Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy Wydział Inżynierii Mechanicznej



mgr inż. Krzysztof Królikowski

SEPARACJA MIESZANIN TWORZYW POLIMEROWYCH NA PODSTAWIE RÓŻNICY DWÓCH TWARDOŚCI

Rozprawa doktorska zrealizowana pod kierunkiem Dr hab. Kazimierza Piszczka, prof. nadzw. UTP – w Zakładzie Technologii Polimerów

Zatwierdzam:

Autor jest stypendystą projektu "Krok w przyszłość – V edycja" województwa kujawsko-pomorskiego współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Bydgoszcz, 2018





WOJEWÓDZTWO KUJAWSKO-POMORSKIE UNIA EUROPEJSKA EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY



Składam serdeczne podziękowania dr hab. Kazimierzowi Piszczkowi, prof. nadzw. UTP za promotorski trud i życzliwą opiekę, dr inż. Tomaszowi Żuk za współpracę oraz cenne wskazówki, pracownikom Zakładu Technologii Polimerów i Powłok Ochronnych Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej za życzliwość i stworzenie wspaniałej atmosfery naukowej.

Krzysztof Królikowski

SPIS TREŚCI

| SPIS WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I AKRONIMÓW | 8 |
|---|----|
| WSTĘP | 10 |
| 1. ANALIZA LITERATURY I STANU TECHNIKI | 13 |
| 1.1. Metody separacji tworzyw polimerowych | 13 |
| 1.1.1. Sortowanie ręczne | 13 |
| 1.1.2. Sortowanie automatyczne | 14 |
| 1.1.3. Sortowanie na podstawie różnicy gęstości | 15 |
| 1.1.4. Metoda "pływa-tonie" | 16 |
| 1.1.5. Hydrocyklony | 17 |
| 1.1.6. Wirówki | 18 |
| 1.1.7. Sortowanie przez flotację | 19 |
| 1.1.8. Sortowanie elektrostatyczne | 20 |
| 1.1.9. Separacja metodą selektywnej rozpuszczalności | 23 |
| 1.1.10. Metoda stołu powietrznego | 24 |
| 1.1.11. Separacja na podstawie temperatury topnienia | 26 |
| 1.2. Przegląd patentowy wybranych metod separacji | 27 |
| 1.2.1. Separator hydrauliczny "Multidune" | 27 |
| 1.2.2. Segregacja odpadów ze względu na podatność na zgniatanie | 28 |
| 1.2.3. Separacja grawitacyjna "Hybrid – Jig" | 29 |
| 1.2.4. Separacja na podstawie analizy dźwięków | 30 |
| 1.2.5. Separacja automatyczna z wykorzystaniem znaczników | 30 |
| 1.3. Twardość tworzyw polimerowych | 31 |
| 1.3.1. Metoda Shore'a | 33 |
| 1.3.2. Metoda kulkowa | 33 |

| 2. NOWA METODA SEPARCJI TWORZYW | 35 |
|---|----|
| 2.1. Zgłoszenie patentowe oraz zasada działania separatora igłowego | 35 |
| 2.2. Budowa prototypowego separatora igłowego | 37 |
| 3. HIPOTEZA BADAWCZA I CEL ROZPRAWY | 39 |
| 3.1. Hipoteza badawcza | 39 |
| 3.2. Cele i zakres rozprawy | 39 |
| 3.3. Sposób realizacji celów rozprawy | 39 |
| 4. BADANIA ROZPOZNAWCZE | 42 |
| 4.1. Cele i zakres badań | 42 |
| 4.2. Rodzaje mieszanin badanych – przygotowanie próbek | 42 |
| 4.3. Metodyka badań – ocena efektywności procesu separacji | 43 |
| 4.4. Wyniki i ich omówienie | 44 |
| 4.4.1. Wpływ siły nacisku igieł – etap pierwszy | 44 |
| 4.4.2. Wpływ prędkości obrotowej – etap pierwszy | 45 |
| 4.4.3. Wpływ udziału masowego – etap drugi | 46 |
| 4.4.4. Wpływ warunków termicznych – etap trzeci | 47 |
| 4.5. Podsumowanie wyników badań rozpoznawczych | 49 |
| 5. MODERNIZACJA STANOWISKA BADAWCZEGO | 50 |
| 5.1. Konstrukcja separatora | 50 |
| 5.2. Pomiar siły nacisku oraz wybór kształtu i średnicy igieł | 52 |
| 5.3. Ocena poprawności funkcjonowania zmodernizowanego separatora | |
| igłowego | 55 |
| 5.3.1. Materiały | 55 |
| 5.3.2. Metodyka badań | 56 |
| 5.3.3. Pierwszy etap separacji | 56 |
| 5.3.4. Drugi etap separacji | 57 |
| 5.3.5. Wnioski | 59 |
| 5.4. Wybór i przygotowanie mieszanin do badań zasadniczych | 59 |

| 6. BADAŃIA ZASADNICZE60 |
|---|
| 6.1. Wstęp do planowania eksperymentu60 |
| 6.2. Charakterystyka obiektu badań60 |
| 6.3. Przegląd planów doświadczeń61 |
| 6.4. Wybór planu doświadczeń62 |
| 6.5. Zakresy wartości zmiennych wejściowych - matryca planu badań65 |
| 7. WYNIKI ORAZ OMÓWIENIE BADAŃ ZASADNICZYCH67 |
| 7.1. Cel i zakres badań zasadniczych67 |
| 7.2. Wyniki badań eksperymentu - procesu separacji67 |
| 7.3. Modele matematyczne procesu separacji |
| 7.4. Analiza badań eksperymentu – procesu separacji |
| 7.5. Analiza modeli matematycznych94 |
| 8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE100 |
| LITERATURA104 |
| ZAŁĄCZNIK |

SPIS WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I AKRONIMÓW

| ABS | – terpolimer akrylonitryl-butadien-styren, |
|-----------|--|
| CA | – octan celulozy, |
| CN | – azotan celulozy, |
| D | – odległość między elektrodami, |
| D_{XYZ} | dokładność frakcji danego składnika, |
| D_{ABS} | – dokładność frakcji kopolimeru akrylonitryl-butadien-styren, |
| D_{PE} | – dokładność frakcji polietylenu, |
| D_{PET} | – dokładność frakcji poli(terftalan etylenu), |
| D_{PP} | dokładność frakcji poli(propylenu), |
| D_{PVC} | – dokładność frakcji poli(chlorku winylu), |
| Dy_2O_3 | – tlenek dysprozu (III), |
| E_{XYZ} | – efektywność frakcji danego składnika, |
| E_{ABS} | – efektywność frakcji kopolimeru akrylonitryl-butadien-styren, |
| E_{PE} | – efektywność frakcji polietylenu, |
| E_{PET} | – efektywność frakcji poli(terftalan etylenu), |
| E_{PP} | – efektywność frakcji poli(propylenu), |
| E_{PVC} | – efektywność frakcji poli(chlorku winylu), |
| EP | – żywica epoksydowa, |
| FF | – żywica fenolowo-formaldehydowa, |
| Gd_2O_3 | – gadolinum (III) oxide , |
| L | – elektryzator, |
| LDPE | – polietylen niskiej gęstości, |
| MeF | – żywica melaminowo - formaldehydowa, |
| Ν | – elektroda ujemna, |
| Nd_2O_2 | – tlenek neodymu, |
| Р | – elektroda dodatnia, |
| PA | – poliamid, |
| PA 6.6 | – poliamid 6.6, |
| PA6 | – poliamid 6, |
| PA12 | – poliamid 12, |
| PC | – poliwęglan, |
| PE | – polietylen, |
| PEI | – poliimidoeter, |
| PEO | – poli(tlenek etylenu), |
| PET | – poli(tereftalan etylenu), |

| PF | - żywica fenolowo formaldehydowa, | | |
|----------|---|--|--|
| PMMA | – poli(metakrylan metylu), | | |
| PP | – polipropylen, | | |
| PS | – polistyren, | | |
| PTFE | – politetrafluoroetylen, | | |
| PUR | – poliuretan, | | |
| PVAL | – poli(alkohol winylowy), | | |
| PVC | poli(chlorek winylu), | | |
| PVDC | poli(chlorek winylidenu), | | |
| PW | laminat poliestrowy, | | |
| R | – rozdzielacz, | | |
| RUC | – chlorokauczuk, | | |
| SAN | – styren-akrylonitryl, | | |
| U | – napięcie, | | |
| Y_2O_3 | – tlenek itru (III). | | |
| | | | |

