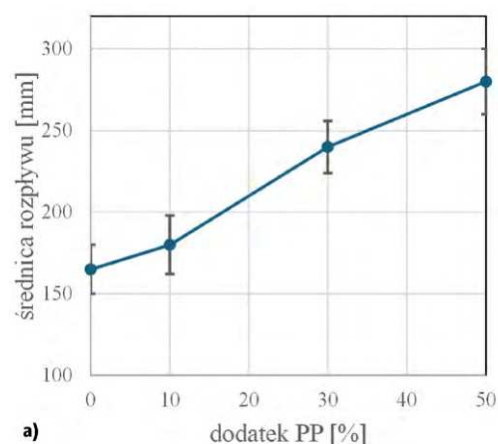
Rys. 1. Wymiary kratownicy [mm] wykonanej w technologii druku 3D (na rysunku przedstawiono osie drukowanych ścieżek)

pielęgowanych wg normy PN-EN 1015-11 [16]. Badania wykonano po 7 dniach od momentu zaformowania próbek. Wykonano dwie serie próbek: a) próbki były przechowywane w temperaturze 20°C ± 2°C; b) próbki były przechowywane w temperaturze 20°C ± 2°C przez 6 dni, a następnie zostały umieszczone w piecu w temperaturze 300° na 2 h. Próbki serii b) wykonano w celu oceny trwałości materiału, na który może oddziaływać wysoka temperatura, badania wykonano ze względu na stosunkowo niską temperaturę topnienia regranulatu PP (230°C). Do badań wykonano próbki z ilością superplastyfikatora wskazanego w nawiasach w tabeli 1.

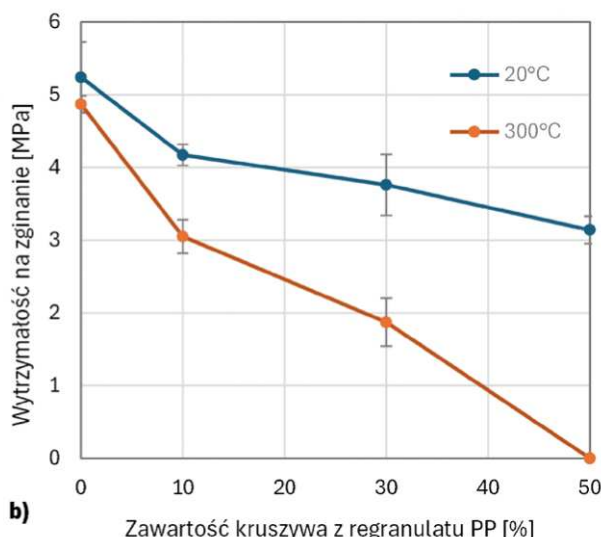
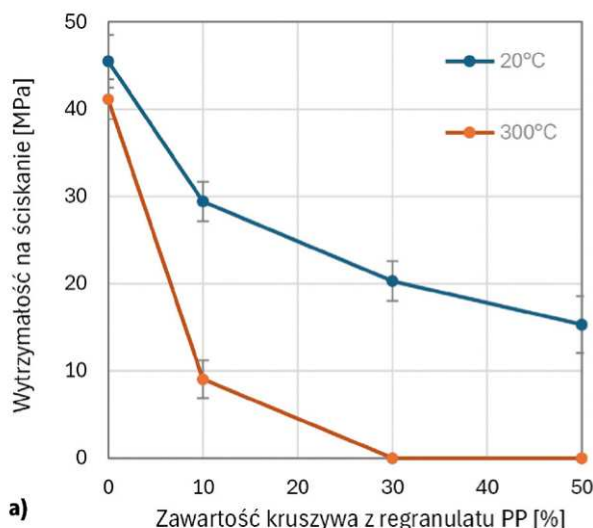
3) Badania niszczące kratownic wykonanych w technologii druku 3D dla wybranych mieszanek. Wymiary kratownicy przedstawiono na rys. 1, natomiast kratownicę podczas procesu wydruku przedstawiono na rys. 2. Do wydruku kratownicy użyto robota kartezjańskiego zespolonego z pompą do betonu, wyposażonego w dyszę o średnicy 25 mm. Prędkość dyszy drukującej wynosiła 1500 cm/min. Po procesie wydruku kratownicę przechowywano w temperaturze 20°C ± 2°C oraz wilgotności RH=55%. Po 7 dniach wykonano badania



Rys. 2. Kratownica podczas procesu wydruku



Rys. 3. Wpływ zawartości regranulatu PP na rozplyw mieszanki (a), widoczna segregacja składników w przypadku mieszanki z za dużą ilością SP (b)



Rys. 4. Wyniki wytrzymałości na ściskanie (a) oraz na zginanie (b) badanych kompozytów na spoiwie cementowym

niszczące kratownicy przy wykorzystaniu siłownika hydraulicznego 600 kN. Podczas niszczenia kratownicy posuw siłownika kontrolowano za pomocą przemieszczenia, które ustawiono na 0,014 cm/s.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Dobór optymalnej ilości superplastyfikatora

Wykonano dobór optymalnej ilości superplastyfikatora (SP) na podstawie procedury opisanej wcześniej. Przy założeniu we wszystkich mieszankach stałej ilości SP równej 2,15 kg/m³ zaobserwowano bardzo duży wzrost rozplýwu mieszanki (rys. 3a). Ponadto zaobserwowano segregację kompozytu – rys. 3b), lekkie kruszywo z regranulatu PP wypłynęło w górną część mieszanki. Taki stan rzeczy jest spowodowany znacznie mniejszą wodożądnością kruszywa alternatywnego w postaci polipropylenu w porównaniu do kruszywa naturalnego. W kolejnym podejściu metodą iteracyjnego zmniejszania SP otrzymano pożądany rozplýw w granicach 160 ± 10 mm dla wszystkich mieszanek. Optymalną ilość SP przedstawiono w nawiasach w ostatniej kolumnie tabeli 1.

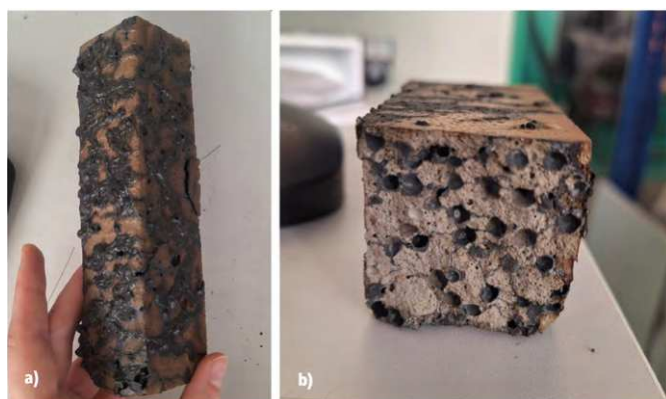
Parametry mechaniczne określone na próbkach normowych pielęgnowanych w temperaturze 20°C oraz 300°C

Określono parametry mechaniczne próbek kompozytów na spoiwie cementowym przechowywanych normowo w 20°C oraz poddanych oddziaływaniu temperatury 300°C

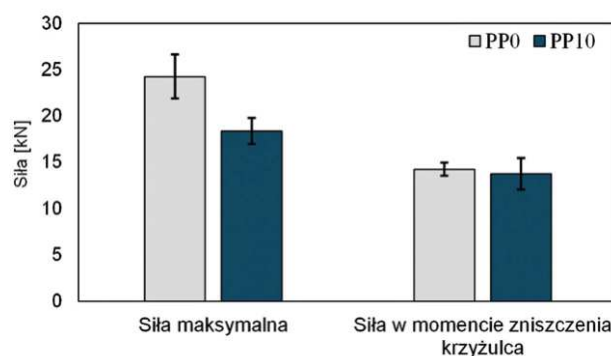
wg procedury opisanej wcześniej. Na rys. 4. przedstawiono wyniki wytrzymałości na ściskanie i zginanie próbek pielęgnowanych w sposób normowy oraz próbek poddanych oddziaływaniu temperatury 300°C. Przykłady próbek po ekspozycji na temperaturę 300°C pokazano na rys. 5. Próbkki PP30 i PP50 (zawierające odpowiednio 30% i 50% regranulatu PP) nie nadawały się do przeprowadzenia badania wytrzymałości na ściskanie po ekspozycji na temperaturę 300°C, ponieważ ich wytrzymałość była mniejsza niż czułość prasy. Należy zwrócić uwagę, że możliwe było wykonanie badania wytrzymałości na zginanie próbek PP30, ale po tym badaniu nie było możliwości wykonania badania wytrzymałości na ściskanie ze względu na znaczne uszkodzenia próbek. W nawiązaniu do powyższego w przypadku próbek poddanych oddziaływaniu temperatury 300°C maksymalny spadek wytrzymałości na zginanie wyniósł 64,31% (próbki PP30), a na ściskanie 80,11% (próbki PP10) w stosunku do próbek referencyjnych.

W przypadku próbek przechowywanych do momentu badania w 20°C wykazano, że zastąpienie kruszywa naturalnego regranulatem PP spowodowało obniżenie wytrzymałości na ściskanie maksymalnie o 66,36% oraz na zginanie maksymalnie o 40,08% (oba wyniki dotyczą próbki PP50).

Na podstawie powyższych wyników stwierdzono, że do dalszych badań polegających na niszczeniu kratownicy wy-



Rys. 5. Próbkki po oddziaływaniu temperatury 300°C



Rys. 6. Wyniki wytrzymałości kratownicy wykonanej z mieszanki PP0 oraz PP10



Rys. 7. Widok zniszczenia kratownicy: a) kratownica podczas badania; b) zniszczenia krzyżulca; c) zniszczenia pasa górnego

brano dwa rodzaje próbek. Próbkę referencyjną oraz próbkę zawierającą 10% kruszywa z regranulatu PP (mieszanka PP10), gdyż w tym przypadku redukcja wytrzymałości jest stosunkowo niewielka (w przypadku próbki przechowywanej w 20°C: o 20,37% oraz o 35,31% odpowiednio dla wytrzymałości na zginanie i ściskanie, w przypadku próbek poddanych ekspozycji na temperaturę 300°C redukcja wytrzymałości na zginanie wyniosła 41,79%, a na ściskanie wyniosła 80,11%). Należy jednak zwrócić uwagę, że w przypadku konstrukcji niepoddanej obciążeniu ogniowemu wytrzymałość materiału na ściskanie wynosi średnio 29,44 MPa, co jest wartością wystarczającą dla dużej części konstrukcji stosowanych w budownictwie.

Badania niszczące kratownic wykonanych w technologii druku 3D

Wykonano badania niszczące kratownicy wykonane z mieszanki referencyjnej (PP0) oraz z mieszanki z 10% dodatkiem PP (PP10). Na rys. 6. przedstawiono wyniki badań niszczących kratownicy w dwóch kategoriach: a) maksymalnej siły, stanowiącej maksymalną siłę osiągniętą w całym badaniu; b) siłę w momencie zniszczenia krzyżulca, która stanowi realne kryterium zniszczenia kratownicy. W momencie zniszczenia krzyżulca ustrój znajduje się w stanie awaryjnym, a realna siła podczas badania znacząco spada, następnie siła znowu rośnie aż do momentu osiągnięcia całkowitego zniszczenia konstrukcji. Należy zwrócić uwagę, że po zniszczeniu krzyżulca konstrukcja już nie może pracować poprawnie. Na rys. 7a) przedstawiono kratownicę podczas badań. Na podstawie wyników przedstawionych na rys. 6. stwierdza się, że kratownica wykonana z mieszanki referencyjnej PP0 przeniosła siłę o 24,3% większą niż kratownica z

mieszanki PP10, jednak w momencie zniszczenia krzyżulca różnica między wynikami jest mniejsza niż współczynnik zmienności dla wyników.

Podczas badań niszczących obu typów kratownic pierwsze uszkodzenie wystąpiło w krzyżulcu (rys. 7b), w którym występowały największe naprężenia rozciągające. Po uszkodzeniu krzyżulca, który przestał prawidłowo współpracować z resztą konstrukcji, naprężenia w pasie górnym kratownicy doprowadziły do jej zniszczenia (rys. 7c).

Należy zwrócić uwagę, że mimo dużo gorszej wytrzymałości mieszanki z PP10 określonej w badaniach na próbkach normowych w przypadku aplikacji tego materiału do konstrukcji kratownicy różnica w nośności kratownicy w stanie przedawaryjnym konstrukcji jest niewielka. Wynika to z decydującej w tym przypadku wytrzymałości na rozciąganie obu kompozytów (w krzyżulcu występuje siła rozciągająca) oraz możliwych imperfekcji występujących przy wydruku (badania wykazują, że imperfekcje związane z drukiem 3D mogą wpływać na nośność [17]).

WNIOSKI

W artykule wykazano możliwość zastosowania kruszywa z regranulatu PP w mieszankach do druku 3D kompozytów cementowych. Z przeprowadzonych doświadczeń wynikają następujące wnioski:

- Zastąpienie kruszywa naturalnego kruszywem w postaci regranulatu PP spowodowało spadek parametrów mechanicznych stwardniałego kompozytu maksymalnie o 66,36% w przypadku wytrzymałości na zginanie oraz o 40,08% w przypadku wytrzymałości na ściskanie próbek przechowywanych w 20°C. W przypadku próbek poddanych oddziały-

REKLAMA



M-ROL Sp. z o. o.
63-430 Odolanów
ul. Trzy mosty 10
mrol.com.pl
+48 62 735 90 10

MASZYNY DO RECYKLINGU

Pionowy mieszalnik
Poziomy przenośnik ślimakowy



Pionowy przenośnik ślimakowy

Rozdrabniacz zasypowy
bijakowy grawitacyjny



Poziomy mieszalnik pasz sypkich

Kruszarka
Plastiku





Przenośnik ślimakowy
czerpiący ocynkowany

waniu temperatury 300°C dla próbek z dodatkiem regranulatu PP w ilości 50% nie było możliwości przeprowadzenia badania na zginanie, a w przypadku próbek z regranulatem w ilości 30% oraz 50% nie było możliwości wykonania badania na ściskanie (wytrzymałość poniżej czułości prasy). Spadek wytrzymałości na zginanie i ściskanie próbek poddanych oddziaływaniu wysokiej temperatury był odpowiednio do 64,31% (PP30) oraz do 80,11% (PP10).

- Zastąpienie kruszywa materiałem z recyklingu wpłynęło na właściwości reologiczne mieszanki, powodując jej znaczne upłynnienie. W celu uzyskania odpowiednich parametrów reologicznych pozwalających na wydruk mieszanki zredukowano ilość superplastyfikatora. W tym zakresie konieczne są dalsze badania, które mogą prowadzić do redukcji stosunku w/c przy tej samej ilości SP, co może przyczynić się do zwiększenia nośności konstrukcji.
- Przeprowadzono badania niszczące kratownic łukowych wykonanych w technologii druku 3D kompozytów cementowych z mieszanki PPO oraz PP10. W badaniach wykazano, że mimo niższej wytrzymałości mieszanki PP10 uzyskanej na próbkach normowych obie kratownice, biorąc pod uwagę kryterium zniszczenia, jakim jest zniszczenie krzyżulca rozciąganej konstrukcji, uzyskały podobne nośności. Wynika to z kluczowej w tej sytuacji wytrzymałości obu kompozytów na rozciąganie (w krzyżulcu występuje siła rozciągająca) oraz ewentualnych niedoskonałości związanych z procesem wydruku. Prace wykonane w innych ośrodkach naukowych [17] wykazały, że defekty powstające podczas drukowania 3D mogą wpływać na nośność konstrukcji.
- W badaniach wykazano, że możliwe jest zastąpienie pewnej ilości kruszywa naturalnego kruszywem w postaci regranulatu PP, co przyczyni się do ograniczenia zużycia surowców naturalnych. Przeprowadzone badania udowodniły, że ekspozycja na wysoką temperaturę w istotny sposób wpływa na nośność kompozytu, w przypadku dalszych badań przy użyciu regranulatu PP należy skupić się na zwiększeniu wytrzymałości kompozytu po oddziaływaniu wysokich temperatur.

Przedstawione w artykule prace stanowią wstępne badania dotyczące zastosowania kruszywa w postaci regranulatu PP do druku 3D kompozytów cementowych. Dalsze testy będą stanowiły optymalizację topologii konstrukcji, składu mieszanki oraz dobór innych regranulatów, dla których potencjalne oddziaływanie wysokiej temperatury będzie w mniejszym stopniu wpływać na wytrzymałość.

LITERATURA

- [1] Ibrahim I., Eltarabishi F., Abdalla H., Abdallah M. 3D Printing in Sustainable Buildings: Systematic Review and Applications in the United Arab Emirates. *Buildings* 2022;12(10):1703. <https://doi.org/10.3390/buildings12101703>.
- [2] Puzatova A., Shakor P., Laghi V., Dmitrieva M. Large-Scale 3D Printing for Construction Application by Means of Robotic Arm and Gantry 3D Printer: A Review. *Buildings* 2022;12(11):2023. <https://doi.org/10.3390/buildings12112023>.
- [3] Wu P., Wang J., Wang X. A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Automation in Construction* 2016;68:21–31. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>.
- [4] Skibicki S., Kaszynska M., Federowicz K., Techman M., Zielinski A., Olczyk N. et al. Druk 3D kompozytów betonowych metodą przyrostową – doświadczenia zespołu szczecińskiego. *Inżynieria i Budownictwo* 2021;77(7):328–33.
- [5] Hager I., Golonka A., Putanowicz R. 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? *Procedia Engineering* 2016;151:292–9. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>.
- [6] Buswell R.A., Leal de Silva W.R., Jones S.Z., Dirrenberger J. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. *Cement and Concrete Research* 2018;112:37–49. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.006>.
- [7] Skibicki S., Federowicz K., Hoffmann M., Chougan M., Sibera D., Cendrowski K. et al. Potential of Reusing 3D Printed Concrete (3DPC) Fine Recycled Aggregates as a Strategy towards Decreasing Cement Content in 3DPC. *Materials* 2024;17(11):2580. <https://doi.org/10.3390/ma17112580>.
- [8] Kaszynska M., Skibicki S., Hoffmann M. 3D Concrete Printing for Sustainable Construction. *Energies* 2020;13(23):6351. <https://doi.org/10.3390/en13236351>.
- [9] Skibicki S., Pułtorak M., Kaszynska M., Hoffmann M., Ekiert E., Sibera D. The effect of using recycled PET aggregates on mechanical and durability properties of 3D printed mortar. *Construction and Building Materials* 2022;335(2):127443. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127443>.
- [10] EN 1015-3:2000. Methods of test for mortar for masonry – part 3: determination of consistence of fresh mortar (by flow table).
- [11] Cho S., Kruger J., Bester F., van den Heever M., van Rooyen A., van Zijl G. A Compendious Rheo-Mechanical Test for Printability Assessment of 3D Printable Concrete. In: Bos F.P., Lucas S.S., Wolfs R.J.M., Salet T.A.M., editors. *Second RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*. Cham: Springer International Publishing; 2020, s. 196–205.
- [12] Casagrande L., Esposito L., Menna C., Asprone D., Auricchio F. Effect of testing procedures on buildability properties of 3D-printable concrete. *Construction and Building Materials* 2020;245:118286. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118286>.
- [13] Skibicki S., Żygadło A., Górnostaj D., Łabecka M., Orzelski K. Projektowanie i analiza mieszanki betonowej zawierającej kruszywo po obróbce strumieniowo-ściernej (garnet) w technologii druku 3D. *Builder* 2023;314(9):16–9. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.7760>.
- [14] Khayat K., Zhu J., Grunewald S. Empirical Test Methods to Evaluate Rheological Properties of Concrete and Mortar. In: Sonebi M., Feys D, editors. *Measuring Rheological Properties of Cement-based Materials*. Cham: Springer Nature Switzerland; 2024.
- [15] Cuevas K., Chougan M., Martin F., Ghaffar S.H., Stephan D., Sikora P. 3D printable lightweight cementitious composites with incorporated waste glass aggregates and expanded microspheres – Rheological, thermal and mechanical properties. *Journal of Building Engineering* 2021;44:102718. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102718>.
- [16] EN 1015-11:2020. Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.
- [17] Skibicki S., Szewczyk P., Majewska J., Sibera D., Ekiert E., Chung S.-Y. et al. The effect of interlayer adhesion on stress distribution in 3D printed beam elements. *Journal of Building Engineering* 2024;87(2):109093. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109093>.

Artykuł został po raz pierwszy zamieszczony w czasopiśmie „Builder”, grudzień, 2024, s. 36–40.

Dr inż. Szymon Skibicki, Alicja Żygadło, inż. Monika Głowacka, Dariusz Górnostaj
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

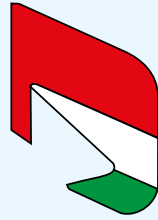
LINIE DO REGRANULACJI TWORZYW SZTUCZNYCH

jakość • niezawodność • serwis • technologia

Plastics, our history



Ekstruder ES180/ED250



Reprezentacja w Polsce:

Italexpol Jarosław Matłega

tel. +48 602 480 295, e-mail: info@italexpol.pl

www.italexpol.pl



CDM Engineering Srl

Via Massari Marzoli, 4 • z.i. sud/ovest

21052 Busto Arsizio (VA) ITALY

tel. +39 0331 344029 • fax +39 0331 350782

e-mail: info@cdmengengineering.it • www.cdmengineering.it

Urządzenia do recyklingu w ofercie ELBI-Wrocław

WANNER Technik GmbH produkuje znane i niezawodne młyny wraz z kompletnym wyposażeniem

Wieloletnie doświadczenie w ich produkcji gwarantuje najwyższą jakość pracy oraz łatwą i szybką obsługę. Młynki produkowane w kilku seriach, różniących się wielkością i wydajnością, doskonale wpisują się w potrzeby przetwórców tworzyw sztucznych. Najmniejsze młynki z serii BABY mają komorę tnącą o wymiarach jedynie 80 x 100 mm i moc 0,75 kW. Na drugim biegunie znajduje się seria ENERGY z młynami o mocach do 30 kW i komorach mielących o wymiarach 450 x 800 mm.

W ostatnim czasie WANNER Technik opracował i wprowadził do sprzedaży nową generację młynów COMPACT, które charakteryzują się niższą emisją pyłu, cichszą pracą i możliwością instalacji czujników napełnienia bez konieczności modyfikacji młyna. Dodatkowo w ofercie pojawił się całkowicie nowy model młyna CLE 23.35 o wzmocnionej konstrukcji oraz wyjątkowo niskiej emisji hałasu.

Seria DYNAMIC to średniej wielkości młyny zapewniające najwyższą wydajność pracy przy zachowaniu kompaktowych rozmiarów urządzenia.

Łamacze z serii X-tra zapewniają cichą i efektywną pracę przy rozdrabnianiu małych detali i kanałów wlewowych.

Małe i średnie młynki pracujące bezpośrednio przy wtryskarkach dostępne są również w wyposażeniu GREEN LINE, gdzie pracą młynka steruje regulowany układ



czasowy lub sygnał wystawiany przez maszynę. Młynki nie pracują cały czas, a jedynie wtedy, gdy jest to potrzebne. Układ ten pozwala na oszczędność nawet do 50% energii elektrycznej w zależności od parametrów aplikacji.

Wszystkie młyny mogą być wyposażone w automatyczne systemy odbioru przemiału. Dodatkowo, dla bardziej wymagających aplikacji, można stosować zintegrowane lub zewnętrzne jednostki odpylające z regulacją separowanej frakcji. Odpylony przemiał jest łatwiejszy w przetwarzaniu i podnosi wydajność oraz jakość produkcji.

Procesy przetwórcze, które nie pozwalają na bezpośrednie stosowanie przemiału, również nie wykluczają powtórnego wykorzystania surowca dzięki zastosowaniu kompletnej i kompaktowej linii regranulacji. Uzyskany w procesie wytłaczania regranulat jest zbliżony parametrami do tworzyw oryginalnych i może stanowić dla nich atrakcyjną i opłacalną alternatywę.

ELBI-Wrocław Sp. z o.o.
ul. Muchoborska 4a, 54-424 Wrocław
tel. +48 71 333 00 33
elbi@elbi.com.pl



PODAJNIKI, DOZOWNIKI MIESZALNIKI, SUSZARKI

KOCH TECHNIK produkuje urządzenia peryferyjne dla przetwórstwa tworzyw sztucznych. W ofercie są zaawansowane konstrukcyjnie suszarki, dozowniki objętościowe i grawimetryczne, a także kompaktowe podajniki podciśnieniowe oraz centralne instalacje transportu pneumatycznego.



DOZOWNIKI GRAWIMETRYCZNE I SYSTEMY WĄŻĄCE

ELBi Wrocław jest producentem szerokiej gamy dozowników grawimetrycznych z opatentowanym systemem redukcji drgań oraz systemów wążących, które pozwalają na dokładne ewidencjonowanie ilości przetwarzanych surowców.



TRANSPORTERY TAŚMOWE

MB Conveyors jest producentem transporterów taśmowych w pełnym zakresie typów oraz rozmiarów. W ofercie są również separatory walcowe, bębnowe oraz spiralne, stoły obrotowe czy detektory metalu. W MB Conveyors wysoka jakość i nowoczesny design idą w parze z atrakcyjnymi cenami.



TERMOREGULATORY

HB-THERM jest producentem termostatów wodnych oraz olejowych. Ponadto w ofercie są urządzenia do czyszczenia form, uzdatniania wody, rozdzielacze obiegów z kontrolą temperatury i przepływu oraz zaawansowane wyposażenie do termostatowania naprzemiennie gorącą i zimną wodą. Urządzenia HB-THERM gwarantują pełną kontrolę procesów oraz najwyższą jakość produkcji.



SILOS Y I INSTALACJE TRANSPORTUJĄCE

ZEPPELIN produkuje silosy magazynujące w szerokim zakresie rozmiarów oraz zastosowań, specjalistyczne silosy procesowe z funkcją mieszania. Ponadto w ofercie znajdują się zbiorniki magazynujące oraz kompleksowe instalacje magazynowo-przesyłowe. Doskonała od kilkudziesięciu lat technologia oraz bogate doświadczenie inżynierskie są gwarancją niezawodności dostarczanych urządzeń.



MŁYNY, ŁAMACZE, LINIE DO REGRANULACJI

WANNER TECHNIK dostarcza młyny w pełnym zakresie wielkości i wydajności. Od małych mobilnych młynków i łamaczy, aż po duże stacjonarne młyny z cyklonami ze zintegrowanym odpylaniem i separacją wtrąceń metalicznych. Dodatkowo w ofercie znajdują się wylączarki do produkcji regranulatu.



CHILLERY I INSTALACJE WODY LODOWEJ

MTA produkuje urządzenia do budowy instalacji wody lodowej w szerokim spektrum zastosowań oraz wydajności. Energooszczędne chillery oraz chłodnie wentylatorowe pozwalają projektować kompleksowe systemy chłodzenia maszyn oraz form o stabilnych parametrach pracy.



ODPYLACZE

MB Engineering produkuje szeroką gamę zaawansowanych odpylaczy do tworzyw sztucznych. Od małych urządzeń stanowiskowych, z możliwością montażu bezpośredniego na maszynie, do dużych centralnych odpylaczy o dużej wydajności.



Ekoefektywność procesów produkcyjnych w recyklingu 4.0

Przemysław Jura

Główne założenia towarzyszące zagadnieniu ekoefektywności procesów produkcyjnych w recyklingu 4.0 oparto o zasady funkcjonowania gospodarki obiegu zamkniętego. Jedną z nich jest zasada ekoefektywności. Pod tym pojęciem należy rozumieć jedno z głównych narzędzi promowania transformacji od niezrównoważonego rozwoju do zrównoważonego rozwoju. Duże znaczenie zyskuje redukcja nadmiernej konsumpcji zasobów, przy zwiększeniu efektywności procesów produkcyjnych i ponownego używania wytworzonych produktów. Nie dotyczy to tylko zwiększenia potencjału recyklingu, lecz także rozszerzenia wartości cyrkularnego obiegu w całym łańcuchu dostaw, przekładającego się zarówno na odnawianie i naprawianie przedmiotów, sprzedawanie usług zamiast produktów, eco desing, a także współdzielenie [44]. Wprowadzanie założeń gospodarki obiegu zamkniętego wymaga takich działań jak: zmiana postrzegania mechanizmów funkcjonowania procesów produkcyjnych oraz zwiększenie ich szeroko pojętej efektywności przez zastosowanie innowacyjnych narzędzi IT.

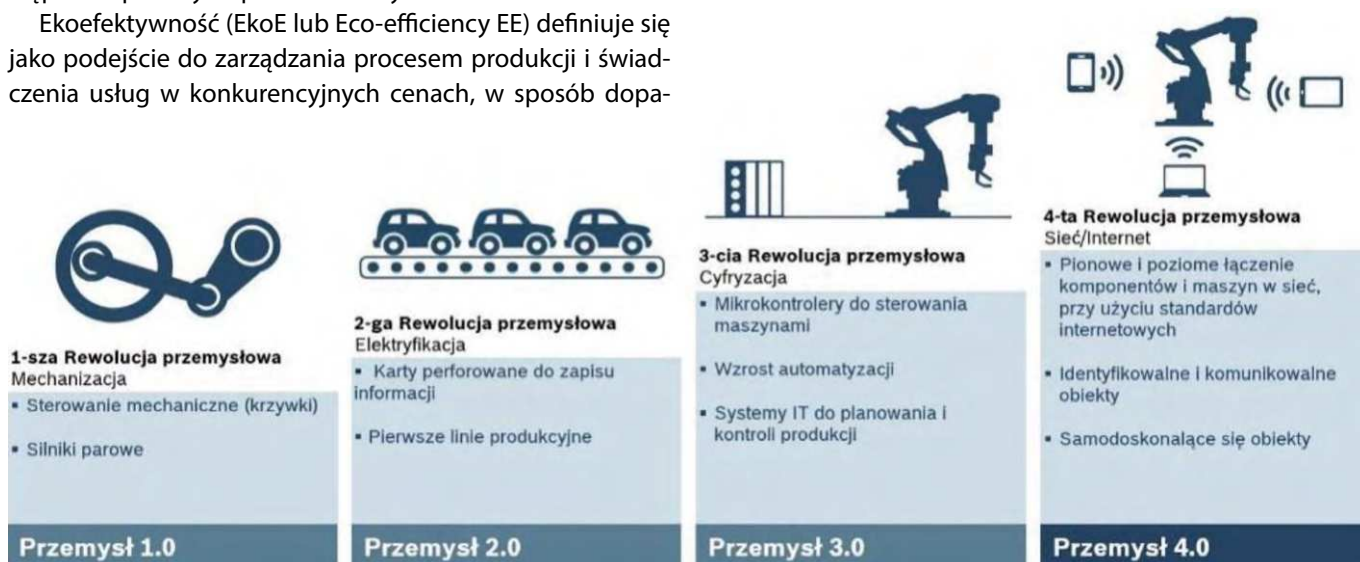
WZROST EKOEFEKTYWNOŚCI PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Wdrażanie rozwiązań Przemysłu 4.0 może zostać potraktowane jak kolejna rewolucja przemysłowa, która w większości branż produkcyjnych mocno przyczynia się do uzyskiwania efektów ekologicznych i wzrostu ekoefektywności. Rozwój Przemysłu 4.0 jako kontynuację wcześniejszych postępów w przemyśle przedstawia rysunek 1.

Ekoefektywność (EkoE lub Eco-efficiency EE) definiuje się jako podejście do zarządzania procesem produkcji i świadczenia usług w konkurencyjnych cenach, w sposób dopa-

sowany do potrzeb nabywcy i podnoszących jego jakość życia przy założeniu ograniczania wpływu na środowisko naturalne w całym cyklu życia produktu lub usługi [5], [45]. Ekoefektywność została zaproponowana jako jedno z głównych narzędzi promowania transformacji od niezrównoważonego rozwoju do zrównoważonego rozwoju. Oparto ją na koncepcji tworzenia większej ilości towarów i usług przy jednoczesnym zużyciu mniejszej ilości zasobów oraz wytwarzaniu mniejszej ilości odpadów i zanieczyszczeń [5].

Wytwarzanie dóbr i usług konkurencyjnych cenowo z równoczesną redukcją oddziaływania na środowisko i zachowaniem zużycia surowców naturalnych na poziomie dostosowanym do możliwości Ziemi to niewątpliwe wyzwanie, przed którym stoi gospodarka każdego kraju [32]. Stwierdzić można, że ekoefektywność jest podstawowym warunkiem uzyskania konkurencyjności, gdyż na rynku przetrwają tylko innowacyjne przedsiębiorstwa, będące odpowiedzialnymi względem społeczeństwa i środowiska naturalnego. Wśród korzyści wynikających z poprawy ekoefektywności wyszczególnia się m.in.: [43] oszczędności energii, surowców, i w płatych środowiskowych, poprawę jakości produktów, bezpieczeństwa zdrowotnego pracowników, oraz wizerunku przedsiębiorstwa, uproszczenie procesów, zmniejszenie ilości odpadów, zwiększanie zdolności produkcyjnych, a także konkurencyjności dzięki nowym ulepszonym technologiom, produktom i usługom przy rosnącym udziale w rynku produktów i usług ekoefektywnych, zmniejszone ryzyko sankcji prawnych w zakresie zgodności z przepisami środowiskowymi.



Rys. 1. Rewolucje przemysłowe. Źródło: Czym jest Przemysł 4.0? - część 1 - Przemysł 4.0 (przemysl-40.pl)

Zarządzający przedsiębiorstwami powinni regularnie prowadzić analizę ekoefektywności w celu ograniczenia zużycia materiałów, zmniejszenia ilości odpadów i emisji. Pozwoli to na oszczędności materiałowe, zmniejszenie skali zanieczyszczeń w efekcie redukcji kosztów produkcji oraz podniesienia poziomu konkurencyjności [39]. Ponadto ekologiczna produkcja „zielonych” produktów powoduje uzyskanie atutów marketingowych i lepszego odbioru przez konsumentów. Korzyściami z prowadzenia wdrażania i analizy ekoefektywności są także zwiększające się morale pracowników, rosnąca atrakcyjność dla inwestorów, wyższa akceptacja społeczności lokalnej oraz poczucie wartości kadry zarządzającej.

EFEKTYWNOŚĆ PROCESÓW PRODUKCYJNYCH W PRZEMYŚLE 4.0

Dokonując analizy potencjału gospodarczego danego przedsiębiorstwa, istotne znaczenie posiada efektywność procesów produkcyjnych w gospodarce odpadami, rozumianych jako uporządkowany zespół działań, których celem jest wykonanie określonego wyrobu. Analizując efektywność procesu produkcyjnego, koncentrować należy się na wszystkich jego fazach technologicznych, tj. przygotowawcza, wytwórcza i końcowa oraz wykonywanych operacjach w podziale na technologiczne, kontroli, transportu i magazynowania. Omawiane podejście dotyczy wszystkich typów produkcji, czyli jednoseryjnej, seryjnej (mało-, średnio- i wielkoseryjnej) oraz produkcji masowej. Należy przy tym wskazać, iż szczególnie przydatne jest zastosowanie innowacyjnych narzędzi IT w produkcji silnie zmechanizowanej o wysokim poziomie automatyzacji stanowisk produkcyjnych.

Najbardziej obiektywnym i uniwersalnym wskaźnikiem pozwalającym ocenić poziom efektywności procesów produkcyjnych oraz stopnia wykorzystania wyposażenia produkcyjnego jest wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia – OEE (z ang. *Overall Equipment Efficiency*). Wskaźnik ten jest możliwy do obliczenia i zinterpretowania na kilka sposobów. Kluczowa dla jego kalkulacji jest jakość pozyskanych danych w ramach prowadzonej analizy efektywności. Z pomocą w tym zakresie przychodzą rozwiązania IT z obszaru Przemysłu 4.0. Należy wskazać, iż wskaźnik ten odzwierciedla efektywność funkcjonowania wyposażenia, czyli maszyny, zespołu urządzeń lub linii produkcyjnej, a nie pracowników, którzy w procesie realizacji zleceń to wyposażenie wykorzystują. Wskaźnik ten jest kluczowym miernikiem w doskonaleniu procesu wytwórczego metodą TPM (z ang. *Total Productive Maintenance*), nazywaną po polsku totalnym utrzymaniem ruchu. OEE zakłada porównanie aktualnego stanu wyposażenia z sytuacją idealną, stanowiącą punkt odniesienia.

Narzędzia IT stosowane w przemyśle pozwalają na eliminację jednego z największych problemów technicznych w stosowaniu wskaźników efektywnościowych, a mianowicie dużej ilości nakładów pracy na zbieranie i przetwarzanie danych z procesu w układzie dynamicznym w celu zapewnienia obiektywnego odwzorowania faktycznego i kompletnego oddziaływania procesu na środowisko i zdrowie człowieka. Umożliwia to stosowanie mniejszej ilości uproszczeń

w modelu analizy ekoefektywności procesu produkcyjnego, a w szerszym ujęciu analizy oddziaływania produktu lub usługi na środowisko i zdrowie człowieka. Problemem metodycznym dla badaczy pozostaje jednak utrudniona porównywalność wyników analizy ekoefektywności dla różnych procesów produkcyjnych lub produktów/usług z uwagi na odrębną specyfikę, otoczenie, parametry szczegółowe.

TECHNOLOGIE STOSOWANE W PRZEMYŚLE 4.0

Ważnym zagadnieniem w toku analizy pojęć związanych z Przemysłem 4.0 są zastosowane technologie. Działania oparto głównie na integracji technologii informacyjno-komunikacyjnych i technologii przemysłowych. Jego głównym celem jest zwiększenie efektywności systemów produkcji i zarządzania celem uzyskania wyższy zysków [7]. Jako priorytet ustanowiono dążenia do stworzenia cyberfizycznego systemu w celu rozwoju cyfrowej i inteligentnej fabryki. Tworzy się wtedy wysoce elastyczny model produkcji spersonalizowanych i cyfrowych produktów i usług, wraz z ciągłymi interakcjami między ludźmi, produktami i urządzeniami podczas procesu produkcyjnego [8].