WSTĘP

Dynamiczny i wszechstronny postęp w technologiach wytwarzania, modyfikacji i przetwórstwa polimerów spowodował, że stały się one niezbędnym materiałem do wytwarzania olbrzymiej gamy produktów stosowanych we wszystkich obszarach gospodarki. Materiały polimerowe sprawdziły się jako bardzo dobre zamienniki drewna i metali. Globalna produkcja tworzyw polimerowych w 2014 roku wyniosła 311 mln ton z czego 59 mln ton wyprodukowano w krajach UE, z czego największe ich zużycie odnotowano w przemyśle opakowań (39,5 %), w budownictwie (20,1 %) i motoryzacji (8,6 %) [1]. W konsekwencji powstają duże strumienie materiałów odpadowych o zróżnicowanym składzie i zróżnicowanych właściwościach, wymagające racjonalnego zagospodarowania [2].

Głównym założeniem polityki społecznej i gospodarczej rozwiniętych państw świata jest zrównoważony rozwój stymulujący nowe rozwiązania prawne, naukowe oraz techniczne, którvch celem iest ponowne tworzywowych. zagospodarowanie lub odzysk energii odpadów Z Fundamentem wspólnotowego prawa UE o odpadach była ramowa Dyrektywa 75/442/EEC. Zawarte w niej ustalenia posłużyły do zbudowania całego systemu europejskiego prawa o odpadach w tym tworzyw polimerowych. Następnie została ona zastapiona Dyrektywa 2006/12/WE. Opakowania i odpady opakowaniowe wymagały stworzenia odrębnego aktu prawnego w postaci Dyrektywy 94/62/EC znowelizowanej po dziesięciu latach Dyrektywa 2004/12/WE dotyczącą wszystkich rodzajów opakowań oraz odpadów opakowaniowych bez uwzględnienia opakowań po materiałach niebezpiecznych. Uzyskanie przez Polskę członkostwa w UE wymagało wprowadzenia wytycznych Dyrektywy 2004/12/WE do krajowych regulacji prawnych. Proces harmonizacji przeprowadzono w postaci ustawy o opakowaniach i odpadach opakowaniowych oraz ustawy o obowiazkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami, wraz z licznymi rozporządzeniami wykonawczymi. Ustawy te zostały wielokrotnie znowelizowane. Zgodnie z obowiązującą Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE bedacej ramowym aktem prawa UE w zakresie gospodarki odpadami celem Unii Europejskiej jest kreowanie "społeczeństwa recyklingu" dążącego do "unikania wytwarzania odpadów oraz wykorzystania odpadów jako zasobów". Uchylenie Dyrektywy 2006/12/WE i zastąpienie jej nową Dvrektywa 2008/98/WE podyktowane było wzmocnieniem środków koniecznych do przeciwdziałania powstawaniu odpadów oraz wprowadzeniem stanowiska uwzględniającego cały cykl życia produktów i materiałów, a nie tylko fazy odpadu, a także skupieniu się na zmniejszeniu oddziaływania na środowisko jakie wywiera wytwarzanie i gospodarowanie odpadami. Realizacja tych założeń wymaga optymalizacji systemów zbierania i segregowania odpadów oraz obniżenia kosztów recyklingu, a także utworzenia rynków zbytu dla surowców wtórnych. Znacząco zmieniło się początkowe postrzeganie odpadu jako rzeczy zbędnej, wprowadzono koncepcję cyklu życia odpadu, skupiającą się na możliwości uzyskania korzyści generowanych przez odpady. W obecnym stanie wiedzy w zakresie stosowanych tworzyw oraz stosowanych technologii odzysku odpadów, recykling należy stosować jako metodę preferowaną. Dyrektywa 2008/98/WE dotycząca odpadów stawia recykling w hierarchii metod postępowania z odpadami przed odzyskiem energii. Państwa członkowskie UE aby przybliżyć się do realizacji celu jakim jest europejskie centrum recyklingu, zobowiązane są do 2020 roku zrealizować programy służące ponownemu wykorzystaniu i recyklingowi materiałów polimerowych o udziale wagowym wynoszącym 50 % [3-17].

Istnieje kilka metod postępowania z odpadami tworzywowymi: składowanie, spalanie w celu odzysku energii, ponowne wykorzystanie oraz recykling. Utylizacja tworzyw poprzez składowanie wymaga dużych obszarów oraz znacznych okresów trwania w celu ich degradacji. Produkcja energii poprzez spalanie tworzyw może powodować emisje gazów takich jak tlenki azotu, tlenki siarki, pyły, dioksyny. Obecnie jednym z najważniejszych działań zmniejszenia wpływu tworzyw na środowisko jest recykling, który w ciągu ostatnich dziesięcioleci przyczynił się do zmniejszenia zużycia oleju, emisji zanieczyszczeń. Metody recyklingu dzielą się na recykling mechaniczny (materiałowy) lub chemiczny (surowcowy). Jedną z głównych form zagospodarowania odpadów tworzyw polimerowych w krajach Europy Środkowej jest recykling mechaniczny [2,18-22].

W celu doprowadzenia odpadu do postaci czystego materiału w procesie recyklingu materiałowego niezbędne jest wykonanie szeregu operacji jednostkowych takich jak: oczyszczanie wstępne, sortowanie, rozdrabnianie, mycie, suszenie. Niewątpliwie najbardziej kłopotliwym etapem jest sortowanie (separacja). Sortowanie jest procesem wyodrębniania konkretnych rodzajów tworzyw z ich mieszaniny i jest nierozłącznym etapem recyklingu materiałowego odpadów polimerowych. Konieczność prowadzenia tego procesu wynika z niemieszalności termodynamicznej większości polimerów. Duża różnorodność tworzyw wymusza udoskonalanie obecnych metod oraz poszukiwanie nowych sposobów separacji ponieważ zastosowanie tylko jednej technologii nie pozwala na dokładne rozdzielenie strumienia odpadów. Niezbędne jest więc łączenie różnych technik rozdziału [18,19, 23, 24, 26, 27-30].

Procesy separacji odpadów poużytkowych można podzielić na makroseparację elementów nierozdrobnionych, wykonywaną dość często ręcznie oraz mikroseparację elementów rozdrobnionych do rozmiarów nie większych niż kilka milimetrów, prowadzoną w zautomatyzowanych urządzeniach [31]. Aby rozdział na poszczególne frakcje był możliwy niezbędna jest identyfikacja składników mieszaniny. Urządzenia do automatycznej mikroseparacji wykorzystują różne techniki detekcyjne, takie jak spektroskopia masowa, neutronowa, rentgenowska, bliskiej podczerwieni, fluorescencyjna oraz techniki optyczne i termooptyczne. Inne techniki mikrosortowania zautomatyzowanego wykorzystują różnice właściwości fizycznych mieszaniny takie jak: gęstość, rozpuszczalność, właściwości elektrostatyczne. Do najważniejszych procesów stosowanych w przemyśle należy zaliczyć: separację ręczną, automatyczną separację optyczną, separację z zastosowaniem hydrocyklonów lub szybkoobrotowych wirówek, separację flotacyjną, separację na podstawie różnicy temperatury topnienia, separację metodą selektywnej rozpuszczalności [18, 29, 30, 32-37]. Wybór technologii sortowania zależy od zakładanej skuteczności oraz wydajności separacji mieszanin, kosztów procesu a także wielkości strumienia odpadów [38 - 43].

Mając na uwadze zapotrzebowanie przemysłu recyklingu tworzyw na nowe technologie separacji tworzyw odpadowych, za celowe uznano opracowanie nowatorskiej metody rozdziału mieszanin polimerowych. Takie możliwości stwarza zastosowanie prototypu urządzenia do rozdziału odpadów tworzywowych na podstawie różnicy w twardości. Urządzenie zaprojektowano oraz wykonano we współpracy Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Uniwersytetu Technologiczno - Przyrodniczego z przedsiębiorstwem P.P.H.U. "Weglozłom" Adam Królikowski (zakład zainteresowany wynikami rozprawy).

Brak doniesień literaturowych z zakresu rozdziału tworzyw na podstawie różnicy w twardości oraz pozytywne wyniki badań wstępnych z zakresu rozróżniania tworzyw tą metodą stanowiły podstawę podjętej przeze mnie tematyki rozprawy doktorskiej.

1. ANALIZA LITERATURY I STANU TECHNIKI

1.1. METODY SEPARACJI TWORZYW POLIMEROWYCH

1.1.1. Sortowanie ręczne

Sortowanie ręczne należy do podstawowych sposobów rozdziału tworzyw odpadowych.

Na rys. 1.1 przedstawiono kolejność rozdziału poszczególnych tworzyw w sortowniach ręcznych.



Rys. 1.1. Schemat rozdziału tworzyw podczas sortowania ręcznego [24]

Rozdział poszczególnych rodzajów tworzyw transportowanych podajnikiem taśmowym odbywa się ręcznie na podstawie oceny rozpoznania wizualnego przez pracownika.

Identyfikację ułatwiają symbole umieszczone na wyrobach tworzywowych określające ich rodzaj. Istotny wpływ na dokładność sortowania odgrywają kwalifikacje pracowników sortujących a także osób nadzorujących [32].

Sortowanie ręczne wykorzystywane jest w przypadku odpadów nierozdrobnionych o rozmiarach na tyle dużych, aby można było je wzrokowo identyfikować. Odzyskiwane w ten sposób tworzywa to PE, PP, PVC i PET. Proces ten, z uwagi na konieczność bezpośredniego kontaktu z odpadami jest pracochłonny i kosztowny, a także często charakteryzuje się szkodliwymi warunkami pracy. Odpady z sortowni ręcznych przeznaczane są na wyroby o niewielkich wymaganiach jakościowych [35, 44, 45].

1.1.2. Sortowanie automatyczne

Na rys. 1.2 przedstawiono schemat urządzenia wykorzystywanego podczas automatycznego sortowania optycznego.



Rys. 1.2. Schemat instalacji automatycznego sortowania , opracowanie własne na podstawie [19]

System wykorzystuje wiązkę światła widzialnego do separacji według kształtu, koloru, powierzchni i struktury tworzyw [43]. Urządzenie zbudowane jest z transportera podającego sortowaną mieszaninę. Materiał jest skanowany przez detektory umieszczone nad transporterem, które wysyłają sygnały zawierające informacje o obserwowanym obiekcie. Sygnały te są kierowane do komputera identyfikującego i klasyfikującego poszczególne składniki do odpowiedniej grupy. Następnie, wysyłany zostaje kolejny sygnał z komputera do dysz powietrznych, które za pomocą sprężonego powietrza z dużą precyzją oddzielają wybrane składniki [30]. Stosowane detektory wykorzystują do identyfikacji promieniowanie rentgenowskie (pozwalające uzyskać 99 % efektywność rozdziału butelek PET od PVC), światło spolaryzowane lub promieniowanie UV (bardziej ekonomiczne ale ograniczone do jednowarstwowego skanowania). Do identyfikacji innych rodzajów tworzyw wykorzystuje się detektory wykorzystujące: (a) spektroskopię w podczerwieni (bliską podczerwień, podczerwień w zakresie fal średnich, podczerwień z transformacją Fourier'a); (b) spektroskopię Ramana; (c) spektroskopię plazmy indukowanej laserowo; (d) spektroskopię iskrowa; (e) spektroskopię

fluorescencji rentgenowskiej [30]. Duża czystość otrzymywanych frakcji jest możliwa dzięki pełnej automatyzacji oraz wieloetapowości rozdziału odpadów.

Na rys. 1.3 przedstawiono kolejność rozdziału tworzyw podczas sortowania automatycznego.



Rys. 1.3. Kolejność rozdziału tworzyw podczas sortowania automatycznego [24]

Podczas automatycznego sortowania optycznego możliwy jest rozdział dużych elementów a także wsadu w postaci rozdrobnionej, o rozmiarach części nie mniejszych niż 10 mm. Przed rozdziałem tworzywa odpadowe są myte oraz suszone i dopiero potem transportowane przenośnikiem taśmowym lub płytowym.

Przewagą sortowania automatycznego nad sortowaniem ręcznym jest wydajność, koszty eksploatacji, łatwość obsługi a także, dzięki zwartej konstrukcji urządzenia, mniejsza powierzchnia zajmowana przez sortownię.

1.1.3. Sortowanie na podstawie różnicy gęstości

Sortowanie na podstawie różnicy w gęstości stosuje się w przypadku odpadów rozdrobnionych. Metoda ta nie może być jednak stosowana do rozdziału mieszanin o zbliżonych gęstościach takich jak PE i PP oraz mieszanin PVC i PET. Może być jednak skutecznie stosowana dla mieszanin składających się z poliolefin i z tworzyw o gęstości większej od gęstości wody (np. PVC, PET, ABS). Rozdział poszczególnych tworzyw tą metodą może być utrudniony z uwagi na zawarte w nich składniki dodatkowe wpływające na zmiany gęstości. Innym utrudnieniem jest absorpcja powietrza przez tworzywa powodująca spadek skuteczności procesu sortowania. Stosowanie wody odgazowanej oraz substancji powierzchniowo czynnych zmniejsza napięcie powierzchniowe przyczyniając się do zmniejszenia absorpcji pęcherzyków powietrza [35]. Najważniejsze metody rozdziału na podstawie różnicy gęstości to metoda "pływa – tonie", zastosowanie hydrocyklonów i zastosowanie wirówek

1.1.4. Metoda "pływa – tonie"

W metodzie "pływa – tonie" (ang. "float - sink") stosowany jest zbiornik wypełniony cieczą, której gęstość dobiera się tak, aby była zawarta pomiędzy gęstościami rozdzielanych tworzyw.

Rys. 1.4 przedstawia zbiornik do sortowania odpadów polimerowych metodą "pływa-tonie".



Rys. 1.4. Widok zbiornika stosowanego do rozdziału metodą "pływa-tonie" [47]

Najczęściej stosowanymi roztworami są NaCl, ZnCl₂ lub woda. Rozdziału dokonuje się w wyniku opadania na dno zbiornika tworzyw o większej gęstości przy jednoczesnym wypływaniu na powierzchnię frakcji o mniejszej gęstości. Separację wieloskładnikowych mieszanin o różnych gęstościach prowadzi się stosując szeregowe połączenie zbiorników zawierających ciecze o różnych gęstościach. Taki układ umożliwia skuteczny rozdział mieszanin PP ($\rho = 0.91$ g/cm³), HDPE ($\rho = 0.96-1.1$ g/cm³), PS ($\rho = 1.1$ g/cm³), i PVC ($\rho = 1.4$ g/cm³) [14, 32].

Zaletą tej metody jest przede wszystkim prostota urządzenia oraz wstępne oczyszczenie rozdzielanej mieszaniny tworzyw w wyniku dokonywanego przed procesem mielenia i rozcierania na mokro.