Doktryna przyjmuje różne klasyfikacje I40T (ang. *Industry 4.0 Technologies*) w oparciu o rozwój każdej technologii i jej zastosowanie [9]. W literaturze nie ma wyraźnego porozumienia co do tego, w jaki sposób je grupować. Można jednak twierdzić, że większość badań opiera się na następujących ośmiu grupach wyszczególnionych przez De Sousa Jabbour [3]:

1. **Produkcja addytywna (AM):** Jest to sterowany komputerowo proces przemysłowy, który obejmuje drukowanie 3D. AM tworzy trójwymiarowe obiekty poprzez osadzanie materiałów, zwykle w warstwach. Odnosi się do wszystkich technik wytwarzania przez dodanie materiału używanego do produkcji nowych, złożonych i trwałych komponentów [11].
2. **Sztuczna inteligencja (AI)** to tworzenie modeli i algorytmów odwzorowujących schematy zachowań i procesów biznesowych. Prowadzi do poprawy decyzji dzięki ważnym działaniom badawczym w wielu obszarach, takich jak przetwarzanie obrazu, przetwarzanie języka naturalnego, robotyka lub uczenie maszynowe [13].
3. **Sztuczne widzenie (AV):** Opiera się na przechwytywaniu cyfrowego obrazu lub wideo (zwykle za pomocą kamery) procesów przemysłowych. Wyodrębnienie serii danych i przeanalizowanie ich, a po dokonaniu oceny podjęcie odpowiedniej decyzji [14].
4. **Big Data and Advance Analysis (BDAA):** Połączenie wykorzystania IoT i chmury umożliwiające połączenie różnych urządzeń i systemów produkcyjnych lub systemów zarządzania firm i klientów. Dzięki temu są gromadzone dane, które są aktualizowane i analizowane, a procesy decyzyjne są usprawniane. Pomaga to poprawić elastyczność produkcji, jakość produktów, efektywność energetyczną i serwis urządzeń [15].
5. **Cyberbezpieczeństwo (CS):** W cyberprzestrzeni konieczne jest zapewnienie bezpiecznej i niezawodnej komunikacji między systemami, gwarantującymi ochronę przed

możliwą kradzieżą, zniszczeniem informacji, zmianami w procesie produkcyjnym i wadami jakościowymi produktów lub całkowitym wyłączeniem z powodu cyberataków [16].

6. Internet rzeczy (IoT): Ma na celu rozwiązanie problemów komunikacyjnych między wszystkimi obiektami i systemami w fabryce. Jest to koncepcja, wedle której jednoznacznie identyfikowalne przedmioty mogą pośrednio albo bezpośrednio gromadzić, przetwarzać lub wymieniać dane za pośrednictwem instalacji elektrycznej inteligentnej KNX lub sieci komputerowej. IoT łączy ze sobą inteligentne i autonomiczne maszyny, zaawansowaną analitykę predyktoryczną i współpracę maszyna-człowiek w celu poprawy produktywności, wydajności i niezawodności [17].

7. Robotyka (RB): Z racji faktu, iż zadania produkcyjne stają się bardziej zindywidualizowane i bardziej elastyczne, maszyny będą musiały wykonywać zmienne zadania wspólnie bez przeprogramowywania. W tym celu roboty stają się coraz bardziej autonomiczne, elastyczne i współpracujące. Istnieje domniemanie, że wkrótce będą mogły wchodzić ze sobą w interakcje i bezpiecznie pracować z ludźmi, a nawet uczyć się od nich [18].

8. Wirtualna i rozszerzona rzeczywistość (VAR): Pozwala symulować realistyczne i prawdziwe sytuacje w celu szkolenia pracowników, unikania niebezpiecznych sytuacji, poprawy procesu decyzyjnego oraz stosowania procedur. Ponadto VAR umożliwia tworzenie ulepszonej wersji rzeczywistości, w której bezpośrednio lub pośrednio obrazy prawdziwych środowisk fizycznych są rozszerzane o generowane komputerowo obrazy nakładkowe [19].

Zastosowanie narzędzi IT w obszarze Przemysłu 4.0 powoduje powstanie wielu korzystnych efektów użytkowych, w tym: możliwości dynamicznej oceny wskaźników ilościowych procesu produkcyjnego; dostęp on-line do danych z procesu produkcyjnego oraz zdalne zarządzanie produkcją; obliczanie i wyznaczanie parametrów procesu produkcyjnego: wartości maksymalnych i minimalnych dla predyka-

torów, zmian w zbiorze predyktorów, zmian liczby symulantów lub destymulantów tworzących zbiór predyktorów, zmian wartości ekowskaźników, zmian wartości wag wykorzystywanych w modelach matematycznych; gromadzenia danych o technologiach w formule relacyjnej bazy danych i ich upowszechnianiu przez Internet; przeszukiwania bazy danych na podstawie zapytań formowanych przez użytkownika; generowania raportów z wynikami wielowymiarowych analiz danych, wynikami przeszukiwania bazy danych lub obliczonymi ocenami ekoelektywności procesu.

Wdrażanie narzędzi IT w Przemysłu 4.0 oparto o innowacyjność w zakresie wykorzystania technologii informatycznych i komunikacyjnych (ICT – *Information and Communications Technologies*). Wykorzystanie nowoczesnych technologii IT w połączeniu z umiejętnościami i doświadczeniem pracowników pozwala na opracowanie oraz wdrożenie efektywnych modeli zarządzania procesem produkcyjnym [42].

RECYKLING 4.0 JAKO ELEMENT KONCEPCJI PRZEMYSŁU 4.0

Recykling 4.0 należy definiować jako połączenie koncepcji Przemysłu 4.0 oraz Gospodarki Obiegu Zamkniętego (GOZ). Jest aktualnie wdrażaną koncepcją funkcjonowania branż produkcyjnych opartą o zastosowanie innowacyjnych narzędzi bazujących na technologiach informatycznych (IT), implementowanych do przetwórstwa odpadów. Pojęcie recyklingu 4.0 po raz pierwszy zastosowano w Niemczech. Recykling 4.0 łączy technologie Przemysłu 4.0 z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym, aby rozwijać sektor recyklingu w Dolnej Saksonii w Niemczech i poza nią. To finansowany ze środków UE projekt tworzący rynek oparty na danych, który umożliwia wymianę informacji na temat każdej fazy cyklu życia produktu, aby zwiększyć wydajność przetwarzania i recyklingu. Stwierdzono, że recykling 4.0 łączy klasyczne tematy, takie jak recykling, z nowymi technologiami z informatyki i stanowi podstawę dla wydajnego przyszłego procesu recyklingu akumulatorów trakcyjnych. Ma to kluczowe znaczenie dla zrównoważonej przyszłości, zgodnie z przemianami w e-mobilności [21]. Warto również wskazać zastosowanie działań Recyklingu 4.0 w innych państwach świata. W ostatnich latach liczne kraje i organizacje międzynarodowe przyjmują zasady paradygmatu gospodarki o obiegu zamkniętym (CE) jako jeden z głównych elementów swoich programów zrównoważonego wzrostu. Nadrzędnym celem jest przejście od obecnego liniowego modelu ekonomicznego, opartego na „wydobywaniu, produkcji, używaniu i wyrzucaniu”, do modelu, w którym wykorzystanie wszystkich dostępnych zasobów jest zmaksymalizowane [22]. Pierwszym krajem, który wprowadził ustawodawstwo CE, była Japonia. W 1991 roku wprowadzono tam prawo dotyczące efektywnego wykorzystania materiałów nadających się do recyklingu. Następnie w 2002 roku Chiny, mając świadomość poważnych problemów zdrowotnych, społecznych i środowiskowych spowodowanych intensywną industrializacją, pospieszną urbanizacją, zmieniającymi się wzorcami konsumpcji i wzrostem populacji, opracowały program



Rys. 2. Istota gospodarki obiegu zamkniętego.
Źródło: Czym jest Gospodarka obiegu zamkniętego (spottedstarachowice.pl)

wdrażania CE jako potencjalnej strategii zrównoważonego rozwoju [23]. W następnych latach uchwalono tam ustawę o promocji CE [24]. Dobrym przykładem państwa wdrażającego narzędzia recyklingu 4.0 w swoim ustawodawstwie jest także Korea Południowa, z ustawą ramową o obiegu zasobów w 2016 r. [25].

GOSPODARKA OBIEGU ZAMKNIĘTEGO

W Polsce definicję gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ) uchwalono przez Radę Ministrów w „Mapie drogowej transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym”. Stanowi ona koncepcję, w której ilość produktów, materiałów oraz surowców powinna pozostawać w obiegu maksymalnie długo, a wytwarzanie odpadów powinno być zminimalizowane, przy jednoczesnym stosowaniu metod ich zagospodarowywania zgodnie z hierarchią sposobów postępowania z odpadami [51] (rys. 2).

W ślad za przytoczoną definicją GOZ, warto wskazać jej istotę. Podstawą paradygmatu gospodarki o obiegu zamkniętym są różne opcje zarządzania wycofaniem z eksploatacji, które kaskadowo łączą kompletne produkty lub części i materiały w dodatkowe cykle życia. Celem jej jest organizacja, inżynieria i kontrola działań, umożliwiających zachowanie wartości ekonomicznej i ekologicznej niepożądanych lub nieodpowiednich oraz zdegradowanych lub nieeksploatowanych produktów [27]. Przykłady obejmują renowację lub regenerację produktów i części lub recykling materiałów, np. odpadów z tworzyw sztucznych lub akumulatorów litowo-jonowych [28].

Opcje kaskadowe mogą potencjalnie złagodzić konsekwencje środowiskowe związane z wytwarzaniem produktów: unikając szkodliwych praktyk usuwania odpadów, takich jak składowanie (odpady opakowaniowe) oraz zmniejszając popyt na materiały pierwotne poprzez dostarczanie materiałów wtórnych [29].

EKOEFEKTYWNOŚĆ W GOZ

Biorąc pod uwagę wymóg przeprowadzenia zmian gospodarczych wynikających z potrzeby zmniejszania się zasobów naturalnych poprzez wprowadzenie koncepcji Gospodarki o obiegu zamkniętym, stosowanie narzędzi identyfikacji i podnoszenia efektywności procesów produkcyjnych wydaje się wręcz koniecznością [46].

Kierunek ten pozostaje w zgodzie z tzw. pakietem UE na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym [30].

Implementacja modelu gospodarki cyrkularnej przy zastosowaniu rozwiązań efektywnościowych w procesach produkcyjnych, bez wątpienia wymaga wielostronnej współpracy i zaangażowania wielu stron – zarówno przedsiębiorców, jak i jednostek naukowych, instytucji systemu edukacji, organizacji pozarządowych, organów władzy państwowej, ale także konsumentów.

Wprowadzenie rozwiązań efektywnościowych w gospodarce o obiegu zamkniętym należy spodziewać się uzyskania wielopłaszczyznowych korzyści: ekonomicznych, surowcowych, środowiskowych oraz społecznych [55].

W ramach korzyści wynikających z GOZ można wyróżnić:



ekonomiczne, surowcowe, środowiskowe, społeczne. Istotą osiągania korzyści ekonomicznych dzięki zastosowaniu założeń gospodarki obiegu zamkniętego jest opracowanie i wykorzystanie rozwiązań w procesie produkcyjnym, skutkującym generowaniem większej wartości, przy minimalizacji kosztów produkcji dla wytwarzania wyrobów odpowiadających oczekiwaniom konsumentów. Jeśli chodzi o korzyści surowcowe, to mając na celu ochronę zasobów surowców naturalnych, rozwiązania efektywnościowe przyczyniają się z założenia do stosowania rozwiązań zapewniających produkcję wysokiej jakości produktów, odzyskiwanie odpadów i wykorzystywanie wtórnych surowców. W kontekście korzyści środowiskowych, u podstaw koncepcji GOZ leży dążenie do minimalizacji negatywnego wpływu branży produkcyjnej na środowisko naturalne i poprawa dobrobytu społecznego, poprzez całkowite uniezależnienie produkcji globalnej od zużycia zasobów i energii. Wśród celów jakie Komisja Europejska stawia krajom członkowskim UE wymienić można: maksymalizację recyklingu odpadów komunalnych, opakowaniowych przy jednoczesnej minimalizacji ilości składowanych odpadów oraz zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych. Warto również wskazać szeroką gamę korzyści społecznych opartych o zrównoważoną konsumpcję i „ekologiczne” miejsca pracy. Są one uzyskiwane dzięki zastosowaniu m.in.: ekonomii współdzielenia, *eko-designu*, modelu *re-use* (ponownego użycia) czy recyklingu.

RECYKLING 4.0 W GOSPODARCE O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Badania w przedmiocie Recyklingu 4.0 w połączeniu z gospodarką o obiegu zamkniętym są ostatnio coraz częściej prowadzone. Krótki przegląd literatury w tym zakresie zaprezentowano poniżej. Kerin i Pham twierdzą, że technologie takie jak Internet rzeczy (IoT), produkcja dodatków, roboty współpracujące (coboty), wirtualna / rozszerzona

rzeczywistość (VR / AR) i technologie nośników danych, takie jak RFID, są obiecujące dla sektora regeneracji [50]. Warto wskazać także, że Yang i współpracownicy omawiają wyzwania i możliwości inteligentnych rozwiązań w sektorze regeneracji; wyzwania obejmują brak standaryzacji, projektowanie cyklu życia i ograniczoną wymianę informacji [34]. Możliwość ta prowadzi do zwiększonej wydajności i niezawodności procesów regeneracji za pośrednictwem „inteligentnych fabryk” 4.0. Również technologie takie jak produkcja addytywna i hybrydowa, skanowanie 3D, zautomatyzowane systemy transportowe (ATS) i AR wprowadzane mogą być w celu obniżenia kosztów i podniesienia jakości regenerowanych produktów [35].

Warto zaznaczyć także pogląd Lopes de Sousa Jabbour, który prezentuje studium przypadku, w którym inteligentny i elastyczny system (re)produkcji może wybrać najbardziej wydajne procesy spośród wielu dostępnych procesów EoU/ EoL. Rozwiązanie to ma na celu zminimalizowanie wysiłku, w oparciu o dostarczone informacje o produkcie, czyli tzw. „paszport produktu”. Dalsze publikacje analizują wyzwania i potencjał konkretnych technologii I4.0 dla zrównoważonej (re-)produkcji i recyklingu [36]. Istotnym jest także fakt, iż Thiede omawia środowiskową wykonalność CPS, czyli systemy cyberfizyczne (ang. *Cyber Physical Systems*). Analizie podlegają zarówno oczekiwane korzyści dla środowiska, ale także związane z tym wpływy wdrożenia CPS na środowisko na przykład ciągłego monitorowania energii. Niniejsze publikacje nie zawierają ogólnej oceny I4.0 i CE w połączeniu ze sobą oraz w odniesieniu do regeneracji i recyklingu. W związku z tym nie jest dostępne ustrukturyzowane wsparcie decyzyjne w celu wyboru istniejących inteligentnych rozwiązań do regeneracji i recyklingu [56].

MATERIAŁY I METODOLOGIA ZASTOSOWANE W PROCESIE PRZEMYSŁU 4.0 W ODNIESIENIU DO RECYKLINGU

W toku analizy przedmiotowego zagadnienia, niezmieranie istotne staje się zagadnienie materiałów i metodologii zastosowanej w procesie Przemysłu 4.0 i recyklingu. W celu identyfikacji możliwych do wykorzystania technologii i rozwiązań dla sektora regeneracji i recyklingu stosuje się ramy CPS. Znajdują one zastosowanie do rozróżnienia technologii i rozwiązań, a także do klasyfikacji odpowiedniej literatury. Inteligentne technologie produkcyjne odnoszą się do poje-

dynczych elementów ram CPS. Z kolei inteligentne rozwiązania produkcyjne to podejścia, które obejmują wszystkie elementy (technologie) ram. Jeśli technologia jest możliwa do zastosowania w ramach, została wzięta pod uwagę; to samo dotyczy kompletnych „inteligentnych rozwiązań”, które zawierają już wszystkie elementy ram.

Pierwszym z elementów CPS jest gromadzenie danych. Istotą tego składnika procedury jest zbieranie przez specjalistyczne czujniki danych dotyczących produktu. Takimi danymi może być stan zdrowia, zużycie energii etc. Przedmiotowe czujniki zbierają również dane związane z produktem, takie jak temperatura otoczenia [57].

Kolejnym z elementów CPS jest przetwarzanie i przechowywanie danych [3] (tabela 1). Technologie nośników informacji oparte na produktach, takie jak RFID lub kody QR, przechowują informacje o produkcie. Śledzenie produktów i dostarczanie odpowiednich danych o produktach w logistyce zwrotnej i harmonogramowaniu (re-)produkcji oferują wysoki potencjał regeneracji i recyklingu [50]. W skład elementów CPS wprowadzono również eksplorację danych. Jest ona częścią procesu odkrywania wiedzy z baz danych (KDD) i może być zdefiniowana jako „nietrywialny proces identyfikacji ważnych, nowatorskich, potencjalnie użytecznych i ostatecznie zrozumiałych wzorców danych”. Kolejno wskazano na proces modelowania i symulacji. Dobrym przykładem tegoż jest cyfrowy bliźniak, który stanowi zintegrowaną wielofizyczną, wieloskalową, probabilistyczną symulacją produktu, która odzwierciedla status i zachowanie jego odpowiednika w świecie rzeczywistym. W celu poprawy jakości zarządzania cyfrowy bliźniak dostarcza informacji przez cały cykl życia produktu o jego przebiegu oraz umożliwia prognozowanie wystąpienia ewentualnych uszkodzeń [60]. Następnym elementem CPS jest wizualizacja. W tym przypadku dobrym przykładem będzie wirtualna (VR) i rozszerzona rzeczywistość (AR). Są to technologie wspomagające podejmowanie decyzji przez człowieka. AR jest proponowany do szkolenia i wspierania procesów w logistyce lub utrzymaniu ruchu [50]. Należy również wskazać element w postaci sterowania. Sterowanie maszynami/systemami można osiągnąć za pomocą tradycyjnych technologii, takich jak komputerowe sterowanie numeryczne (CNC), innowacyjnych technologii, takich jak głębokie uczenie się lub poprzez dotykowe sprzężenie zwrotne, np. dla cobotów [57].

Tabela 1. Elementy CPS. Źródło – opracowanie własne

Element CPS	Zastosowane działania i infrastruktura
Gromadzenie danych	Czujniki zbierające dane
Przetwarzanie i przechowywanie danych	Technologie nośników informacji
Eksploracja danych	Uzyskiwanie wiedzy z baz danych
Modelowanie i symulacja	Analiza dostarczanych informacji
Wizualizacja	Zastosowanie wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości
Sterowanie	Sterowanie numeryczne (CNC), innowacyjnych technologii, takich jak głębokie uczenie się lub poprzez dotykowe sprzężenie zwrotne, np. dla cobotów.