Do głównych wad należy zaliczyć: czasochłonność, ze względu na długi czas retencji, konieczność kontrolowania procesu, w tym gęstości cieczy pod wpływem zmiany temperatury otoczenia lub odparowywania wody, konieczność zapewnienia jednakowej wielkości elementów poszczególnych składników mieszaniny, odpowiednie nawilżenie tworzywa zapobiegające flokulacji, niska skuteczność rozdziału składników o zbliżonych gęstościach, możliwość zanieczyszczenia cieczy w zbiorniku przez rozdzielaną mieszaninę pozostałościami po etykietach.

1.1.5 Hydrocyklony

W hydrocyklonach (rys. 1.5) do rozdziału wykorzystywane są różnice gęstości oraz siły odśrodkowej pozwalające na separację rozdrobnionych mieszanin tworzyw polimerowych.



Rys. 1.5. Schemat budowy hydrocyklonu : 1 - korpus hydrocyklonu, 2 - zakończenie stożkowe, 3 - dysza wlotowa, 4 - dysza wylotowa, 5 - dysza wylewowa [48]

Urządzenia te zbudowane są z cylindrycznego korpusu (1), zakończenia stożkowego (2) oraz dyszy włotowej (3), dyszy wylotowej (4) i dyszy wylewowej (5). Przez dyszę (3), wprowadza się pod ciśnieniem do hydrocyklonu, odpady tworzywowe zmieszane z cieczą o określonej gęstości. Wewnątrz wytwarzany jest wir przemieszczający się w stronę zakończenia stożkowego hydrocyklonu (2). W wyniku działania siły odśrodkowej cząsteczki o większej masie skierowane zostają ku ścianie bocznej, a następnie przemieszczają się ku dołowi, gdzie odprowadzane zostają na zewnątrz przez dyszę (5). W pobliżu wylotu dolnego wir zmienia kierunek przepływu w wyniku zjawiska dławienia, porywając lżejsze cząstki i kierując je do dyszy (4) umieszczonej w górnej części urządzenia. Następuje rozdział mieszaniny na dwie frakcje o różnych gęstościach [18, 29, 30].

Zaletami hydrocyklonów są: duża szybkość sedymentacji, szybki rozdział i duża wydajność, możliwość regulowania gęstości obu frakcji przez zmianę szybkości przepływu cieczy, możliwość rozdziału w szerokim zakresie wielkości ziarna, prosta konstrukcja urządzenia (brak części ruchomych), łatwość łączenia w układy równoległe (multihydrocyklony).

Do wad należy zaliczyć: możliwość rozdziału mieszaniny tylko na dwie frakcje, brak możliwości rozdziału tworzyw o zbliżonej lub jednakowej gęstości, konieczność zapewnienia jednakowej wielkości elementów poszczególnych składników mieszaniny, szybkie zużywanie się dysz.

1.1.6. Wirówki

Stosowana do rozdziału mieszanin tworzyw wirówka pozioma została przedstawiona na rys. 1.6.



Rys. 1.6. Wirówka pozioma : 1 - obudowa, 2 - kołnierz, 3 - rura doprowadzająca, 4 - transportery ślimakowe [49]

Wirówka ma obudowę (1) wykonaną na kształt dwóch stożków połączonych szerokim kołnierzem (2). Wewnątrz obudowy (1) umieszczona jest osiowo rura (3) doprowadzająca mieszaninę tworzyw oraz zespół transporterów ślimakowych (4) o różnych wymiarach uzwojeń. Transportery odpowiadają za odprowadzanie rozdzielonych frakcji.

Proces rozdziału odbywa się podobnie jak w hydrocyklonach dzięki wytwarzanej sile odśrodkowej. Rozdrobniona mieszanina tworzyw doprowadzana jest do wnętrza wirówki częściowo wypełnionej wodą. Duża prędkość obrotowa wytwarzana przez ruchome części wirówki powoduje mycie oraz rozdział tworzywowej mieszaniny na dwie frakcje z których cięższa opada na dno, a lżejsza utrzymuje się na powierzchni wody. Podczas usuwania każdej z frakcji następuje ich odwodnienie do zawartości wody od 2 % - 5 % mas. [18, 29, 30].

Główne zalety wirówek to: duża wydajność, mała ilość wody w obiegu, mała powierzchnia zajmowana przez wirówkę, dokładne usuwanie zanieczyszczeń z powierzchni tworzywa.

Do wad należy zaliczyć: brak możliwości rozdziału tworzyw o zbliżonej lub jednakowej gęstości, rozdział mieszaniny tylko na dwie frakcje o różnych gęstościach.

1.1.7. Sortowanie prze flotację

Technika flotacji pianowej wykorzystuje właściwości hydrofilowe oraz hydrofobowe składników mieszaniny.

Schemat procesu rozdziału mieszaniny polimerowej metodą flotacji przedstawiono na rys. 1.7.



Rys. 1.7. Sortowanie metodą flotacji na przykładzie mieszaniny ABS i HIPS [50]

W procesie tym zawiesina wodna zostaje napowietrzona co powoduje przyleganie pęcherzyków powietrza do powierzchni cząstek hydrofobowych, które unoszą się na powierzchni tworząc pianę. Jednocześnie składniki hydrofilowe ulegają zwilżeniu opadając na dno zbiornika. Zróżnicowane zachowanie elementów hydrofilowych oraz hydrofobowych w napowietrzonej mieszaninie wodnej powoduje rozdział jej składników. Skuteczne sortowanie metodą flotacyjną wymaga wprowadzenia do cieczy środków flotacyjnych takich jak depresory, aktywatory i zbieracze oraz środków pianotwórczych [29,30,50]. Przed procesem odpady tworzywowe są rozdrabniane na drobne cząstki a następnie mieszane z wodą.

Metodę tą można stosować do rozdziału wielu rodzajów mieszanin dwuskładnikowych. Głównie wykorzystuje się ją do rozdziału mieszanin terpolimeru akrylonitryl-butadien-styren (ABS) i wysokoudarowego polistyrenu (HIPS) oraz układów składających się z tych materiałów. Proces ten jest również wykorzystywany do oddzielenia składników mieszaniny PET/PVC, których nie można rozdzielić tradycyjnymi metodami sortowania ze względu na zbliżone wartości ciężaru właściwego tych tworzyw. Uzyskiwana wysoka wydajność separacji skutkuje wykorzystywaniem flotacji do rozdziału tworzyw polimerowych w stacjach demontażu pojazdów oraz firmach zajmujących się recyklingiem urządzeń poużytkowych np. elektroniki [30,51].

Główną zaletą flotacji jest duża uniwersalność ze względu na możliwość sortowania wielu rodzajów mieszanin tworzyw polimerowych. Wadami tego procesu jest ograniczenie rozdziału tylko do mieszanin dwuskładnikowych (rozdział na frakcję hydrofilową i hydrofobową) a także duża ilość wody odpadowej oraz jej zanieczyszczenie środkami powierzchniowo czynnymi.

1.1.8. Sortowanie elektrostatyczne

Mieszaniny polimerowe można skutecznie rozdzielać w wyniku separacji elektrostatycznej.

Rysunek 1.8 przedstawia przykład szeregu tryboelektrycznego składającego się z osiemnastu tworzyw polimerowych powszechnego użytku.

Rys. 1.8. Szereg tryboelektryczny tworzyw polimerowych, opracowanie własne na podstawie [52]

Zestawienie uwidacznia sposób transferu ładunków poszczególnych par tworzyw. Z rys. 1.8 wynika, że w trakcie tryboelektryzowania dowolnej pary tworzyw zawierającej PTFE (przyjmującego ładunek ujemny), na drugim tworzywie z pary będzie zawsze generowany ładunek dodatni [52,53].

W metodzie tej wykorzystywane jest zjawisko zróżnicowanej przenikalności elektrycznej rozdzielanych tworzyw, która jest pośrednią miarą zdolności danego tworzywa do gromadzenia na swojej powierzchni ładunku elektrostatycznego w wyniku jego tarcia z innym tworzywem. Ładunek generują elektrony przechodzące z jednego materiału do drugiego. Wielkość ładunku zgromadzonego na powierzchni polimeru zależy o rodzaju tworzywa a efekty elektryzowania zależą od położenia, jakie w szeregu tryboelektrycznym zajmują dwa wzajemnie elektryzujące się materiały [33,34,36,37].