Tabela 2. Identyfikacja operacji regeneracji i recyklingu.
Źródło – opracowanie własne

	Regeneracja	Recykling
Zbieranie	X	X
Identyfikacja/klasyfikacja	(X)	X
Wykrywanie usterek	X	0
Demontaż	X	(X)
Naprawa	X	0
Montaż	X	0
Sprawdzenie działania	X	0
Separacja materiałów	0	X
Sortowanie	0	X
X – obsługa niezbędna, (X) – obsługa opcjonalna, 0 – nie wymaga obsługi		

IDENTYFIKACJA OPERACJI REGENERACJI I RECYKLINGU

Ważną kwestią w toku analizy efektywności jest odpowiednia identyfikacja regeneracji i recyklingu. Operacje regeneracji i recyklingu łańcuchów procesów wymieniono w tabeli 2. Przetwarzanie zazwyczaj rozpoczyna się od zbierania i transportu zużytych produktów do producenta oryginalnego sprzętu lub zakładu regeneracji/recyklingu, umożliwiając pozyskanie istotnych danych. Uzyskane informacje są niezbędne do zarządzania odwróconymi łańcuchami dostaw. Obróbka wymaga etapu klasyfikacji, dostarczającego wiedzy na temat rodzaju produktu, użytych materiałów i ogólnego statusu.

RECYKLING 4.0 W PRZEMYSŁE 4.0 NA PRZYKŁADZIE SAMOCHODÓW ELEKTRYCZNYCH

W toku analizy tematyki Recyklingu 4.0 warto wskazać przykład przetwarzania samochodów elektrycznych, ze wskazaniem sensu stricto zastosowanych w nich akumulatorów. Na kanwie regulacji sprecyzowanych przez Europejską Agencję Środowiska, produkcja pojazdów elektrycznych ma większy wpływ na środowisko niż produkcja konwencjonalnych samochodów, a produkcja akumulatorów jest głównym czynnikiem [52]. Warto jednak zaznaczyć, że odpowiednie oczyszczanie baterii z EoL/EoU może złagodzić skutki poprzez zapewnienie alternatywnych źródeł materiałów i zastąpienie wpływowej produkcji materiałów pierwotnych. Recykling baterii wykorzystuje procesy mechaniczne, pirometalurgiczne i hydrometalurgiczne, zwykle [2].

Opisując skrótowo proces recyklingu akumulatorów stosowanych w samochodach elektrycznych, należy wskazać 3 etapy: odbiór, identyfikacja oraz klasyfikacja, a także demontaż. Pierwszy etap może być realizowany u dealerów samochodowych OEM, w centrach napraw lub w tradycyjnych firmach zajmujących się recyklingiem samochodów. Gromadzenie, przetwarzanie i przechowywanie danych

oraz wydobywanie danych może być realizowane wspólnie, aby uzyskać cenne informacje, np. optymalizacji tras lub planowania wydajności dla logistyki i recyklingu. W toku identyfikacji nośniki informacji oparte na produkcie mogą dostarczać istotnych informacji dotyczących typu baterii, wieku lub stanu ich zachowania. Czujniki mogą następnie identyfikować produkty na początku łańcucha procesu recyklingu. Informacje te mogą być przekazywane przez łańcuch za pomocą interfejsów łączących. Jeśli chodzi o demontaż, to w myśl aktualnego standardu branżowego zakłada się, że odbywa się on ręcznie. Tak więc technologie wizualizacji, takie jak AR lub rozwiązanie takie jak PBV, mogą wspierać pracowników dodatkowymi informacjami i przyspieszać ten proces. Przykładowo można wspomóc ręczne sortowanie, takie jak sortowanie według chemii komórek [1].

Analizując strictly korzyści dla środowiska w toku opisywanej procedury recyklingu samochodów elektrycznych, należy wskazać, że korzyści dla środowiska wynikające z integracji cobotów można ocenić za pomocą metodologii Thiede. Uwzględnia ona oprócz potencjalnych ulepszeń również dodatkowe wysiłki na rzecz infrastruktury cobotów [56]. W ramach demontażu, wyszczególnić można takie procesy jak: separacja materiałów (kruszenie) i sortowanie (przesiewanie i klasyfikacja powietrza). Procesy kruszenia i sortowania akumulatorów są w pełni zautomatyzowanymi procesami, które wykazują duży potencjał integracji CPS (I-IV): ciągłe monitorowanie i kontrola parametrów procesu mogą poprawić efektywność energetyczną i materiałową kruszenia i klasyfikacji powietrza poprzez analizę strumieni produktów i odpowiednie dostosowanie parametrów procesu.

PODSUMOWANIE

Gospodarka obiegu zamkniętego, która może być alternatywą dla tradycyjnego modelu, obejmuje zestaw działań nastawionych na uzyskanie efektów ekonomicznych, ale przede wszystkim ekologicznych, m.in. zapobieganie marnotrawieniu surowców, wydłużenie cyklu życia produktu, odzyskiwanie zasobów. Nowoczesne przedsiębiorstwo produkcyjne coraz częściej sięgają po stosowanie innowacyjnych narzędzi IT do zwiększenia efektywności środowiskowej, prowadząc ich integrację z innymi metodami zarządzania produkcją w celu ograniczenia wpływu przedsiębiorstwa na środowisko naturalne oraz zwiększenia efektów ekonomicznych.

Ciągłe doskonalenie produktów i technologii przy wykorzystaniu narzędzi IT w obszarze Recyklingu 4.0 może się przyczynić do uzyskania trwałej przewagi konkurencyjnej oraz poprawy stanu środowiska naturalnego. Cechą nowoczesnych systemów zarządzania przedsiębiorstwem jest nastawienie na podwyższanie efektywności stanowisk pracy i całego procesu produkcyjnego, a zatem stworzenia ekoinnowacyjnego przedsiębiorstwa, dbającego o środowisko oraz możliwie najpełniej zaspokajającego potrzeby klienta.

Analiza efektywności w przedsiębiorstwie zintegrowana z pozostałymi metodami zarządzania produkcją przy wykorzystaniu narzędzi IT służy zwiększeniu poziomu innowacyjności oraz wdrażania czystych technologii, przy-

czyniając się do zrównoważonego rozwoju gospodarki i respektowania założeń idei Społecznej Odpowiedzialności Przedsiębiorstw [47]. Obok racjonalności ekonomicznej ważna staje się racjonalność ekologiczna i roztropność innowacyjna [47].

LITERATURA

- [1] A. Kampker, H.H. Heimes, M. Ordnung, C. Lienemann, A. Hollah, et al. Ocena regeneracji akumulatorów litowo-jonowych z samochodów elektrycznych, *Int. J. Mech. Mechatron. Inż.*, 10 (12) (2016), s. 1922-1928.
- [2] A. Kwade, J. Diekmann, Recykling akumulatorów litowo-jonowych: sposób Litho-Rec(2018).
- [3] A.B. Lopes de Sousa Jabbour, C.J.C. Jabbour, M. Godinho Filho, D. Roubaud.
- [4] Asem-Hiablie S., Battagliese T., Stackhouse - Lawson K.R., Rotz C.A., 2019 – A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(3), 441-455.
- [5] Yadong, Y. (2013). Trendy w zakresie efektywności ekologicznej w Chinach, 1978-2010: oddzielenie presji środowiskowej od wzrostu gospodarczego. *Wskaźniki ekologiczne*. 24: 177–184.
- [6] Asem-Hiablie S., Battagliese T., Stackhouse - Lawson K.R., Rotz C.A., 2019 – A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(3), 441-455.
- [7] K. Lichtblau, V. Stich, R. Bertenrath, R. Blum, M. Bleider, A. Millack i wsp. *IMPULS, Gotowość Przemysłu 4.0, Impuls-Stiftung des VDMA, Akwizgran-Kölb* (2015)).
- [8] H. Kagermann, J. Helbig, A. Hellinger, W. Wahlster, Zalecenia dotyczące wdrożenia inicjatywy strategicznej *INDUSTRIE 4.0: Zabezpieczenie przyszłości niemieckiego przemysłu wytwórczego; Sprawozdanie końcowe grupy roboczej ds. Industry 4.0, Forschungsunion* (2013)).
- [9] E. Oztemel, S. Gursev, Przegląd literatury na temat Przemysłu 4.0 i technologii pokrewnych.
- [10] J. Intell. Manuf., 31 (1) (2020), s. 127-182.
- [11] T.D. Oesterreich, F. Teuteberg, Zrozumienie implikacji cyfryzacji i automatyzacji w kontekście Przemysłu 4.0: podejście triangulacyjne i elementy programu badawczego dla branży budowlanej.
- [12] *Komputery w przemyśle*, vol. 83, Elsevier B.V (2016), s. 121-139,
- [13] J. Lee, H. Davari, J. Singh, V. Pandhare, Sztuczna inteligencja przemysłowa dla systemów produkcyjnych opartych na przemyśle 4.0, *Manuf. Lett.*, 18 (2018), s. 20-23.
- [14] V. Alonso, A. Dacal-Nieto, L. Barreto, A. Amaral, E. Rivero, Implikacje Przemysłu 4.0 w metrologii widzenia maszynowego: przegląd *Procedia Manuf.*
- [15] M. Rüßmann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner, J. Justus, P. Engel, M. Harnisch, *Przemysł 4.0: przyszłość produktywności i wzrostu w przemyśle wytwórczym*, Boston Consult. Grupa, 9 (1) (2015), s. 54-89.
- [16] L. Tamiza, D. Schaefer, *Przemysł 4.0: przegląd kluczowych korzyści, technologii i wyzwań, Cyberbezpieczeństwo. Industr.*, 4 (2017), s. 1-33.
- [17] K.S. Wong, M.H. Kim, Ochrona prywatności inteligentnych systemów produkcyjnych opartych na danych *Int. J. Web Serv. Res.*, 14 (3) (2017), s. 17-32.
- [18] S.S. Kamble, A. Gunasekaran, S.A. Gawankar, Zrównoważone ramy Przemysłu 4.0: systematyczny przegląd literatury identyfikujący obecne trendy i przyszłe perspektywy, *Przetwarzaj Saf. Environ. Protect.*, 117 (2018), s. 408-425,
- [19] E. Oztemel, S. Gursev, Przegląd literatury na temat Przemysłu 4.0 i technologii pokrewnych.
- [20] J. Intell. Manuf., 31 (1) (2020), s. 127-182.
- [21] *Recykling 4.0: Niemcy przenoszą recykling na wyższy poziom – Projekty - Polityka regionalna - Komisja Europejska* (europa.eu).
- [22] M. Geissdoerfer, S.N. Morioka, M.M. De Carvalho, S. Evans, Modele biznesowe i łańcuchy dostaw dla gospodarki o obiegu zamkniętym, *J. Czysty. Prod.*, 190 (2018), s. 712-721.
- [23] O.E. Ogunmakinde, Developing a circular-economy-based construction waste minimisation framework for Nigeria, *Partnership*, 77 (2019), pp. 16-59.
- [24] PRC, Circular Economy Promotion Law of the People's Republic of China(2008)
- [25] Close O. Fitch-Roy, D. Benson, D. Monciardini All around the world: assessing optimality in comparative circular economy policy packages *J. Clean. Prod.*, 286 (2021), Article 125493.
- [26] Basset-Mens C., Ledgard S., Boyes M., 2009 – Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecological Economics*, 68(6), 1615-1625.
- [27] R. Steinhilper, F. Weiland Odkrywanie nowych horyzontów w zakresie regeneracji aktualnego przeglądu branż, produktów i technologii *Proced. CIRP*, 29 (2015) pp. 769-773.
- [28] C. Herrmann *Ganzheitliches Zarahandling cyklem życia*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2010).
- [29] R. Geyer, B. Kuczenski, T. Zink, A. Henderson, Powszechne nieporozumienia na temat recyklingu, *J. Ind. Ecol.* 20 (5) (2016), s. 1010-1017.
- [30] Komunikat KE. 2014. Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program „zero odpadów dla Europy”. KOM. 398. Komunikat KE. 2015. Zamknięcie obiegu - plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym. KOM. 614. Komunikat KE. 2018 w sprawie monitorowania gospodarki o obiegu zamkniętym KOM. 029.
- [31] Basset-Mens C., Ledgard S., Boyes M., 2009 – Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecological Economics*, 68(6), 1615-1625.
- [32] Berkel R. van: Eco-efficiency in the Australian Minerals Processing Sector, *Journal of Cleaner Production* 15 (2007) 772–781.
- [33] Berkel R. van: Eco-efficiency in the Australian Minerals Processing Sector, *Journal of Cleaner Production* 15 (2007) 772–781.
- [34] S. Yang, A. M. R, J. Kaminski, H. Pepin, Możliwości dla przemysłu 4.0 w zakresie wspierania regeneracji, *Appl. Sci.* (2018).
- [35] H.C. Yi, J.W. Park, Projekt i wdrożenie centrum recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji w oparciu o IoT (Internet of Things) w Korei *Procedia CIRP* (2015), s. 728-733.
- [36] A.B. Lopes de Sousa Jabbour. When titans meet – can industry 4.0 revolutionise the environmentally – sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors.
- [37] X.V. Wang, L. Wang, Recykling, odzysk i regeneracja cyfrowego, opartego na dwóch źródłach WEEE w kontekście Przemysłu 4.0, *W. J. Produkt. Res.*, 57 (12) (2019), s. 3892-3902.
- [38] Burchart-Korol D., Kruczek M., Czaplicka-Kolarz K., 2016 – Wykorzystanie efektywności w ocenie poziomu ekoinnowacyjności [www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artuk_pdf_2013/p026.pdf, data dostępu 04.04.2022]].
- [39] Ekins P.: Eco-efficiency. Motives, Drivers and Economic Implications, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 9, Nr 4, 2005, s. 12–14.
- [40] Hermann, M. et al. 2016, Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Available at: <https://www.computer.org/csdl/proceedings/hicss/2016/5670/00/5670d928.pdf> (dostęp: 25.02.2022).
- [41] Huppel G., Ishikawa M.: A Framework for Quantified Eco-efficiency Analysis, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 9, 4, 2005, s. 25–41.
- [42] Kiełtyka L. (2017), Narzędzia i technologie multimedialne wspomagające pracę menedżera we współczesnych organizacjach, „Przegląd Organizacji”, Nr 8, s. 33–42.
- [43] Kleibera, M., 2011, pr. zb., Ekoeffektywność technologii, pp: 11-16.
- [44] Kuzior A. (2013). „Zrównoważone przedsiębiorstwo”. In: *Globalne konteksty poszanowania praw i wolności człowieka. Idee i rzeczywistość*, Kuzior A. (ed.). Remar, Sosnowiec, pp. 15-30.
- [45] Kuzior A. (2014). *Aksjologia zrównoważonego rozwoju*. Belianum, Banska By-

- strica 2014.
- [46] Kuzior A., Arefieva O., Poberezhna Z., Ihumentsev O. (2022). Sustainability, 14 (6), 3258. DOI:10.3390/su14063258.
- [47] Kuzior A., Zozulak J. (2019). Adaptation of the idea of phronesis in contemporary approach to innovation Management Systems in Production Engineering, 27(2), 84-87.
- [48] Kuzior, A., Kwilinski, A., & Tkachenko, V. (2019). Sustainable development of organizations based on the combinatorial model of artificial intelligence. Entrepreneurship and Sustainability, 7(2), 1353-1376. [http://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2\(39\)](http://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2(39)).
- [49] Kuzior, A., Postrzednik-Lotko, K.A., Postrzednik, S. (2022). Limiting of Carbon Dioxide Emissions through Rational Management of Pro-Ecological Activities in the Context of CSR Assumptions. Energies, 15, 1825. <https://doi.org/10.3390/en15051825>.
- [50] M. Kerin, D.T. Pham Przegląd nowych technologii przemysłu 4.0 w regeneracji, J. Cleaner Product., 237 (2019), art. 117805.
- [51] Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym przyjęta przez polski rząd w 2019 roku. Załącznik do uchwały Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 r.
- [52] Pojazdy elektryczne z perspektywy cyklu życia i gospodarki o obiegu zamkniętym, Europejska Agencja Środowiska, Luksemburg: Urząd Publikacji Unii Europejskiej (2018), 10.2800/77428.
- [53] Posada, J. et al., 2015. Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industry 4.0 and Industrial Internet. IEEE Computer Graphics and Applications, 35(2), pp.26-40.
- [54] Przemysł 4.0 i gospodarka o obiegu zamkniętym: proponowany program badań i oryginalny plan działania na rzecz zrównoważonych działań, Ann. Operat. Res., 270 (1-2) (2018), s. 273-286.
- [55] Raport „Circular economy in Europe Developing the knowledge base”, European Environment Agency, No 2/2016, s. 13-14.
- [56] S. Thiede, Zrównoważenie środowiskowe cyberfizycznych systemów produkcyjnych, Procedia CIRP, 69 (maj) (2018), s. 644-649.
- [57] S. Thiede, A. Turetskyy, A. Kwade, S. Kara, C. Herrmann, Eksploracja danych w łańcuchach produkcji akumulatorów w kierunku wielokryterialnego przewidywania jakości, Roczniki CIRP, 68 (1) (2019), s. 463-466.
- [58] Sommer, L., 2015. Industrial Revolution - Industry 4.0: Are German Manufacturing SMEs the First Victims of this Revolution? Journal of Industrial Engineering and Management JIEM, 8 (5) pp: 1512- 1532.
- [59] Verfaillie H.A., Bidwell R.: Measuring Eco-Efficiency – A Guide to Reporting Company Performance. World Business Council for Sustainable Development 2000.
- [60] X.V. Wang, L. Wang, Recykling, odzysk i regeneracja cyfrowego, opartego na dwóch źródłach WEEE w kontekście Przemysłu 4.0, W. J. Produkt. Res., 57 (12) (2019), s. 3892-3902.
- [61] Yin, S. & Kaynak, O., 2015. Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends [Point of View]. Proceedings of the IEEE, 103(2), pp.143-146.
- Artykuł został po raz pierwszy zamieszczony w publikacji „Innowacyjne rozwiązania IT w przemyśle 4.0”, 2022.
Nr ISBN:978-83-965554-0-3

Dr Przemysław Jura

Fundacja Instytutu Nauk Ekonomicznych i Społecznych
Polska Izba Ekologii

REKLAMA

PLASTIC PROCESSING MACHINES

POL-SERVICE MAJCHER

Oferujemy:

- Układy plastyfikujące do wylączarek
- Wylączarki jedno i dwuślimakowe stożkowe i równoległe
- Linie do recyklingu i granulacji tworzyw
- Linie do produkcji rur i profili
- Młyny, Shreddery, Mieszalniki
- Kompandery
- Zmieniacze sit



ZAPEWNIAMY
WYSOKĄ JAKOŚĆ
I SZYBKIE DOSTAWY
Z NASZEGO MAGAZynu



Pol-Service Majcher Jacek

35-317 Rzeszów, ul. Budziwojska 90, tel. +48 17 229 3456, fax +48 17 229 3333
e-mail: maszyny@pol-service.pl | www.pol-service.com | www.pol-service.pl

Skutecznie zintegrowane rozwiązania firmy naukowo-produkcyjnej "Prodekologia" do recyklingu polimerów

FNP "Prodekologia" oferuje firmom zajmującym się recyklingiem skuteczne rozwiązania w zakresie separacji i przetwarzania polimerów pochodzących z recyklingu przy użyciu technologii separacji magnetycznej, elektrostatycznej, tarcia, pneumatycznej i NIR.