Separacja tworzyw odpadowych z wykorzystaniem właściwości elektrostatycznych rozdzielanych składników mieszaniny, składa się z trzech etapów. W pierwszym etapie mieszanina rozdrabniana jest na elementy o wymiarach nie przekraczających kilku milimetrów. Etap drugi polega na elektryzowaniu elementów mieszaniny w mieszalnikach walcowych, przenośnikach potrząsalnych, lub złożu fluidyzacyjnym metodą kontaktowo tarciową, czego efektem jest powstawanie ładunków elektrycznych na powierzchni elementów mieszaniny. Powstawanie ładunków elektrycznych jest następstwem styków powierzchni dwóch ciał stałych i zachodzi wskutek ich wzajemnego tarcia w wyniku ślizgania, toczenia, udaru, wibracji lub deformacji przez co ładunki skupiają się w miejscach powstających naprężeń. Proces nazywany jest ładowaniem tryboelektrycznym lub tryboładowaniem i osiąga największą skuteczność dla tworzyw znajdujących się na przeciwnych końcach szeregu tryboelektrycznego (rys. 1.8). W etapie trzecim następuje rozdział mieszaniny w silnym polu elektrostatycznym w zależności od wielkości oraz biegunowości ładunku elektrostatycznego zgromadzonego na powierzchni separowanych tworzyw [52,54].

Podczas przeprowadzenia trzeciego etapu wykorzystywane są różnego rodzaju separatory. Najczęściej stosowane są dwie grupy separatorów: separatory swobodne lub separatory z wirującą elektrodą walcową.

Separator swobodny (ang. free fall electrostatic separator), którego schemat przedstawiono na rys. 1.9 stanowi przykład najprostszego separatora. Jego podstawowe elementy konstrukcyjne to: rozdzielacz (R) zbudowany z dwóch równoległych, pionowych (lub pochylonych) elektrod (P) i (N) w postaci metalowych płyt znajdujących się w odległości (d), pomiędzy którymi wytwarzane jest pole elektrostatyczne pod wpływem napięcia stałego o wartości (U) i elektryzator (L) wraz z funkcją dozowania naelektryzowanej mieszaniny. Naelektryzowane w elektryzatorze (L) elementy mieszaniny odchylane są w strefie rozdzielacza w kierunku odpowiednich elektrod, po czym wpadają do pojemników ze składnikiem A, B lub z mieszaniną A+B [52,54].



Rys. 1.9. Schemat funkcjonalny separatora elektrostatycznego: L – elektryzator, N – elektroda ujemna, P – elektroda dodatnia, R – rozdzielacz, d – odległość między elektrodami, A - pojemnik ze składnikiem A, B – pojemnik ze składnikiem B, AB – pojemnik z mieszaniną A+B [52]

Innym przykładem jest separator z wirującą elektrodą walcową, którego schemat wraz z zasadą działania przedstawiono na rys. 1.10.



Rys. 1.10. Schemat funkcjonalny separatora walcowego: 1 – elementy metali, 2 – elementy tworzyw, 3 – przenośnik taśmowy, 4 – elektroda walcowa, 5 – elektroda jonizacyjna, 6 – warstwy zjonizowanego powietrza, 7 – elektroda odchylająca, 8 – rakiel zgarniający [52]

Separator tego typu może być stosowany zarówno do rozdziału mieszaniny tworzyw od cząstek metali jak i rozdziału mieszanin tworzywowych. Jedną z elektrod stanowi uziemiony, wirujący walec metalowy. Druga elektroda (wysokonapięciowa), w zależności od zastosowania, może mieć postać pręta, płaskownika, kształtownika w kształcie walca lub elipsy. Rozdrobniona mieszanina metalu (1) i tworzyw (2) dostarczana jest transporterem (3) na powierzchnię elektrody walcowej (4). Nad elektrodą walcową znajduje się elektroda (5) jonizacyjna tworzona przez cienki drut podłączony do źródła wysokiego napiecia. Elektroda (5) generuje tzw. wyładowania koronowe powodujące jonizację warstwy powietrza (6) znajdującego się nad elektrodą (4), co w następstwie powoduje powstawanie elektronów i jonów elektryzujących elementy mieszaniny (1) i (2). Ładunki elementów (1) wykazujących dużą przewodność elektryczna są odprowadzane przez elektrodę uziemiona (4), podczas gdy ładunki elementów (2) odznaczających się mała przewodnościa pozostają na ich powierzchni. W konsekwencji siła odśrodkowa działająca na elementy (1) powoduje ich odrzucanie z powierzchni elektrody (4) natomiast elementy (2) przywierają do jej powierzchni. Zastosowanie wysokonapięciowej elektrody odchylającej (7) powoduje powstawanie pola elektrostatycznego między elektrodami (4) i (7), które indukuje ładunki elektrostatyczne w elementach mieszaniny (1) odchylając ich trajektorię lotu. Elementy (2) są zgarniane z powierzchni elektrody (4) za pomoca noża lub szczotki (8). Zastosowanie metody wykorzystującej zjawisko elektryzowania za pomocą wyładowań koronowych znajduje szczególne zastosowanie, gdy podstawowym celem rozdziału jest odzysk cząstek metalu podczas separacji mieszaniny tworzywowo – metalowej [52,54 - 57].

Efektywność separacji elektrostatycznej uwarunkowana jest od wielu czynników, wśród których do najważniejszych zalicza się czystość powierzchni, zawartość wilgoci oraz jednorodność pod kątem zawartości plastyfikatorów i innych dodatków rozdzielanej frakcji tworzywa.

1.1.9. Separacja metodą selektywnej rozpuszczalności

Rozdział ta metoda jest możliwy dzięki selektywnej rozpuszczalności poszczególnych składników mieszaniny odpadów tworzywowych. Wykorzystanie odpowiedniego rozpuszczalnika powoduje rozpuszczenie danego polimeru, a tym samym usunięcie go z mieszaniny. Dobór rozpuszczalnika oraz stała kontrola temperatury prowadzonego procesu sortowania mają decydujący wpływ na efektywność rozdziału. Metodą tą mieszaniny wieloskładnikowe za pomoca jednego można sortować rozpuszczalnika, wykorzystując różnicę temperatur rozpuszczania poszczególnych składników. Przykładem może tu być mieszanina PS/PE/PP/PVC, której składniki rozpuszczają się kolejno, wraz ze wzrostem temperatury rozpuszczalnika. W przypadku rozdziału PVC i PET stosuje się

mieszaninę rozpuszczalników, w której PVC rozpuszcza się w temperaturze niższej niż PET [14,17].

Zaletami tej metody są: niska pracochłonność, możliwość rozdziału tworzyw o zbliżonej, a nawet identycznej gęstości, brak różnicy we właściwościach chemicznych i funkcjonalnych pomiędzy polimerem pochodzącym z recyklingu a tworzywem pierwotnym.

Zasadniczą wadą, która sprawia, że metoda ta jest rzadko stosowana, jest obecność często toksycznych rozpuszczalników wpływających niekorzystnie na stan środowiska naturalnego. Zwiększa to koszt sortowania ze względu na konieczność utylizacji substancji szkodliwych [29,30].

1.1.10. Metoda stołu powietrznego

Do suchych metod rozdziału należy separacja z wykorzystaniem stołu powietrznego. Schemat laboratoryjnego stołu powietrznego przedstawia rys. 1.11.



Rys. 1.11. Schemat funkcjonalny laboratoryjnego stołu powietrznego, opracowanie własne na podstawie [59]

Urządzenie składa się ze zbiornika, podajnika wibracyjnego i płyty podkładu połączonej z napędem wytwarzającym drgania wzdłużne. Od spodu płyty dostarczany jest strumień powietrza. Zbiornik zbiorczy umieszczony jest obok końca wylotowego i składa się z trzech przedziałów rozmieszczanych na podstawie obserwacji. Płyta podkładu w kształcie trapezu wykonana jest z drewna oraz posiada perforację tworzoną przez okrągłe otwory zajmujące łączną powierzchnię 11,8 %. Średnica otworów wynosi 0,06 mm i jest mniejsza od średnicy najmniejszej czastki mieszaniny. Istotnym elementem konstrukcyjnym płyty jest szereg ramion o wysokości 7 mm i umieszczonych równolegle do kierunku wibracji. Boki podkładu mogą być regulowane poprzecznie oraz wzdłużnie pod różnym katem, tak jak pokazano na rys. 1.12. Za regulację nachylenia boku, końca podkładu, częstotliwości drgań oraz przepływ powietrza odpowiada kontroler umieszczony w pobliżu podkładu [58,59].

Podczas pracy wibracje wzdłużne oraz strumień powietrza skierowany w górę powodują rozłożenie mieszaniny na całej powierzchni jednocześnie wymuszając osadzanie cząstek o większej gęstości na podłożu, podczas gdy cząstki o mniejszej gęstości unoszone są tworząc warstwę wierzchnią. Frakcja o mniejszej gęstości zbierana jest w lewej części pojemnika, natomiast o większej gęstości po prawej stronie.



Rys. 1.12. Schemat ideowy zasady działania stołu powietrznego, opracowanie własne na podstawie [58]

Metoda separacji z wykorzystaniem stołu powietrznego jest odpowiednia do rozdziału tworzyw różniących się gęstością nie mniejszą niż 450 kg x m⁻³. Zaletą metody są małe koszty zakupu urządzenia oraz jego eksploatacji a także brak zużycia wody i środków chemicznych, co powoduje, że ten proces jest przyjazny dla środowiska [58,59].

1.1.11. Separacja na podstawie temperatury topnienia

Warunkiem koniecznym, jakie musi spełnić mieszanina tworzyw rozdzielana tą metodą, jest wyraźna różnica pomiędzy temperaturą topnienia jej składowych. Rozdział następuje w wyniku przylegania nadtopionego tworzywa o niższej temperaturze topnienia do metalowych elementów urządzenia sortującego, na których transportowana jest mieszanina tworzyw (rolki, taśmy). Składniki mieszaniny, o wyższej temperaturze topnienia, nie przywierają do tych elementów i spadają do odpowiedniego pojemnika.

W metodzie wykorzystuje się różną adhezję tworzyw i metali w różnych zakresach temperatury. Zaletą tej metody jest możliwość rozdziału mieszanin wieloskładnikowych. Osiąga się to przez zastosowanie zespołu taśm o coraz to wyższej temperaturze, zgodnie z temperaturą topnienia poszczególnych składników. Dodatkową zaletą jest niski koszt rozdziału oraz prosta konstrukcja stosowanych urządzeń. Dużą skuteczność sortowania uzyskuje się transportując rozdzielane tworzywa w pojedynczej warstwie [60].

1.2. PRZEGLĄD PATENTOWY WYBRANYCH METOD SEPARACJI

1.2.1. Separator hydrauliczny "Multidune"

Separator Multidune (rys. 1.13a i 1.13b) ma postać hydraulicznego kanału umożliwiającego sortowanie cząstek stałych w oparciu o zróżnicowane mechanizmy transportowe.



Rys. 1.13. Schemat ideowy separatora hydraulicznego "Multidune": a) rzut aksonometryczny, I1 – I8 – dysze włotowe, O1 – O8 – dysze wylotowe, R1 – R8 –dysze zbierające; b) rzut boczny, C1-C8 - komory [61]

Aparatura Multidune jest skonstruowana z sekwencji ośmiu równolegle ułożonych rur o średnicy 30 mm przedzielonych i połączonych powierzchnią boczną wzdłuż płaszczyzny środkowej w taki sposób, że dolne połowy są przesunięte względem górnych (rys. 1.13a). Aparat zbudowany jest z przezroczystego tworzywa polimerowego (Posplex) umożliwiającego obserwację wizualną. Naprzemienny układ dolnych i górnych połówek rur powoduje występowanie przestrzeni w których występują okresowo zmienne duże przyspieszenia przepływającego płynu (najczęściej wody) oraz strefy recyrkulacji o małej prędkości przepływu, które ułatwiają oddzielenie stałego materiału w postaci zawiesiny. Na rys. 1.13b osiem komór jest oznakowanych zgodnie z ich pozycjami wzdłuż kierunku przepływu (C1 – pierwsza komora, C8 – ostatnia komora). Przepływ cieczy zachodzi wzdłuż osi cylindrycznych rur przez otwory włotowe umieszczone po jednej stronie i przez wyłoty umieszczone po przeciwnej stronie. Pierwsza komora kanału ma osiem okrągłych dysz włotowych (rys. 1.13a, dysze I1 - I8). Ostatnia komora kanału ma osiem dysz wyłotowych (rys. 1.13a dysze O1 - O8) ustawionych symetrycznie do dysz włotowych. Odpady zebrane w postaci osadu w dolnych częściach kompleksu odprowadzane są poprzez dysze zbierające (R1 – R8). Każda komora wyposażona jest w system rozładowania do oddzielania zebranego materiału. Ujście każdego z wyjść oraz dysz systemu rozładowania wyposażone jest w zawór [61,62].

Zasilanie urządzenia zapewnia zbiornik z regulacją wysokości położenia. Wyjście zbiornika podzielone jest w taki sposób aby dostarczyć wodę do ośmiu wejść wlotowych. Poziom wody w zbiorniku jest kontrolowany przez wyjście przelewowe. Wewnątrz aparatu utrzymywane jest stałe natężenie przepływu. Mieszaniny tworzyw wprowadzane są przez dysze wlotowe I3 oraz I4. Natężenie przepływu zależy od układu sterowania dyszami wlotowymi oraz od liczby otwartych dysz wylotowych [61,62].

1.2.2. Segregacja odpadów ze względu na podatność na zgniatanie



Prototyp urządzenia do segregacji odpadów przedstawia rys. 1.14.

Rys. 1.14. Prototyp separatora tworzyw ze względu na podatność na zgniatanie [63]

Sposób separacji tworzyw ze względu na podatność na zgniatanie polega na porównaniu wysokości odpadu tworzywowego przed strefą zgniotu z wysokością mierzoną w strefie zgniotu. Pomiar wysokości obiektu w obydwu strefach dokonywany jest przez dalmierz laserowy w trakcie przemieszczania obiektu. Uzyskane dane trafiają do jednostki sterującej porównującej uzyskane informacje z każdej ze stref a następnie klasyfikującej dany odpad do wybranej klasy. Gdy wartość pomiaru wysokości w strefie pomiarowej jest większa od wartości w strefie zgniotu, obiekt klasyfikowany jest jako "miękki", w sytuacji odwrotnej odpad klasyfikowany jest jako "twardy". Sposób ten umożliwia rozdział np. opakowań ze szkła od opakowań z tworzyw polimerowych [64].

1.2.3. Separacja grawitacyjna "Hybrid - Jig"

Na rys. 1.15 przedstawiono schemat laboratoryjnego urządzenia o nazwie Tacub.



Rys. 1.15. Schemat rozdziału metodą "Hybrid – Jig" [65]

Nowa metoda separacji stanowi połączenie metody grawitacyjnej i flotacyjnej. Autorzy pracy [65] opracowali przyrząd o nazwie "Tacub", który jest skuteczny w oddzielaniu cząstek tworzywowych o podobnym ciężarze właściwym i zróżnicowanych właściwościach powierzchni. Podczas opadania mieszaniny tworzyw w roztworze wodnym, pęcherzyki powietrza absorbowane są na powierzchni cząstek hydrofobowych, powodując ich unoszenie na powierzchnię. Pęcherzyki powietrza kierowane są rurą napowietrzającą od spodu warstwy tworzyw [65]. Różnice w hydrofobowości tworzyw powodują selektywne rozdzielanie mieszaniny na warstwy. Z górnej warstwy odzyskiwane są tworzywa o największych właściwościach hydrofobowych.