Zastosowanie separatorów w recyklingu ma szereg istotnych zalet. Przede wszystkim separatory pozwalają na uzyskanie wysokiego poziomu czystości surowców wtórnych, co determinuje jakość i zwiększa wartość produktu końcowego. Z kolei możliwość dostosowania parametrów separacji do konkretnego materiału zwiększa elastyczność procesów produkcyjnych podczas pracy z różnymi rodzajami surowców wtórnych (odpadów). Ponadto proces separacji na sucho istotnie upraszcza i obniża koszty przetwarzania. Tym samym separatory Prodekologia zapewniają tanie i czyste surowce przygotowane do użytku przemysłowego, a w rezultacie wymierny efekt ekonomiczny.

W procesach recyklingu polimerów firma oferuje kompleksowe rozwiązania, które zapewniają najwyższą jakość separacji i oczyszczania surowców pochodzących z recyklingu.

Oczyszczanie surowców wtórnych z wtrąceń metali żelaznych zapewniają separatory magnetyczne.

Zanieczyszczenia w postaci cząstek elastycznej gumy, silikonu i poliuretanu są usuwane z rozdrobnionych tworzyw sztucznych za pomocą separatora tarcia.

Usuwanie folii i odpylanie zmielonych tworzyw sztucznych przez przepływ powietrza odbywa się za pomocą separatorów pneumatycznych.

Separatory elektrostatyczne skutecznie usuwają z mieszaniny polimerów zanieczyszczenia metali nieżelaznych,

drewna i przewodzącej gumy.

Separatory tryboelektryczne oddzielają dwu- lub trójskładnikowe mieszaniny polimerów na podstawie właściwości elektrycznych.

Separatory NIR są używane do sortowania wieloskładnikowych mieszanin polimerów według ich rodzajów przy użyciu promieniowania bliskiej podczerwieni.

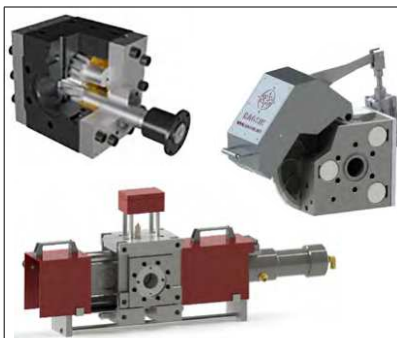
Zintegrowane linie i urządzenia produkowane przez firmę Prodekologia są z powodzeniem wykorzystywane do recyklingu profili okiennych z PVC (PVCtw+guma +PVCmiękie+EPDM), izolacji kabli elektrycznych (PVC+PE), butelek PET (PET+PVC), opakowań spożywczych (PET+PE), odpadów elektrycznych i elektronicznych ZSEE (ABS+PS+PP) oraz plastikowych butelek i nakrętek (PP+PE) w zakładach recyklingu w 30 krajach.



33024 Ukraina, m. Równe
ul. Młynowska 32
tel. +38 067 383 82 16
tel. +38 050 461 49 51
separator@prodecolog.con.ua
www.prodecolog.com.ua



Zestawienie wybranych firm z branży recyklingu tworzyw



Bagsik Sp. z o.o.

<https://bagsik.net/>

Firma Bagsik w swojej ofercie posiada wysoko wyspecjalizowane czujniki ciśnienia oraz temperatury przeznaczone do procesu ekstruzji oraz sita filtracyjne dla każdego zmieniaacza sit. Głównym produktem firmy są zmieniacze sit w systemie ciągłej produkcji oraz pompy zębate. Jesteśmy jedynym przedstawicielem niemieckiej firmy Kubota Brabender Technologie zajmującej się produkcją dozowników oraz systemów wagowych.

Współpracujemy z ExtruderExperts, liderem dystrybucji elementów ślimaków i układów plastyfikujących dla większości ekstruderów na rynku.

Na rynku tworzyw sztucznych istniejemy od 1999 roku, obchodząc w tym roku jubileuszowe 25 lat.



Dopak Sp. z o.o.

<https://dopak.pl/>

Dopak dostarcza maszyny do recyklingu odpadów poprodukcyjnych i pokonsumpcyjnych. W ofercie znajdują się:

- **linie do regranulacji ALTERO RECYCLING MACHINERY** – kompletne linie do regranulacji odpadów z tworzyw sztucznych
- **młyny nożowe Neue Herbold** – do mielenia tworzyw miękkich i elastomerów
- **młynki stanowiskowe Mo.Di.Tec** – do recyklingu tworzyw twardych, pracujące przy wtryskarkach w technologii wolnoobrotowej
- **szybkobieżne młyny nożowe Vespa** – wysokiej jakości, bezawaryjne i wydajne
- **linie myjące Neue Herbold** – modułowe, umożliwiające rozbudowę
- **pulweryzatory Neue Herbold** – do proszkowania tworzyw sztucznych
- **kruszątki firmy Weima** – do redukcji odpadów w zakładach produkcyjnych i firmach recyklingowych.



ELBi Wrocław Sp. z o.o.

<https://elbi.com.pl/>

Najważniejszą wartością naszej firmy jest jakość i innowacyjność, dlatego oferujemy Państwu urządzenia oraz rozwiązania, które zapewnią optymalne wyniki produkcyjne, spełniając jednocześnie ich najwyższe wymogi.

Współpracujemy m.in. z firmą WANNER TECHNIK, która produkuje młyny do recyklingu, pracujące zarówno jako urządzenia stanowiskowe, jak i centralne. Podzielone są one na serie: Baby, Compact, Dynamic, największe, centralne młyny serii Energy, młyn specjalny Xtra, system regranulacji TG-Extruder oraz TT-Cutter do rozdrabniania brzegów. Proponujemy sprawdzone rozwiązania. Nasze długotrwałe relacje biznesowe świadczą o tym, że jakość, nowoczesność i niezawodność produkowanych urządzeń oraz świadczony serwis są doceniane na rynku.



Italexpol

www.italexpol.pl

We współpracy z włoską firmą **CDM Engineering**, która kontynuuje rozwój powstałej w roku 1973 firmy OMP Prealpina Srl, oferujemy kompletne linie do regranulacji tworzyw sztucznych. Nieustanny monitoring tendencji rynkowych i ciągły rozwój naszych urządzeń sprawia, że jesteśmy w stanie zaoferować innowacyjne rozwiązania, dopasowane do indywidualnych wymagań Klientów.

Oferujemy linie jednoślakowe oraz dwuślakowe współbieżne.

PODSTAWOWA CHARAKTERYSTYKA

- Przetwarzane materiały: PE, PP, PS, ABS, PA, PC, BIO, BAYBLEND itp.;
- Wydajność: do 2000 kg/h;
- Śniki sterowane inwerterem;
- Zespoły odgazowania: z jedną pompą, z dwiema pompami, typu tandem (dodatkowy ekstruder odgazowujący);
- Zdalne sterowanie i diagnostyka.



KFG

www.kfg-biebesheim.de

Jesteśmy jedną z wiodących firm zajmujących się **recyklingiem PMMA** w Europie, skupujemy następujące materiały:

- Skrawki z formowania wtryskowego;
- Odcięte kawałki z arkuszy;
- Odpady początkowe (bryły lub wióry);
- Pellety poza normą (żywice) / kulki / arkusze oraz nadwyżki magazynowe;
- Pyły, np. ze szlifowania.

Ponadto produkujemy PMMA w postaci proszku, regranulaty PMMA oraz żywice na bazie MMA do różnych zastosowań, zobacz na **www.kfg-biebesheim.eu**.



M-ROL1 Sp. z o.o.

www.mrol.com.pl

Przedstawiamy szeroką ofertę wysokiej jakości maszyn do recyklingu tworzyw sztucznych, jaką można znaleźć w M-ROL. Bogata i zróżnicowana gama sprzętów umożliwia efektywne przetwarzanie i ponowne wykorzystywanie materiałów. Nasze urządzenia niezawodnie pomogą zarówno w procesie rozdrabniania, mieszania, przenoszenia, jak i przechowywania tworzyw sztucznych. Oferujemy Państwu pionowe mieszalniki, które przeznaczone są do mieszania tworzyw sztucznych oraz barwienia przetwarzanych materiałów o pojemności od 500kg do 5000kg oraz mieszalniki poziome o pojemności 1000kg lub 2000kg z dokładnością mieszania 1: 100 000. Przenośniki ślimakowe pomogą podczas transportowania materiału, a także podczas załadunku oraz rozładunku materiałów niezbędnych do dalszej produkcji tworzyw sztucznych. Kruszątki umożliwiają rozdrobnienie zużytych materiałów tworzyw sztucznych. Są to maszyny stworzone do skutecznego rozdrabniania materiałów, przede wszystkim tworzyw sztucznych, ale także innych elementów, między innymi: drewna; tworzyw gumowych; papieru. Rozdrabniacz do słomy wykorzystywany również w produkcji pelletu. Rozdrobniona frakcja jest całkowicie gotowa do dalszej obróbki w brykierce lub pellicierce.



POL-SERVICE Majcher

www.pol-service.pl

Firma Pol-Service oferuje maszyny do tworzyw sztucznych, w tym kompletne linie do produkcji profili PCV oraz linie do granulacji i recyklingu tworzyw PE, PP i PCV. Dysponujemy zarówno maszynami nowymi, jak i urządzeniami używanymi. W naszym asortymencie znajdują Państwo m.in. młyny, kruszątki i wylączarki oraz wiele innych maszyn cenionych międzynarodowych i polskich producentów, które charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami, wydajnością i bezawaryjną pracą. Siedziba firmy mieści się w Rzeszowie. Nasz zespół tworzą doświadczeni fachowcy, którzy bardzo dobrze znają się na urządzeniach do recyklingu tworzyw sztucznych i chętnie pomogą w doborze optymalnego dla Państwa rozwiązania.



**Firma Naukowo-Produkcyjna
PRODEKOLOGIA**

www.prodecolog.com.ua

Projektujemy, produkujemy, dostarczamy: separatory magnetyczne, elektrostatyczne, wiropędowe, wykrywacze metali i filtry magnetyczne.

Oferujemy:

- Badania materiałów i określenie efektywnej technologii separacji.
 - Projektowanie urządzeń zgodnie z wymaganiami klienta, produkcja i testy fabryczne.
 - Dostawę maszyn – wsparcie informacyjne od załadowania maszyn do dostawy w dowolny punkt świata.
 - Montaż, uruchomienie, przeszkolenie personelu w zakresie użytkowania urządzeń.
 - Serwis gwarancyjny i pogwarancyjny, modernizacja zgodnie z życzeniami klienta.
- Nowym kierunkiem działalności firmy jest projektowanie, produkcja i dostawa kompleksowych linii do recyklingu polimerów, kabli elektrycznych, płytek drukowanych, sprzętu elektronicznego itp.



RGR

www.rgr.zone

Recovery Green Recycling Surowce od 2015 roku aktywnie działa w branży recyklingu, koncentrując się na odzysku i ponownym wykorzystaniu surowców wtórnych. Zajmujemy się przetwarzaniem odpadów pierwotnych i poprodukcyjnych, a także produkcją wysokiej jakości regranulatu, który znajduje szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Dzięki innowacyjnym technologiom stale poszerzamy swoją ofertę. Naszym celem jest nie tylko redukcja odpadów, ale również wdrażanie nowoczesnych procesów produkcji gotowych elementów z odzyskanych materiałów, co przyczynia się do zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska.



VGT Polska Sp. z o.o.

<https://vgt.com.pl/>

VGT Polska oferuje kompletne linie do recyklingu (linie do sortowania, mycia, separacji suszenia, mielenia, wytłaczania) włoskiego producenta RECY Technologies – <https://recytechnologies.it>

Na szczególną uwagę zasługują specjalne myjki likwidujące całkowicie nieprzyjemne zapachy tworzyw postkonsumenckich.

Jako elementy końcowe linii recyklingu oferujemy granulatory podwodne, suche i na mokro niemieckiego producenta IPS - <https://pelletizing.de>

Do zapewnienia odpowiedniej czystości i jakości produkowanego granulatu oferujemy zmieniacze sit i klasyfikatory-przesiewacze niemieckiego producenta Trendelkamp - <https://www.trendelkamp.com>



P.H.U. Paweł Wartacz

<https://wartacz.com.pl/>

Firma P&F Wartacz została założona w 1990 roku. Obecnie jest jedną z najstarszych firm handlowych w branży PTSz, nieprzerwanie sprzedającą wtryskarki, kruszarki, granulatory, schładzarki, systemy recyklingu, taśmociągi, wyposażenie peryferyjne oraz części zamienne. Kontakty handlowe obejmują 17 państw w Europie i Azji. W stałej ekspozycji we Wrocławiu znajduje się kilkadziesiąt maszyn. Przed zakupem możliwe są testy wszystkich maszyn. Z każdym rokiem powiększa się grono ufających nam klientów.

Modyfikacja właściwości fizykochemicznych elastomerów estrowych tlenkiem ceru

Marta Piątek-Hnat, Anna Narloch, Justyna Skrodzka

Nanokompozyty na dobre zagościły w technologii polimerów. Stanowią one bardzo interesującą grupę materiałów, które znajdują zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu.

Prace nad nanokompozytami są związane z projektowaniem nanostruktur na etapie syntezy oraz przy wykorzystaniu różnego rodzaju nanonapełniaczy. Należy tu wymienić tlenek krzemu SiO_2 lub krzemiany warstwowe, czy nanonapełniacze węglowe (grafen, nanorurki węglowe czy sadza) oraz tlenki metali (tlenek tytanu, tlenek magnezu, tlenek srebra), jak również tlenki metali ziem rzadkich, do których należy tlenek ceru. Dodatek nanonapełniacza pozwala uzyskać poprawę właściwości modyfikowanego materiału, ale bardzo duży wpływ na ten efekt ma niewątpliwie ilość zastosowanego modyfikatora. Jak wykazano w badaniach [3-5], już niewielki dodatek nanonapełniacza pozwala uzyskać nanokompozyty charakteryzujące się lepszymi właściwościami fizykochemicznymi w stosunku do materiałów niemodyfikowanych, co przekłada się na profil ich zastosowania. W świetle powyższych informacji zarówno dobór 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 pracy było otrzymanie i ocena właściwości fizykochemicznych elastomerów estrowych poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu wytworzonych metodą polikondensacji *in situ* zawierających 0,2; 0,4 i 0,6 % wag. nanometrycznego tlenku ceru (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 nanometrycznym tlenkiem ceru na bazie matrycy z elastomeru estrowego (poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu) zostały otrzymane w analogiczny sposób jak opisano w [3-5]. Schemat otrzymywania materiałów zawierających 0,2; 0,4 i 0,6% CeO_2 został pokazany na rys 1. Celem porównania właściwości tych materiałów został wytworzony również elastomer niezawierający dodatku modyfikatora.

METODY BADAŃ

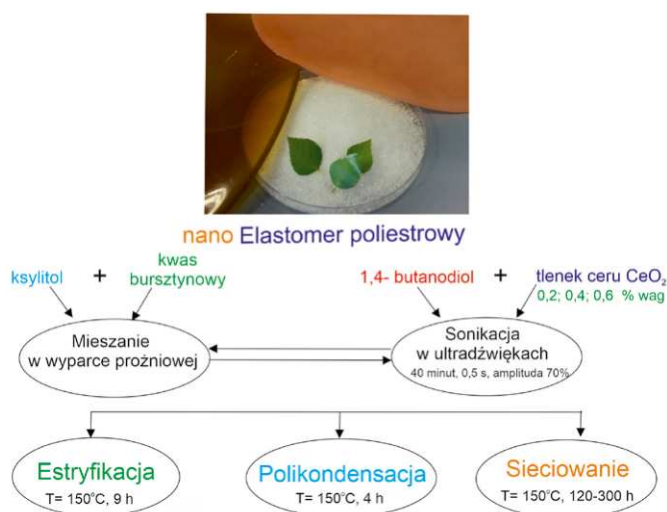
Budowę chemiczną określono metodą spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fourier'a (FTIR) przy użyciu aparatu ALPHA BRUKER. Widma transmitancji oceniono w zakresie częstości liczby falowej $4000 - 500\text{cm}^{-1}$.

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

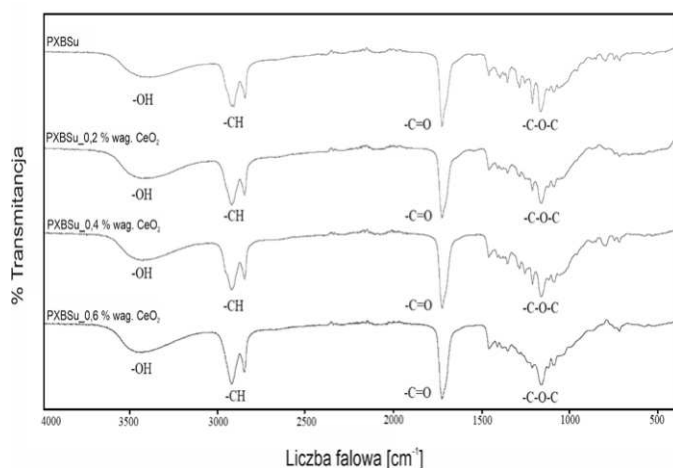
Twardość oznaczono metodą Shore'a typu A wg normy PN-80/C -04238.

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 Fourier'a, dzięki którym można ocenić wpływ dodatku nanonapełniacza na budowę chemiczną nanokompozytów. Analogicznie jak w poprzednich pracach

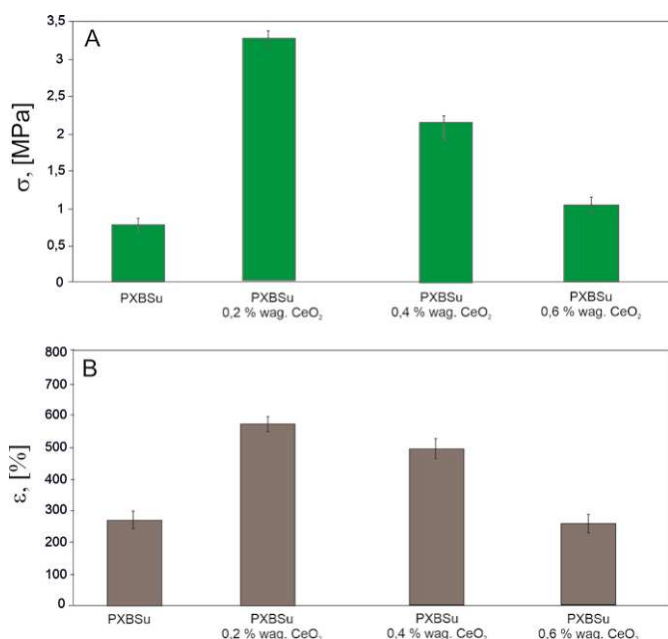


Rys. 1. Schemat otrzymywania elastomerów estrowych modyfikowanych nanonapełniaczem CeO_2



Rys. 2. Widma FTIR nanokompozytów poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu zawierających CeO_2

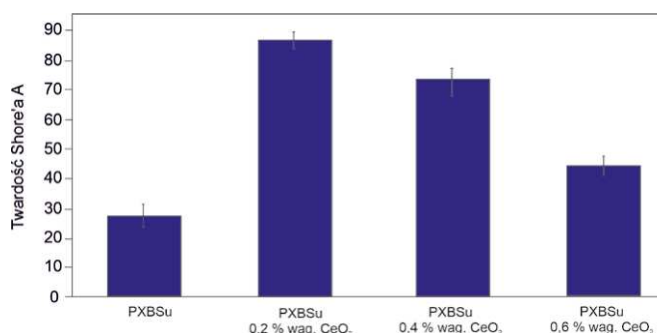
autorów [3-5] zaobserwowano, że dodatek nanonapełniacza niezależnie od jego wprowadzonej ilości nie miał wpływu na budowę chemiczną, co potwierdza brak jego reakcji z osnową polimerową. Na rysunku 2. widać natomiast charakterystyczne pasma dla elastomeru estrowego. W zakresie długości fali ok. 3450 cm^{-1} , występują piki wynikające z drgań rozciągających, międzycząsteczkowych wiązań wodorowych, pochodzących od grup hydroksylowych alkoholu cukrowego. Przy liczbie falowej wynoszącej ok. $2950\text{-}2800 \text{ cm}^{-1}$ widoczne są charakterystyczne pasma odpowiadające asymetrycznym i symetrycznym grupom metylenowym. W zakresie ok. 1460 cm^{-1} , jak również ok. 1360 cm^{-1} widoczne są drgania zginające C-H, odpowiednio asymetryczne i symetryczne. W zakresie liczby falowej ok. 1730 cm^{-1} można zaobserwować charakterystyczny dla grup estrowych pik związany z drganiami rozciągającymi C=O. Piki przy liczbie falowej $1290\text{-}1070 \text{ cm}^{-1}$ świadczą natomiast o obecności pasm drgań rozciągających estrów alifatycznych (-C-O-C).



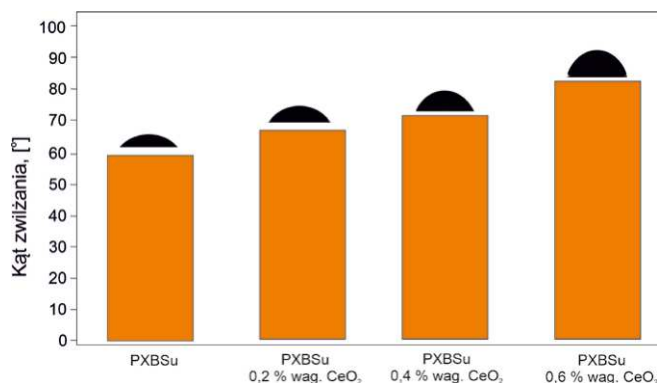
Rys. 3. Właściwości mechaniczne poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu zawierających CeO_2

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

Można zauważyć, iż wprowadzenie różnej ilości nanonapełniacza (0,2%; 0,4%, 0,6%) powoduje wzrost naprężenia do zerwania, a także odkształcenia przy rozciąganiu. Najwyższą wartością naprężenia do zerwania charakteryzuje się nanokompozyt z dodatkiem 0,2% CeO_2 – $3,4 \text{ MPa}$, którego właściwości polepszyły się znacznie w stosunku do elastomeru niemodyfikowanego. Zatem potwierdza to regułę, że następuje homogeniczne rozłożenie nanocząstek w matrycy polimerowej. Gdy zawartość tlenku ceru się zwiększa, obserwujemy spadek parametrów w stosunku do materiału estrowego modyfikowanego udziałem 0,2%. Jest to związane prawdopodobnie z tworzeniem się dużej ilości aglomeratów w matrycy polimerowej.



Rys. 4. Twardość w skali Shore'a A otrzymanych poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu zawierających CeO_2



Rys. 5. Wartości kąta zwilżania dla otrzymanych poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu zawierających CeO_2

Na rys. 4 zostały przedstawione wyniki twardości w skali Shore'a A.

Najwyższą wartością twardości charakteryzuje się elastomer zawierający 0,2 % wag. CeO_2 , co potwierdza zgodność z badaniami mechanicznymi.

Badanie zwilżalności umożliwiło określenie charakteru powierzchni poli(bursztynianu ksylitolu-co-bursztynianu butylenu) PXBSu modyfikowanych i niemodyfikowanych tlenkiem ceru. Przedstawione na rys 5. wyniki pokazują wzrost wartości kąta zwilżania niezależnie od zastosowanej ilości nanonapełniacza.

Materiał wyjściowy charakteryzuje się hydrofilowym charakterem powierzchni. Wraz ze wzrostem ilości nanonapełniacza można zaobserwować wzrost charakteru hydrofobowego. Elastomer zawierający 0,2 wag. CeO_2 zachowuje hydrofilowy charakter powierzchni (69°), co będzie miało niewątpliwie wpływ na jego dobrą biodegradowalność.

WNIOSKI

Celem badań była ocena wpływu dodatku tlenku ceru na właściwości elastomerów estrowych na bazie kwasu bursztynowego, ksylitolu i 1,4 butanodiolu. Wprowadzenie do matrycy elastomerowej tego nanonapełniacza dało pozytywny wzrost właściwości mechanicznych w przypadku jego zawartości 0,2% wag. przy zachowaniu jego hydrofilowego charakteru powierzchni. Ma to szczególnie znaczenie w przypadku zastosowania tych elastomerów jako materiały biodegradowalne. Badania wykazały, że niewielki dodatek nanonapełniacza (0,2 % wag.) wpływa na znaczną poprawę właściwości mechanicznych, zatem zastosowanie wyższej zawartości tego modyfikatora nie jest zasadne, a tym bardziej nie jest opłacalne ekonomicznie.

LITERATURA

- [1] W. Królikowski, Polimerowe kompozyty konstrukcyjne, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- [2] W. Królikowski, Z. Rosłaniec, Nanokompozyty polimerowe, 2004.
- [3] Marta Piątek-Hnat, Kinga Cichecka, Natalia Dudar. Nanokompozyty estrowe zawierające monomery ze źródeł naturalnych, Tworzywa Sztuczne w Przemysle, Nr 2/2017, str. 20-22.
- [4] Marta Piątek-Hnat, Joanna Pilip, Magdalena Terebelska, Ewelina Kaczmarek, Agnieszka Wojciechowska, Sebastian Kosiński Zastosowanie alkoholi cukrowych w syntezie elastomerów estrowych, Tworzywa Sztuczne w Przemysle, nr 3/2016, 100-101.
- [5] Marta Piątek-Hnat Elastomery na bazie kwasu bursztynowego modyfikowane nanometryczną krzemionką, Tworzywa Sztuczne w Przemysle, Dodatek „Materiały Kompozytowe nr 4/2023, V-VI.

dr hab. inż. Marta Piątek-Hnat, Anna Narloch, Justyna Skrodzka

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

Radiacyjna sterylizacja polimerowych wyrobów medycznych

Wojciech Głuszewski

Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA) na roboczym spotkaniu zorganizowanym w Indiach (Bombaj) podsumowała wyniki projektu CRP F23035 - „Radiation Effects on Polymer Materials Commonly Used in Medical Devices”. Celem kompleksowych badań była ocena aktualnej wiedzy na temat radiolizy tworzyw sztucznych wykorzystywanych na świecie do produkcji wyrobów medycznych wyjaławianych promieniowaniem jonizującym. W pracach naukowych uczestniczyli przedstawiciele: Argentyny, Brazylii, Egiptu, Francji, Indonezji, Indii, Filipin, Polski, Portugalii, Rosji, Serbii, Tunezji, Turcji i USA. W wymienionych krajach komercyjnie działają radiacyjne instalacje do sterylizacji wyrobów medycznych, farmaceutyków i przeszczepów. Technicznie spotkanie zorganizował K.C. College, HSNC University we współpracy z Taj President Hotel Mumbai India. Uczestników w swojej rezydencji przyjął gubernator Maharasztry i Kanclerz Uniwersytetu HSNC Shri CP Radhakrishnan. Zwracając się do gości podkreślił rolę, jaką w Indiach przykłada się do

medycyny nuklearnej, radioterapii, radiologii i diagnostyki obrazowej w walce z globalnymi wyzwaniami zdrowotnymi.

HISTORIA CHEMII RADIACYJNEJ POLIMERÓW

Pierwszą pracę z zakresu chemii radiacyjnej małżeństwo Piotr Curie i Maria ze Skłodowskich udostępniło drukiem w roku 1899 [1]. W artykule tym uczeni opisali między innymi żółknięcie i kruszenie papieru pod wpływem promieniowania jonizującego. W roku 1929 Maria Skłodowska-Curie (w oryginale Mme P. Curie) opublikowała artykuł na temat wpływu promieniowania X na bakterie. Przedstawiła wówczas tzw. krzywe radiacyjnej inaktywacji, czyli zależności przeżywalności bakterii od dawki promieniowania jonizującego. Zgłosiła w ten sposób pomysł zwalczania patogenów za pomocą promieniowania rentgenowskiego, który w tym czasie nie miał praktycznego znaczenia. Brak było źródeł promieniowania o dużej aktywności, a ówczesny sprzęt medyczny tanio i wygodnie wyjaławiano termicznie. Dopiero upowszechnienie się w praktyce szpitalnej, wykonanych

z tworzyw polimerowych wyrobów medycznych jednorazowego użytku stworzyło zapotrzebowanie na tzw. zimne metody sterylizacji. Oplącalne stało się konstruowanie i budowanie stosunkowo kosztownych źródeł promieniowania jonizującego wielkiej mocy. Kolejnym przełomem było odkrycie zjawiska radiacyjnego sieciowania polimerów. Na efekt ten zwrócono uwagę przy okazji obserwacji izolacji kabli używanych w pomieszczeniach reaktorów nuklearnych. Wielkości dawek promieniowania jonizującego były w tym przypadku wielokrotnie wyższe od stosowanych zwykle w pracach badawczych z naturalnymi izotopami promieniotwórczymi. Niska wiedza na temat radiolizy polimerów na początku lat czterdziestych pozwalała przypuszczać, że promieniowanie jonizujące w wyniku degradacji izolacji będzie prowadzić do pogorszenia własności użytkowych kabli.

Zupełnie nieoczekiwanie napromieniowany polietylen nie tylko nie obniżał parametrów, a przeciwnie zwiększał odporność mechaniczną i termiczną. Zjawisko takie można było wytłumaczyć tylko powstawaniem wiązań poprzecznych między sąsiednimi łańcuchami polimeru. Za odkrywcę radiacyjnego sieciowania polietylenu uważa się ostatecznie Charlesby'ego (z wykształcenia fizyka z wyboru chemika) z jego fundamentalną publikacją w *Nucleonics* [2]. Ilustracje autora były tak przekonujące, że weszły szybko do literatury popularnonaukowej i podręczników. Dla formalności należy jednak dodać, że wcześniej badania własności wytrzymałościowych folii z PE w reaktorze atomowym Argonne National Laboratory prowadził Dole. Prace te jednak uszły szerszej uwadze i nie były cytowane przez Charlesby'ego, który po roku 1955 dokonał zasadniczego postępu w poznaniu zjawisk sieciowania, opisując je w sposób ilościowy. Zależność ta znana jest od 1959 roku, jako równanie Charlesby'ego i Pinnera.

Wracając do Dole'a warto jeszcze wspomnieć, że jako typowy chemik wykazał, że sieciowaniu PE towarzyszy wydzielanie wodoru. Udowodnił również, że w procesie radiolizy głównie pękają wiązania węgiel-wodór, a nie jak można było przypuszczać węgiel-węgiel. Towarzyszyło temu powstanie na łańcuchu wolnego rodnika alkilowego. Pierwsze publikacje Charlesby'ego i Dole'a nie spowodowały od razu komercyjnego wykorzystania sieciowania polietylenu i innych polimerów. Przełomem dla komercjalizacji była publikacja (zresztą niemal równoległa do artykułu Charlesby'ego) przedstawiająca badania wykonane w laboratorium General Electric (GE) w Schenectady w stanie Nowy Jork. Zbudowano tam i zastosowano do obróbki materiałów akcelerator elektronów.

Duża moc dawki, jaką można uzyskać w przypadku wiązki elektronów, ograniczała powierzchniowe utlenianie polietylenu. Rewelacją tego, opublikowanego w prestiżowym "Nature" artykule było nie tylko wprowadzenie do obróbki radiacyjnej polimerów, ale przebadanie typowych z nich pod kątem sieciowania [3]. Lista wówczas opublikowana jest do



dziś aktualna i wymienia 7 polimerów jako niesieciujące i 14 jako sieciujące. PE zdobył szybko dominującą pozycję wśród grupy modyfikowanych radiacyjnie polimerów i już w latach pięćdziesiątych zaczął być z powodzeniem komercyjnie napromieniowywany głównie wiązką elektronów.

RADIACYJNA STERYLIZACJA

Promieniowanie jonizujące bezpiecznie i ekonomicznie wykorzystuje się do sterylizacji: wyrobów medycznych, przeszczepów, farmaceutyków, kosmetyków i opakowań [4]. Radiacyjnie utrwała się również: zioła, przyprawy ziołowe, suszone grzyby, żywność, suplementy diety i fitofarmaceutyki. Techniki radiacyjne posiadają kilka unikatowych zalet, które pozwalają im skutecznie konkurować z chemicznymi metodami wyjaławiania. Promieniowanie jonizujące sterylizuje wyroby w: dowolnej temperaturze, całej objętości, opakowaniach jednostkowych i zbiorczych. Zabieg nie pozostawia szkodliwych zanieczyszczeń i jest bardzo szybki. W przypadku akceleratorów czas przebywania wyrobów pod wiązką elektronów jest liczony w sekundach. Dodatkowo gdyby z jakichś powodów w tworzywie pozostały resztki monomeru, to zostaną one radiacyjnie dopolimeryzowane. Według statystyk IAEA na świecie działa ponad 160 komercyjnych instalacji promienia gamma, które rocznie obrabiają około 12 milionów m³ akcesoriów medycznych. Ponad 40% wszystkich jednorazowych wyrobów medycznych jest sterylizowanych w ten właśnie sposób. Innym rozwiązaniem jest traktowanie produktów wiązką elektronów przyśpieszaną w urządzeniach akceleratorowych. Te, społecznie postrzegane jako bardzo bezpieczne, źródła promieniowania stanowią dodatkowe 20% rynku sterylizacji wyrobów jednorazowego użytku.

Z punktu widzenia zjawisk chemicznych zachodzących w materiałach rodzaj promieniowania nie ma istotnego znaczenia. W każdym przypadku praktycznie cała energia promieniowania jest przekazywana do materiału przez wybite elektrony. Ważnym dla wtórnych procesów, np. postradiacyjnego utleniania, jest natomiast czas napromieniowywania. W przypadku wiązek elektronów moc dawki jest zwykle kilka tysięcy razy większa niż w instalacjach promieniowania gamma i w efekcie oksydegradacja zachodzi z mniejszą wydajnością. Jak było wspomniane na wstępie, mimo postradiacyjnego utleniania materiały radiacyjnie sieciujące mogą w procesie sterylizacji polepszać właściwości użytkowe. Paradoksalnie nowością jest wykorzystanie do obróbki radiacyjnej promieniowania hamowania (z niemieckiego

Bremsstrahlung). Jest to promieniowanie fotonowe o właściwościach zbliżonych do promieniowania gamma. Konwersja wiązki elektronów na promieniowanie elektromagnetyczne następuje w każdym urządzeniu akceleratorowym. Jednak aby celowo zwiększyć jej wydajność jak *target*, należy zastosować materiały o wysokiej liczbie atomowej. Postęp w zakresie konstrukcji akceleratorów spowodował, że sterylizacja promieniowaniem hamowania stała się obecnie opłacalna. Można powiedzieć, że wrócono do korzeni, jako że pierwsze prace Marii Skłodowskiej-Curie były prowadzone właśnie z wykorzystaniem promieniowania X.

RADIACYJNA MODYFIKACJA POLIMERÓW

Poszukiwania tworzyw polimerowych wytrzymałych na działanie promieniowania jonizującego w warunkach sterylizacji dały początek rozwijanej współcześnie chemii radiacyjnej polimerów. Z punktu widzenia produkcji utensyliów medycznych podstawowym zagadnieniem pozostają nadal zagadnienia radiacyjnej odporności tworzyw sztucznych. Dotyczy to zarówno wyrobów, jak i opakowań, które są integralną częścią wyjałowionego produktu. Ogólnie z punktu widzenia chemicznego w radiolizie polimerów konkurują zjawiska utleniania (degradacji) i sieciowania. W zależności, który z tych procesów przeważa, materiał zalicza się do sieciujących lub niesieciujących. Przykładowo polietylen łatwo tworzy wiązania poprzeczne, poprawiając właściwości użytkowe, a podobny do niego polipropylen nie sieciuje i ulega łańcuchowemu utlenianiu. Tak więc do produkcji wyrobów sterylizowanych radiacyjnie należy stosować specjalne odmiany PP. Temat radiolizy PP jest ciągle aktualny i poszukuje się lepszych, odporniejszych na promieniowanie jonizujące modyfikacji tego polimeru.

Nie przytaczam wykazu polimerów z ich podziałem na radiacyjnie odporne i nieodporne, gdyż można go znaleźć w artykule z roku 2009 [5]. W zasadzie należałoby tę listę uzupełnić jedynie o tworzywa biodegradowalne (poli(kwas mlekowy) – PLA, poli(kwas glikolowy) – PGA, poli-ε-kaprolakton – PCL, poli(β-hydromaślan) – PHB. [6]. W tych przypadkach na problem radiacyjnej modyfikacji patrzy się trochę inaczej. Obróbka radiacyjna może bowiem korzystnie przyspieszyć zjawiska biodegradacji lub biosorbowalności w przypadku implantów chirurgicznych. Współczesne badania dotyczą często nowych tworzyw sztucznych na bazie pierwotnych polimerów. Różnią się one np. rodzajem i ilością antyoksydantów, fotostabilizatorów oraz innych funkcjonalnych dodatków. Ta niekiedy niewielka zmiana składu jest istotna np. ze względu na efekt ochronny, jaki związki aromatyczne wykazują w organicznej chemii radiacyjnej. W praktyce zmiana producenta polimeru wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań wyrobów medycznych sterylizowanych radiacyjnie. Osobnym zagadnieniem jest radioliza polimerowych opakowań. Gwarantują one jałowość wyrobu w znacznie dłuższym czasie w porównaniu z półprzepuszczalnym papierem stosowanym przy sterylizacji tlenkiem etylenu [7]. Ogólnie medycznych materiałów nadających się do sterylizacji radiacyjnej należy szukać wśród polimerów aromatycznych oraz tworzyw sieciujących pod wpły-

wem promieniowania jonizującego. Każdy nowy polimer wykorzystywany do projektowania wyrobów medycznych warto wstępnie przebadать pod kątem odporności radiacyjnej lub skonsultować się ze specjalistami z zakresu chemii radiacyjnej. Należy pamiętać, że objętościowej sterylizacji, np. implantów chirurgicznych, nie da się zastąpić inną technologią.