1.2.4. Separacja na podstawie analizy dźwięków

Metoda opisywana min. w polskim zgłoszeniu patentowym [68] do rozpoznawania obiektów przestrzennych, wykorzystuje analizę dźwięków tych obiektów poddanych deformacji mechanicznej. Według [68] może być wykorzystana do identyfikacji wszelkiego rodzaju obiektów przestrzennych, zwłaszcza zużytych przedmiotów wykonanych z tworzyw polimerowych takich jak PET, PVC, LDPE, PP, PS. Sposób według wynalazku obejmuje porównanie svgnału akustycznego każdego identyfikowanego obiektu podczas odkształcania mechanicznego z modelem akustycznym otrzymanym na podstawie analizy obiektów wzorcowych wielu typów materiałów. Urządzenie sortujące składa się z komory odkształcenia, układu mechanicznego, co najmniej jednego przetwornika elektroakustycznego, zespołu zapisu sygnału akustycznego i jednostki przetwarzania danych. Przez odkształcenie mechaniczne należy rozumieć dowolny rodzaj oddziaływania na określony obiekt ze zmiana lub bez jego objętości czy też kształtu, kolizji z pewną barierą względem ruchu obiektów oraz kruszeniem, co skutkuje uzyskaniem sygnału akustycznego deformowanego przedmiotu [65-68].

1.2.5. Separacja automatyczna z wykorzystaniem znaczników



Na rys. 1.16 przedstawiono sposób identyfikacji tworzyw oparty na wykrywaniu śladów fluorescencji rentgenowskiej.

Rys. 1.16. Sposób identyfikacji tworzyw za pomocą znaczników [70]

Sposób separacji tą metodą polega na tym, że podczas wytwarzania wyrobów z tworzyw polimerowych dodaje się odpowiednie substancje (znaczniki), które w procesie sortowania zostają rozpoznane przez detektor XRF. System sterujący sortuje odpady według rozpoznanych znaczników. Znacznikami mogą być niektóre tlenki metali ziem rzadkich takie jak Y_2O_3 , CeO₂, Nd₂O₃, Gd₂O₃, Dy₂O₃ dodane w ilości 100-1000 ppm. Metoda ta jest szczególnie przydatna do wykrywania i identyfikacji tworzyw z sektora motoryzacji oraz sprzętu elektronicznego, których rozdział z uwagi na czarny kolor jest utrudniony innymi metodami sortowania automatycznego [69,70].

1.3. TWARDOŚĆ TWORZYW POLIMEROWYCH

Pojęcie twardości w odniesieniu do tworzyw polimerowych określa się za pomocą oporu, jaki stawia materiał, gdy wciska się w jego powierzchnię pionowo odpowiedni wgłębnik, stosując naciski tak wielkie aby powstało odkształcenie trwałe. Odcisk powstający pod wpływem wybranego obciążenia jest sumą odkształceń plastycznego i sprężystego, które w tworzywach polimerowych mogą być większe niż u wielu metali. Po zdjęciu obciążenia następuje stosunkowo szybki powrót poodkształceniowy odcisku w zakresie odkształcenia sprężystego. Przebieg powrotu poodkształceniowego może być wykorzystywany w seryjnych pomiarach do dodatkowej charakterystyki materiału lub przybliżonej oceny modułu sprężystości. Istnieje pewna współzależność twardości i wytrzymałości na rozciąganie. W przypadku tworzyw o module sprężystości większym od 2500 MPa można przyjąć, że doraźna wytrzymałość na rozciąganie stanowi w przybliżeniu 35 % jego twardości [71,72,74,75].

Metody badania twardości materiałów polimerowych można podzielić na metody stosowane do:

- tworzyw w stanie szklistym i plastomerów do których wykorzystuje się metodę kulkową, Brinella (twardość HB), Rockwella (twardość HR), Barcola
- tworzyw w stanie wysokoelastycznym i elastomerów oraz tworzyw bardzo miękkich z wykorzystaniem metod: Shore'a, IRH, Shoppera, Jonesa i Schiltknechta [74].

Wszystkie metody dotyczą pomiaru twardości warstwy przypowierzchniowej polimeru. Warstwa powierzchniowa polimerów krystalizujących ma często mniejszą twardość niż ich warstwy wewnętrzne [75]. Pomiar twardości plastomerów najczęściej przeprowadza się metodą kulkową, stosując kulkę o średnicy d = 5mm. W przypadku tworzyw miękkich (elastomerów) stosuje się metodą Shore'a [71].

Twardość tworzyw wielkocząsteczkowych (tab. 1.1) leży przeciętnie w dolnym rejonie drugiej ćwiartki 10 - stopniowej skali Mohsa, według której pierwszy stopień twardości odpowiada twardości talku, a dziesiąty twardości diamentu. Wywołane odkształcenia są głównie wysokoelastyczne (powrotne opóźnione), kasujące się tym szybciej, im wyższa jest temperatura [71].

| Grupa | Tworzywo | HK, N/mm ² |
|-------|----------|-----------------------|
| | LDPE | 20 |
| III | PVC | 20-40 |
| | HDPE | 30-60 |
| II | PP | 50-90 |
| | PA 12 | 60-120 |
| | CA | 90-100 |
| | PS | 70-130 |
| | PA6 | 80-130 |
| | PW | 100-110 |
| | PVC | 110-130 |
| Ι | PA 6.6 | 130-160 |
| | SAN | 150-190 |
| | PS | 170-190 |
| | PMMA | 170-200 |
| | PF | 190-210 |
| | EP | 170-350 |
| | FF | 200-500 |
| | MeF | 300-500 |

Tabela 1.1. Twardość kulkowa HK tworzyw wielkocząsteczkowych w temp. 20°C, opracowanie własne na podstawie [71]

Z twardością związana jest w pewnym stopniu właściwość zwana odpornością na zarysowanie lub podatność na zacieranie. Od twardości tylko częściowo zależy utrzymanie chropowatości powierzchni uformowanego tworzywa podczas jego użytkowania. Tworzywa o dużej twardości takie jak PS i PMMA, podobnie jak szkło, zachowują rysy powstałe podczas użytkowania i dlatego jakość ich powierzchni pogarsza się. W przypadku ABS zachodzi zjawisko zacierania powstałych zadrapań. Twardość zmniejsza się ze wzrostem temperatury, wilgotności materiału a zwiększa ze wzrostem stopnia krystaliczności. Twardość zależy także od grubości próbki oraz rodzaju podłoża na jakim dokonywany był pomiar. Twardość, chociaż nie stanowi stałej materiałowej i nie służy do obliczeń wytrzymałościowych, jednak ze względu na prostotę wyznaczania bez niszczenia tworzywa jest często wybieraną metodą do porównywania tworzyw oraz podczas kontroli jakości wyrobu [71,75].

Twardość jest trudna nie tylko do zdefiniowania, ale także do zmierzenia. Jest to jeden z ilościowych parametrów materiałowych, który może być zdefiniowany tylko za pomocą dokładnej specyfikacji metody pomiarowej. Twardość może być określana poprzez zarysowanie, szlifowanie, wciskanie [76].