STERYLIZACJA RADIACYJNA W POLSCE

W Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie działa jedyna w kraju przemysłowa instalacja do radiacyjnej modyfikacji materiałów. Do wyjaławiania wyrobów medycznych wykorzystuje się wiązkę elektronów. W grudniu 2024 roku została podpisana z chińską firmą CGN Dasheng Electron Akcelerator Technology CO., LTD umowa na instalację kolejnego akceleratora. Przedsięwzięcie będzie realizowane w ramach projektu „RAPID” – Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych. Zwiększenie potencjału badawczego IChTJ zostało dofinansowane z Krajowego Planu Odbudowy (KPO). Akcelerator zostanie zainstalowany w Stacji Sterylizacji Radiacyjnej Wyrobów Medycznych i Przeszczepów. Zakup nowego źródła promieniowania jonizującego dużej mocy zapewni jednostkom naukowym i przedsiębiorcom dostęp do nowoczesnej instalacji stosowanej do: sterylizacji radiacyjnej wyrobów medycznych, produktów leczniczych i przeszczepów, dekontaminacji mikrobiologicznej, konserwacji obiektów historycznych oraz modyfikacji materiałów. Dla specjalistów z zakresu chemii i przetwórstwa polimerów, producentów wyrobów medycznych oraz osób i instytucji zainteresowanych praktycznym wykorzystaniem technik radiacyjnych IChTJ organizuje szkoły sterylizacji radiacyjnej oraz szkolenia z zakresu modyfikacji polimerów. Kolejne kursy z udziałem między innymi Ministerstwa Przemysłu są planowane w tym roku.

LITERATURA

- [1] M. Skłodowska – Curie, P. Curie, *Effects chimiques produits par les rayons de Becquerel*, Comptes Rendus, t. 129 (1899), p. 823.
- [2] A. Charlesby, *How radiation affects long-chain polymers*, Nucleonics, 12 (6), 1954, 18-25.
- [3] E. J. Lawton, A.M. Bueche, J.S. Balwit, *Irradiation of polymers by high-energy electrons*, Nature 172, 1953, 76-77.
- [4] Z. Zimek, P.P. Panta, W. Głuszewski, *Radiation Processing for Pharmaceuticals* Acta Poloniae Pharmaceutica vol. 56 Supplement, pp. 5-6 (1999).
- [5] W. Głuszewski, Z.P. Zagórski, *Radiacyjna odporność polimerów – na przykładzie polipropylenu*, Tworzywa Sztuczne i Chemia, Nr. 3, str. 22-25 (2009).
- [6] W. Głuszewski, *Zastosowania radiacyjnej modyfikacji polimerów w medycynie*, Materiały Medyczne, 2022, 1, 22, 76-81.
- [7] W. Głuszewski, P. Panta, H. Kubera, *Wpływ promieniowania jonizującego na materiały opakowaniowe*, Opakowanie Nr 9, 433, str. 24 – 26 (2007).

dr inż. Wojciech Jerzy Głuszewski
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej

'25



OMNI
PLAST 2025

Pula nagród:

18 000 PLN

Organizator:



Targi Kielce

exhibition & congress centre

Patron medialny:



tworzywa.pl

Szczegóły na:

WWW.OMNIPLAST.TWORZYWA.PL

ERA PRZEMYSŁOWEGO DRUKU 3D

Przemysłowy druk 3D a produkcja uszczelek – nowoczesne rozwiązania i możliwości

Joanna Walter

Druk 3D staje się coraz bardziej popularny w przemyśle, w tym także w produkcji uszczelek. Dzięki szybkiemu rozwojowi technologii druku 3D, firmom produkcyjnym otwierają się nowe możliwości wytwarzania elementów elastycznych, precyzyjnych i wytrzymałych. W artykule przedstawimy, jak druk 3D – w szczególności druk przemysłowy z użyciem odpowiednich filamentów (polimerów) – może wspierać produkcję uszczelek i jakie korzyści płyną z korzystania z usług druku 3D w tej branży.

Uszczelki są komponentami, które muszą spełniać określone wymagania mechaniczne, wytrzymałościowe oraz użytkowe, ponieważ ich podstawową funkcją jest zabezpieczenie przestrzeni między częściami mechanicznymi przed wyciekami płynów, pyłu czy gazów. Technologia druku 3D pozwala na tworzenie uszczelek o niestandardowych kształtach i wymiarach, bez potrzeby formowania lub skomplikowanej obróbki, co jest szczególnie przydatne przy średnio- i krótkoseryjnej produkcji lub prototypowaniu.

Dzięki drukowi 3D można nie tylko zoptymalizować projekt uszczelek, ale także skrócić czas ich wytwarzania oraz zminimalizować koszty, które w tradycyjnych metodach produkcji mogą być znaczne, zwłaszcza przy małych seriach. Przemysłowy druk 3D umożliwia produkcję uszczelek spełniających specyficzne wymagania klientów z różnych branż, od motoryzacyjnej i budowlanej, aż po farmaceutyczną i spożywczą.

W druku 3D do produkcji uszczelek stosuje się specjalistyczne filamenty o właściwościach, które zapewniają ich elastyczność i wytrzymałość. Kluczowe materiały stosowane w tej dziedzinie to:

- TPU (termoplastyczny poliuretan) – najbardziej popularny filament w produkcji elastycznych uszczelek. TPU charakteryzuje się dużą elastycznością i odpornością na ścieranie, co czyni go idealnym do druku uszczelek o wysokiej wytrzymałości.
- TPE (termoplastyczny elastomer) – zapewnia jeszcze większą elastyczność niż TPU i jest stosowany do uszczelek wymagających dużej giętkości oraz odporności na temperatury.
- Poliamidy (PA6, PA6.6, PA11, PA12) – choć jest mniej elastyczny, sprawdza się w uszczelkach, które muszą być odporne na działanie chemikaliów lub wyższe temperatury.



Wybór odpowiedniego filamentu zależy od wymagań miejsca i środowiska, w którym uszczelka będzie stosowana. Firmy świadczące usługi druku 3D mogą doradzić w wyborze najlepszego materiału w zależności od specyfiki projektu.

Korzystanie z usług druku 3D w produkcji uszczelek posiada wiele zalet, a są to m.in.:

Niższe koszty produkcji krótkoseryjnej i prototypów

Dzięki drukowi 3D firmy mogą produkować małe serie uszczelek na żądanie, bez konieczności ponoszenia kosztów tworzenia formy (narzędzia). W przypadku tradycyjnych metod formowania, produkcja uszczelek w krótkich seriach jest kosztowna, natomiast drukowanie 3D pozwala na elastyczne i ekonomiczne podejście do realizacji nawet pojedynczych sztuk.

Szybkie prototypowanie i skrócony czas wprowadzenia na rynek

Druk 3D umożliwia szybkie przekształcenie projektu uszczelki w fizyczny prototyp, co pozwala na przetestowanie funkcjonalności i wprowadzenie ewentualnych modyfikacji bez dużych nakładów czasowych. Usługi druku 3D oferują możliwość błyskawicznej realizacji zamówienia, co znacznie skraca czas potrzebny na wdrożenie nowych produktów.

Personalizacja i projektowanie złożonych geometrii

Przemysłowy druk 3D pozwala na projektowanie uszczelek o bardzo złożonych kształtach, które trudno byłoby wykonać tradycyjnymi metodami. Dzięki możliwości bezpośredniego druku z pliku CAD możliwa jest pełna personalizacja uszczelki (indywidualizowanie wyrobu), co jest dużym atutem, szczególnie w branżach, gdzie wymaga się precyzyjnych rozwiązań.

Redukcja odpadów i produkcja zgodna z konceptem zrównoważonego rozwoju

Druk 3D jest bardziej przyjazny dla środowiska niż tradycyjne formowanie, ponieważ wytwarza minimalne ilości odpadów. W przypadku produkcji uszczeltek, eliminacja procesu cięcia i obróbki pozwala na znaczne ograniczenie zużycia materiałów.

Usługi druku 3D eliminują koszty związane z formowaniem, co pozwala na ekonomiczną realizację małych serii oraz prototypów. Druk 3D umożliwia szybkie wytwarzanie uszczeltek o nietypowych wymiarach, zgodnych z potrzebami klienta. W sektorach, gdzie uszczelki muszą spełniać rygorystyczne wymagania norm wytrzymałościowych, takie jak motoryzacja czy farmacja, usługi druku 3D oferują dostęp do materiałów o specjalnych właściwościach, takich jak odporność na chemikalia czy wysokie temperatury. Możliwość produkcji na żądanie pozwala firmom zmniejszyć zapasy i magazynowanie uszczeltek, ponieważ mogą one być drukowane w momencie zapotrzebowania.

Choć druk 3D oferuje wiele korzyści, wiąże się też z pewnymi wyzwaniami, jak na przykład wybór odpowiedniego materiału – nie każdy filament nadaje się do produkcji uszczeltek, a jego wybór ma kluczowe znaczenie dla jakości i wytrzymałości produktu. Uszczelki muszą mieć gładką powierzchnię, co czasem wymaga dodatkowej obróbki po druku 3D. Niektóre zastosowania przemysłowe mogą rów-

nież wymagać dokładnego testowania wydrukowanych uszczeltek, aby upewnić się, że spełniają wszystkie wymagania dotyczące szczelności i wytrzymałości. Dzięki korzystaniu z usług profesjonalnych firm zajmujących się drukiem 3D, przedsiębiorstwa mogą być pewne, że każda uszczelka zostanie wydrukowana z wymaganą dokładnością i optymalnie wybranego materiału. Usługi druku 3D pozwalają na indywidualne podejście do każdego zamówienia, a profesjonalni dostawcy mogą doradzić i pomóc w optymalizacji projektu.

Przemysłowy druk 3D otwiera nowe możliwości dla produkcji uszczeltek, oferując elastyczność, szybkość oraz szeroki wybór specjalistycznych materiałów, takich jak TPU i TPE. Korzystanie z usług druku 3D jest świetnym rozwiązaniem dla firm, które potrzebują precyzyjnych, elastycznych uszczeltek bez konieczności inwestowania w kosztowny sprzęt. Dzięki możliwości produkcji na żądanie, personalizacji i optymalizacji kosztów, druk 3D staje się coraz bardziej popularny w tej branży.

Współpraca z profesjonalnymi dostawcami usług druku 3D pozwala na zaspokojenie specyficznych wymagań branżowych, umożliwiając firmom szybsze i bardziej ekologiczne podejście do produkcji uszczeltek. Druk 3D to przyszłość produkcji komponentów elastycznych, którą warto rozważyć w procesie rozwoju każdego nowoczesnego przedsiębiorstwa.

REKLAMA



TURN ON

We provide secret ingredients that turn successful recipes into timeless classics.
GRAFE - Turning Good into Great.

FUTURE IN PLASTICS

turn-on.grafe.com

GRAFE

Separatory jednolite i składane docierarek tarczowych do płaszczyzn

Adam Barylski

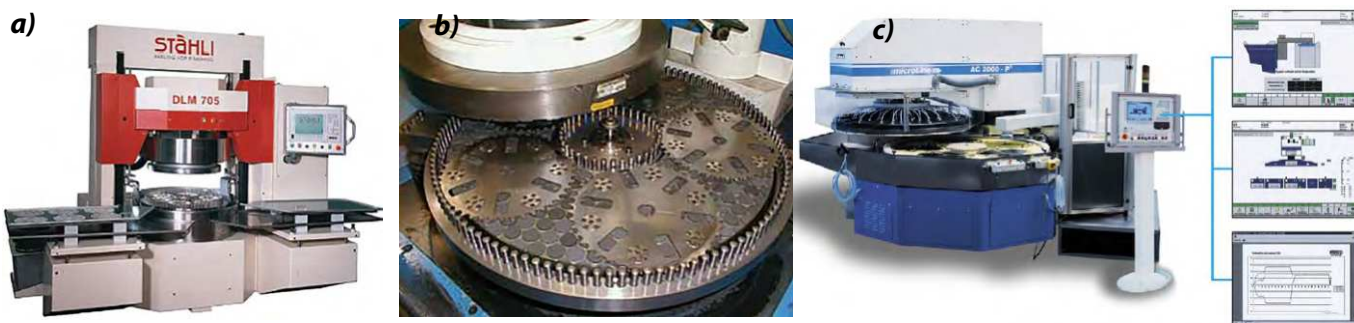
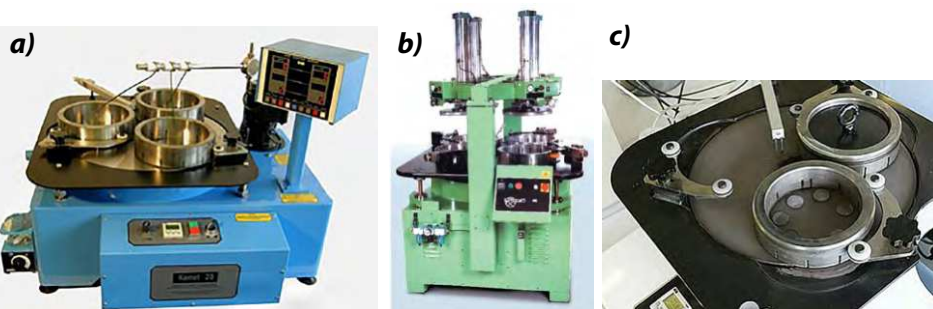
Docieranie, jako ścierna obróbka bardzo dokładna, obejmuje kształtowanie powierzchni elementów wykonanych z materiałów metalowych i niemetalowych, także z ceramiki technicznej i różnego rodzaju kryształów. Nie występują ograniczenia w zakresie gatunku i twardości docieranych materiałów [1,3]. W praktyce produkcyjnej przeważa docieranie maszynowe powierzchni płaskich na obrabiarkach jednotarczowej – z pierścieniowym układem wykonawczym (rys. 1) oraz powierzchni płasko-równoległych na docierarkach dwutarczowych – z obiegowym układem kinematycznym (rys. 2). W każdym z tych przypadków konieczne jest zaprojektowanie i wykonanie odpowiednich separatorów przedmiotowych [2].

Separatory w docierarkach jednotarczowych umieszcza się w pierścieniach prowadzących, będących na wyposażeniu standardowym obrabiarki, zaś w docierarkach dwutarczowych stanowią one jeden z elementów napędowego układu obiegowego. Może być to zarówno napęd kołkowy, jak i zębany (rys. 3), także podczas szlifowania ściernicami (najczęściej segmentowymi) z kinematyką docierania. (rys. 2b i 3a).

Uzębienie ewolwentowe zwiększa cichobieżność napędu. W przypadku napędu kołkowego uzębienie separatorów (typu łańcuchowego) może powodować drgania – szczególnie przy większych podziałkach i małych średnicach, z tego powodu należy stosować podziałkę mniejszą niż 1 in.

W przypadku docierarek dwutarczowych o mniejszych rozmiarach tarcz roboczych (docieraków) stosowany jest napęd zębany separatorów; w obrabiarkach większych jest to zazwyczaj napęd kołkowy. Przykładowo, w docierarkach firmy PR Hoffman (przy średnicach zewnętrznych tarcz docierających od 363 do 485 mm - modele PR-1, 1500 i 1900) stosowane jest uzębienie ewolwentowe (odpowiednio, o liczbie zębów separatora 32, 50 i 85) lub łańcuchowe (przy średnicach tarcz od 798 do 1460 mm – modele 3100, 5400 i 5700) i wtedy liczba zębów wynosi odpowiednio: 60, 100 i 110. Dla przykładu, w docierarce model 3100 i 5400 w separatorach przedmiotowych podziałka zębów wynosi 5/8 in, średnica kołków w pierścieniach układu obiegowego 10,2 mm, minimalny promień wrębu 5,3 mm oraz wysokość zęba ponad średnicę podziałową 3 mm [8].

Rys. 1. Docierarka jednotarczowa do płaszczyzn: a) model 20 (z docięciem obciążnikowym obrabianych elementów) firmy Kemet [5], b) model 48 (z docięciem pneumatycznym) firmy Lapmaster [6], c) rozmieszczenie separatorów w pierścieniach prowadzących - elementy docierane dociążane obciążnikowo [8]



Rys. 2. Docierarka dwutarczowa DLM 705 firmy Stähli (a) i rozmieszczenie separatorów w układzie wykonawczym podczas szlifowania z kinematyką docierania [9] (b) oraz docierarka dwutarczowa AC 2000 firmy Peter Wolters (c) [7]



Rys. 3. Obiegowy układ wykonawczy docieraki dwutarczowej do obróbki powierzchni płasko-równoległych: a) kołkowy [7], b) zębata (1 – tarcza docierająca, 2 – zębata pierścień napędzający, 3 – separator, 4 – nieruchomy pierścień zewnętrzny) [7], c) docieranie dużych elementów cienkościennych - napęd zębata [4]

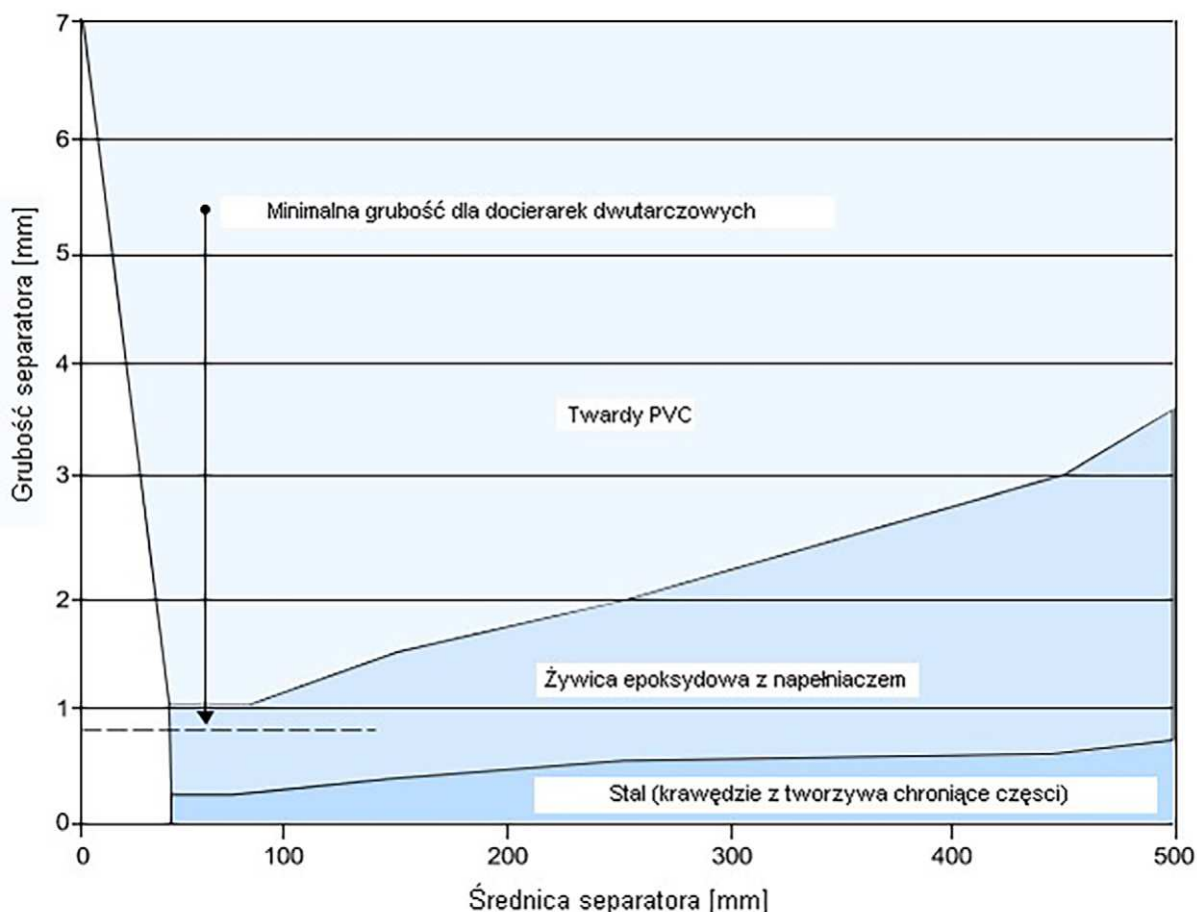
MATERIAŁY NA SEPARATORY

Separator, z oczywistych względów, muszą być niższe od docieranych przedmiotów. Wykonuje się je z:

- blachy stalowej, w przypadku obróbki elementów cienkich. Zwykle grubość takich separatorów wynosi od 0,1 do 3,1 mm. Separator o grubości do 1 mm wykonuje się z wysokiej jakości stali sprężynowych ($R_m > 600$ MPa), odpornych na podwyższone temperatury. Przy grubości separatora poniżej 1 mm należy przeprowadzać hartowanie i następnie szlifowanie. Na separator o dużych średnicach używa się również stali niskostopowych. Przy średnicach 300-600 mm i grubości 2-4 mm są to stale nierdzewne. W przypadku obróbki bardzo cienkich elementów, np. płytek krzemowych i innych wrażliwych części elektronicznych, stosuje się separator stali z odpowiednimi miękkimi wkładkami. Charakterystyczną cechą separatorów stalowych jest ich twardość, płaskość i mała tolerancja grubości;

- materiałów epoksydowych wzmocnionych włóknem szklanym (np. lamitex G-10 lub FR-4). Tworzywa te charakteryzują się względnie dużą wytrzymałością mechaniczną i pożądaną odpornością chemiczną. Pomimo występowania niewielkiego wchłaniania wody, separatory te zachowują odpowiednią płaskość powierzchni ($\pm 0,015$ mm) i małą tolerancję grubości ($+0,02/-0,03$ mm). Można je stosować zarówno w przypadku elementów o niewielkiej grubości, jak i znacznie wyższych (zakres grubości separatorów od 0,25 do 25 mm);
- polichlorku winylu PVC. To tworzywo termoplastyczne, o dobrej wytrzymałości mechanicznej, jest odporne zarówno na kwasy, jak i środowisko zasadowe. Jako materiał stosunkowo tani i odporny na ścieranie oraz dobrze obrabialny ma stosunkowo duże zastosowanie praktyczne (w zakresie grubości od 1,5 do 25 mm, najczęściej: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15 lub 20 mm);
- fenoplastu (phenolic), jako materiału wzmocnionego

Rys. 4. Zakres stosowania wybranych materiałów na separator [13]



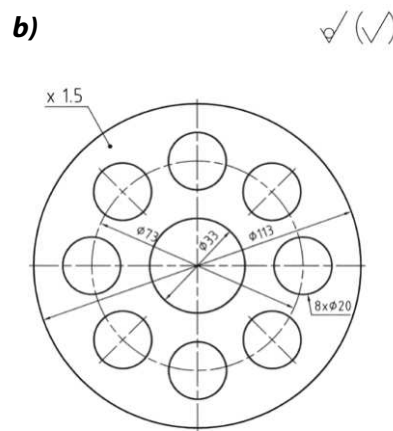
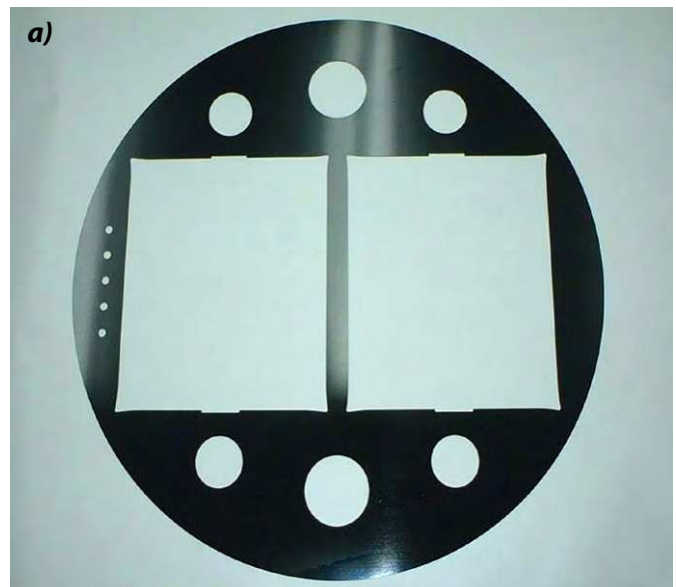
strukturą bawełnianą, o względnie dobrej odporności na zużycie i lepszych właściwościach mechanicznych niż tradycyjne tworzywa polimerowe. Dobrze zastępują one separatory stalowe i z lamitexu w zakresie grubości od 0,3 do 19 mm;

- poliwęglanu (lexan), czyli tworzywa bez włókien wzmacniających, o grubości od 0,5 do 12,7 mm;
- winylu, czyli materiału bardziej miękkiego i zarazem tańszego od lexanu. Stosowany jest zazwyczaj w obrabiarkach o małych średnicach tarcz docierających – w przedziale grubości separatorów od 0,25 do 2 mm.

Najczęściej jednak separatory przedmiotowe dla docierarek tarczowych wykonuje się z tworzyw warstwowych (tekstolitu lub rezoteksu) oraz stali niskowęglowej, żywicy epoksydowej wzmocnionej włóknem szklanym GRP (ang. *glass-reinforced plastik laminate*) lub twardego PVC. Na rys. 4 podano zakres stosowania wybranych materiałów na separatory (średnica i grubość).

KONSTRUKCJA SEPARATORÓW

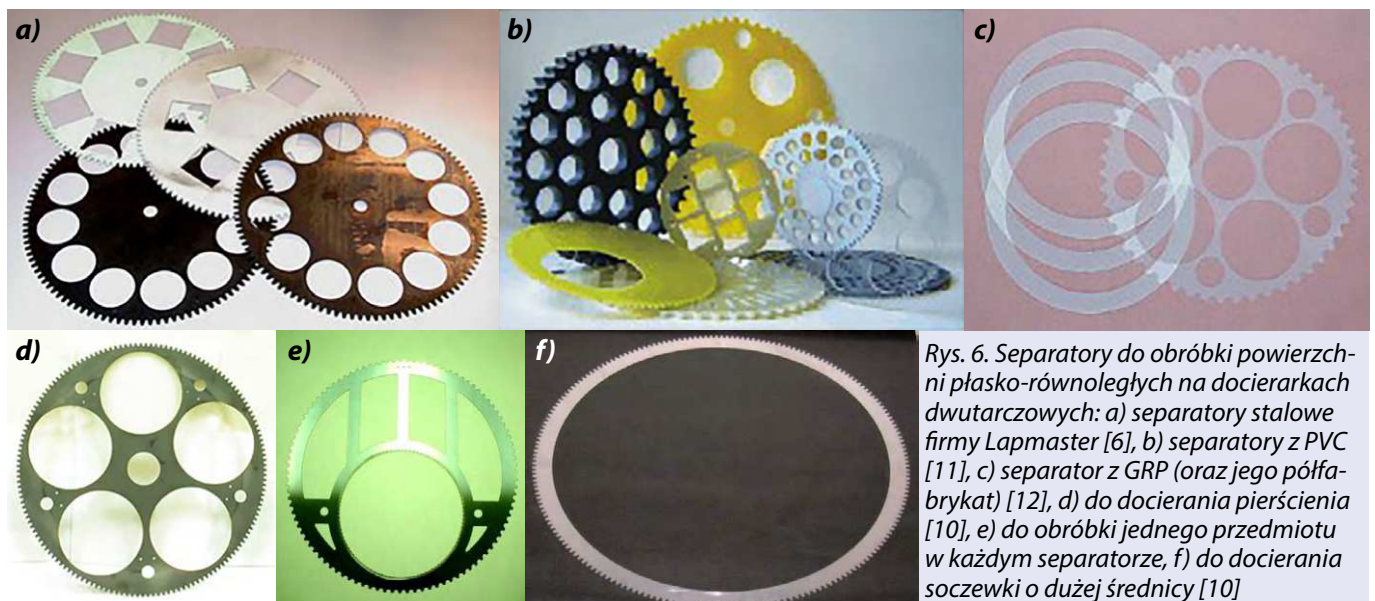
Projektując separatory przedmiotowe do obróbki na docierarkach jedno- i dwutarczowych, należy uwzględnić wymiary i indywidualny zarys docieranych elementów oraz ich wysokość. Stąd wynika między innymi liczba przedmiotów obrabianych jednocześnie na docierarce o określonej średnicy tarczy roboczej. Separatory, z oczywistych względów, muszą być niższe od docieranych przedmiotów. Najlepiej gdy różnica ta wynosi około 1-2 mm. Luz między przedmiotem obrabianym a otworem (gniazdem) osadczym w separatorze nie powinien być większy od 0,5 do 1,5 mm (zależnie od wielkości obrabianych elementów). W przypadku obróbki jednostronnej, odległość pomiędzy przedmiotami a zarysem tarczy docierającej nie powinna być mniejsza niż 6 mm, przy czym w pierwszej kolejności należy rozmieszczać przedmioty w separatorach na jak największej średnicy. Przedmioty o zarysie prostokątnym położone powinny być stycznie lub prostopadle do okręgu współśrodkowego względem środka separatora. Rozmieszczenie na kilku okręgach jest możliwe tylko przy obróbce elementów



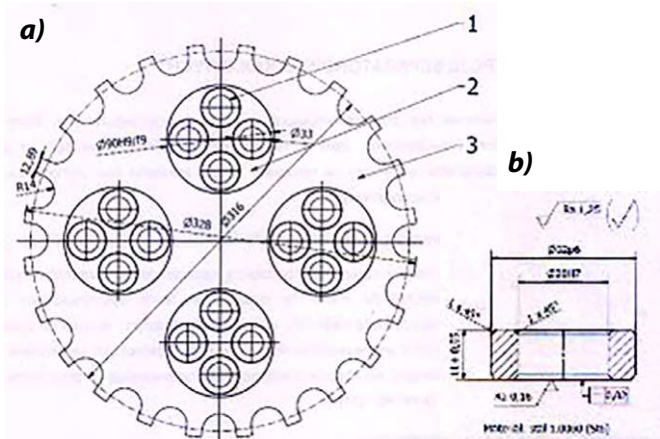
Rys. 5. Separator przedmiotowy do docierania jednostronnego płaszczyzn: a) do obróbki paneli LCD [10], b) z tekstolitu (wycinany laserowo)

Chropowatość powierzchni cięcia $Ra=0.63$

o stosunkowo małych rozmiarach. W przypadku docierarek dwutarczowych rozmieszczenie separatorów w układzie wykonawczym powinno być równomierne, podobnie jak i samych obrabianych przedmiotów w każdym z separatorów. W docieraniu dwutarczowym gniazda na przedmioty powinny być rozmieszczone tak, aby 25-30% powierzchni docieranej miało możliwość wybiegu poza zarys tarczy docie-

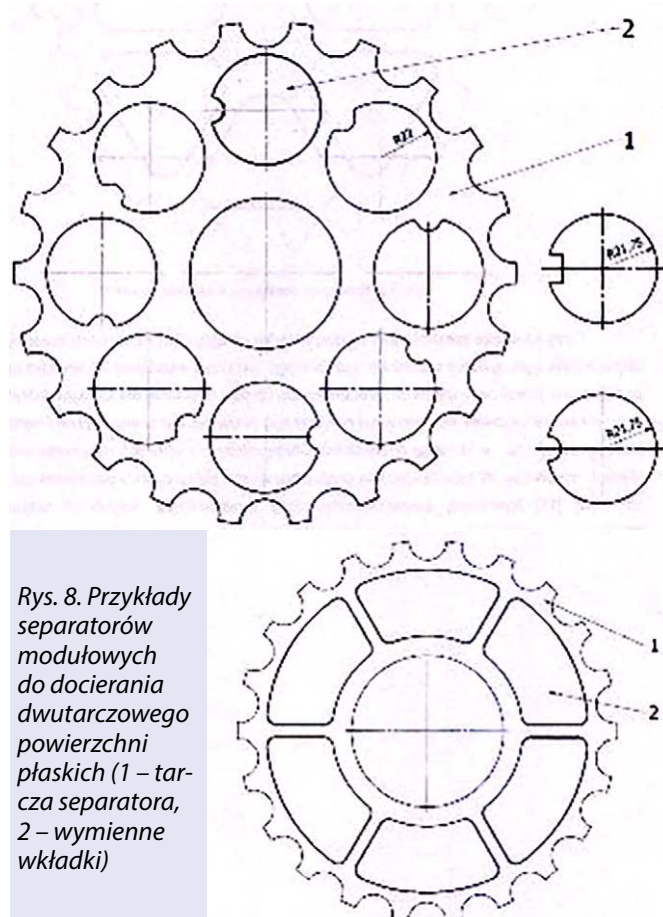


Rys. 6. Separatory do obróbki powierzchni płasko-równoległych na docierarkach dwutarczowych: a) separatory stalowe firmy Lapmaster [6], b) separatory z PVC [11], c) separator z GRP (oraz jego półfabrykat) [12], d) do docierania pierścienia [10], e) do obróbki jednego przedmiotu w każdym separatorze, f) do docierania soczewki o dużej średnicy [10]

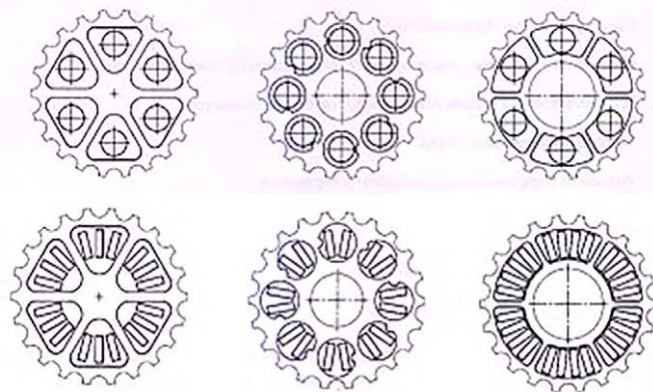


Rys. 7. Separator modułowy docierarki dwutarczowej z możliwością dodatkowego obrotu przedmiotów obrabianych (1 – przedmioty docierane, 2 – wkładka obrotowa, 3 – część uzębiona separatora) (a) i konstrukcja docieranego przedmiotu (b)

rające. W większości docierarek dwutarczowych stosowany jest napęd kołkowy (separator o uzębieniu łańcuchowym), gdyż przeważają tarcze docierające o względnie dużych średnicach zewnętrznych. Liczba separatorów w docierarkach dwutarczowych do płaszczyzn nie może być mniejsza od czterech. Przy docierakach metalowych w obrabiarkach jednotarczowych separatory mogą leżeć bezpośrednio na tarczy roboczej, zaś ich zużycie zależy od masy i rodzaju materiału, z którego są wykonane. Możliwe jest też zastosowanie specjalnych nóżek podnoszących separator lub odpowiednie zawieszenie go na pierścieniu prowadzącym.



Rys. 8. Przykłady separatorów modułowych do docierania dwutarczowego powierzchni płaskich (1 – tarcza separatora, 2 – wymienne wkładki)



Rys. 9. Położenie docieranych elementów w separatorach modułowych

Na rys. 5 przedstawiono przykłady separatorów dla docierarek jednotarczowych (jednostronna obróbka płaszczyzn), zaś na rys. 6 do docierania powierzchni płasko-równoległych (dla docierarek dwutarczowych). Rozwiązanie z rys. 7 umożliwia dodatkowy obrót obrabianych elementów wokół osi specjalnej wkładki, osadzonej w separatorze o uzębieniu łańcuchowym.

Przykłady innych separatorów modułowych zamieszczono na rys. 8 i 9.

UWAGI OGÓLNE

Opracowując konstrukcje separatorów, uwzględnić należy kilka czynników, dotyczących głównie kinematyki obróbki, a więc zapewnienia właściwego stosunku prędkości ekstremalnych w układzie wykonawczym docierarki. Czynniki te mają wpływ na równomierność zużycia tarcz docierających, a więc i w konsekwencji na odchyłki kształtu i równoległości obrabianych powierzchni. Wprowadzenie dodatkowych stołów pomocniczych umożliwia automatyzację wymiany elementów docieranych oraz transport separatorów w gnieździe obróbkowym.

Pomimo iż najczęściej w praktyce produkcyjnej separatory umieszcza się bezpośrednio na powierzchni roboczej tarczy docierającej, należy, dla zmniejszenia ich zużycia i polepszenia warunków rozpraszania dawkowanej zawiesiny



Rys. 10. Wykonywanie separatorów na obrabiarkie wielowrzecionowej [11]

ściernej, rozpatrzyć możliwość wprowadzenia nóżek żeliwnych unoszących separator ponad powierzchnię docieraka, ewentualnie odpowiednio zawiesić separator na pierścieniu prowadzącym. Sytuacja ta jest jednak możliwa jedynie przy docieraniu jednostronnym elementów względnie wysokich.

Z uwagi na podobieństwo konstrukcyjne oraz technologiczne obróbki (głównie przez wycinanie laserowe) celowym jest wykorzystanie w warunkach produkcyjnych technologii grupowej separatorów, szczególnie w przypadku licznego spektrum docieranych elementów. Racjonalnym rozwiązaniem jest też zastosowanie separatorów modułowych lub uniwersalnych, co znacząco zmniejszy koszty magazynowe.

LITERATURA

- [1] Barylski A.: Docieranie powierzchni płaskich na docierarkach. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2013.
- [2] Barylski A.: Konstrukcja separatorów jednolitych i składanych do docierania powierzchni płaskich i walcowych. Technologia i Automatyzacja Montażu, 2015, nr 4, s. 25-29.

- [3] Hashimoto Y., Ozaki R., Furumoto T., Hosokawa A.: A calculation method for workpiece profile variation during double-sided lapping by considering workpiece elastic deformation. Precision Engineering, 2022, vol. 73, s. 457-469.
- [4] Materiały informacyjne firmy Engis.
- [5] Materiały informacyjne firmy Kemet.
- [6] Materiały informacyjne firmy Lapmaster.
- [7] Materiały informacyjne firmy Peter Wolters.
- [8] Materiały informacyjne firmy PR Hoffman.
- [9] Materiały informacyjne firmy Stähli.
- [10] www.asiantp.com
- [11] www.cesfab.com
- [12] www.smtnet.com
- [13] www.somtec.co.uk

Prof. dr hab. inż. Adam Barylski

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Instytut Technologii Maszyn i Materiałów

REKLAMA



Tworzywa Sztuczne
Przemysłe

KATALOG
BRANŻOWY
2025

Już w marcu dostępna
będzie kolejna edycja
katalogu branżowego.
Zapraszamy na naszą
stronę internetową
do zakładki e-katalog.

www.tworzywasztuczne.biz





tworzywa.org

Portal branży tworzyw



www.tworzywa.org | redakcja@tworzywa.org

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

85-758 Bydgoszcz, ul. Przemysłowa 8C

Tworzywa,
które kształtują jutro




PLASTPOL

XXIX Międzynarodowe Targi
Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych i Gumy

20-23 | 05 | 2025

Kielce



plastpol.com



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



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