Oprócz twardości określa się również mezotwardość zwaną mikrotwardością warstwy wierzchniej [72]. O mikrotwardości mówi się wówczas, gdy obciążenie wgłębnika nie przekracza wartości 2 N. Pomiar dokonywany jest metodą Vickersa. Polega na zagłębianiu diamentowego ostrosłupa o kącie wierzchołkowym 136° w płaską powierzchnię próbki pod obciążeniem P działającym w czasie (np. 60 s). Mezotwardość mHV oblicza się ze wzoru:

$$mHV = \frac{72728 \,\mathrm{P}}{(a_1 + a_2)^2} \tag{1.1}$$

gdzie:

a₁ i a₂ oznaczają długości przekątnych odcisku ostrosłupa w tworzywie wyrażone w μm.

Mikrotwardość pozwala uzyskać wartość twardości warstwy wierzchniej tworzywa z pominięciem oddziaływań sprężystych. Pomiar twardości Vickersa wykorzystuje się niekiedy do określenia stopnia krystaliczności lub chłonności wody przez PA [71,72,74-77].

1.3.1. Metoda Shore'a

Metoda Shore'a - polega na zagłębianiu w badane tworzywo stalowego wgłębnika (iglicy kołowej) z zakończeniem w kształcie ściętego stożka lub z zakończeniem stożkowym z końcówką kulistą pod naciskiem 10 lub 50 N i pomiarze oporu stawianego przez tworzywo podczas zagłębiania się w nim iglicy. Zagłebienie sie wgłebnika określa miekkość. Opór mierzy się po upływie 3 sekund za pomocą sprężyny o znormalizowanej charakterystyce stanowiącej podstawową część twardościomierza. Twardość jest odwrotnie proporcjonalna do zagłębienia iglicy. Wyraża się ją w umownych jednostkach twardości od 0 do 100. Zero jednostek odpowiada największemu zagłębieniu iglicy (równemu 2,50 \pm 0,04 mm) i twardości najmniejszej, natomiast 100 jednostek brakowi zagłębienia i twardości największej. Do wyrażenia wartości ta metodą należy wielkość zagłębienia wgłębnika odjąć od stałej twardości umownej przyjętej jako 100. Twardość Shore'a wyraża się więc w stopniach przy czym twardość tworzyw twardych (np. PS), w których pod naciskiem sprężyny nie występuje żadne zagłębienie wynosi 100 Sh. W zależności od nacisku sprężyny i kształtu wgłębnika rozróżnia się skalę a do tworzyw miękkich oraz C i D do tworzyw twardszych. Podając twardość danego tworzywa trzeba zawsze podawać skale, np. dla polietylenu twardość może wynosić 88 Sh C lub 53 Sh D [71-74,78-81].

1.3.2. Metoda kulkowa

Metoda stosowana jest dla tworzyw twardych (plastomerów) o twardości $8,6 - 467,2 \text{ N/mm}^2$. Polega na wciskaniu kulki stalowej o średnicy 5 mm

w próbkę o grubości 4 mm na początku pod obciążeniem $P_o = 9,81$ N a następnie pod obciążeniem całkowitym P = 49, 132, 358 lub 961 N tak, aby kulka równomiernie zagłębiła się w tworzywo na głębokość h_o. Po 5 sekundach ustawia się czujnik w położeniu zerowym, po czym równomiernie przykłada obciążenie całkowite P tak aby uzyskać jego wartość po czasie od 2 do 3 sekund. Obciążenie wybiera się przy tym tak aby zagłębienie kulki w próbce zawarte było w granicach 0,15 < h < 0,35 mm. Aby uwzględnić w przeprowadzanym pomiarze odkształcenia sprężyste wielkość h odczytuje się utrzymując dodatkowo zadane obciążenie przez 30 s po wywołaniu obciążenia pełnego. Twardość kulkową HK wyrażoną w MPa lub N/mm² oblicza się ze wzoru :

$$HK = \frac{0.21 \text{ P}}{\pi dh_0 (h - h_0 + 0.21)}$$
(1.2)

Wzór 1.1 po podstawieniu wartości stałych π oraz d, a także przyjmując za $h_0 = 0.25$ mm przyjmuje postać:

$$HK = \frac{0,0535 \text{ P}}{h - 0,04} \tag{1.3}$$

W metodzie kulkowej twardość tworzyw zawiera się w granicach od 20 MPa (N/mm²) dla PE-LD do 300÷500 MPa (N/mm²) dla MF [71-75,82-86].

2. NOWA METODA SEPARACJI TWORZYW

2.1. ZGŁOSZENIE PATENTOWE ORAZ ZASADA DZIAŁANIA SEPARATORA IGŁOWEGO

Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury z zakresu metod separacji tworzyw polimerowych, a także na podstawie badania stanu techniki wykazano, że brak jest metody separacji tworzyw na podstawie różnicy ich twardości. Po wykonaniu wstępnych prób różnicowania tworzyw w zależności od ich twardości zastrzeżono w Urzędzie Patentowym nowy sposób oraz urządzenie do separacji mieszanin tworzyw polimerowych.

Na rys. 2.1 przedstawiono schemat urządzenia zastrzeżonego zgłoszeniem patentowym [87].



Rys. 2.1. Schemat urządzenia zastrzeżonego zgłoszeniem patentowym: 1 – lej zasypowy, 2 – transporter, 3 – układ grzewczy, 4 – walec górny układu rozdzielającego, 5 – walec dolny układu rozdzielającego, 6 – zgarniacze, 7 – pojemnik na tworzywo o mniejszej twardości, 8 – pojemnik na tworzywo o większej twardości, opracowanie własne [87]

Urządzenie wyposażone jest w specjalnie wyprofilowany lej zasypowy (1) rozprowadzający mieszaninę tworzyw na całej szerokości taśmy transportującej (2). Transporter wyposażony jest w układ grzewczy (3). Taśma wprowadza rozdzielaną mieszaninę tworzyw na walec dolny (5). Igły walca górnego (4) przebijają tworzywo o mniejszej twardości. Walce obracają się w przeciwnych kierunkach z tą samą prędkością obrotową w sposób umożliwiający ciągłe pobieranie cząstek mieszaniny. Igły na walcu górnym rozmieszczone są

w rzędach. Pomiędzy rzędami igieł znajdują się elementy układu zgarniającego (6) w postaci płaskowników wygiętych w kształt półkolisty umieszczonych w bliskiej odległości od powierzchni tego walca w sposób umożliwiający zgarnianie cząstek tworzywa zatrzymanych na igłach. Układ zgarniający wyposażony jest dodatkowo w płytę kierującą oddzielone tworzywo do pojemnika (7). Składniki mieszaniny o większej twardości zbierane są w pojemniku (8). W przypadku mieszanin zawierających więcej niż dwie frakcje składników rozdział następuje w kolejnym systemie walców wyposażonym w igły o większej sile nacisku. W miarę potrzeby rozdział można prowadzić w temperaturze otoczenia lub w temperaturze podwyższonej [87].

Na rys. 2.2. przedstawiono budowę układu rozdzielającego.



Rys. 2.2. Układ rozdzielający separatora: 1- walec górny przebijający, 2 – walec dolny transportujący, 3 – igły, 4 – gumowy cylinder, 5 – stalowy cylinder, 6 – otwory odpowiadające punktom styku igieł, opracowanie własne [87]

Walec górny (1) wyposażony jest w igły (3) o odpowiednim profilu umożliwiającym przebicie oraz zaczepienie tworzywa w sposób umożliwiający oderwanie elementów tworzyw przez układ zgarniaczy. Metalowa powierzchnia walca transportującego (2) jest pokryta tworzywem elastomerowym i zawiera otwory (6) odpowiadające punktom styku igieł walca górnego. W metalowych ścianach walca górnego znajdują się otwory do suwliwego umieszczenia igieł przebijających. Takie wykonanie korpusu walca zabezpiecza igły przed
wyginaniem podczas przebijania tworzywa. We wnętrzu walca górnego osadzony jest gumowy cylinder (4) otaczający mniejszy stalowy cylinder (5) przymocowany wraz z cylindrem gumowym do ścian bocznych zewnętrznego (2). Igły osadzone są na gumowym cylindrze. Siłę nacisku, z jaką igły mogą oddziaływać na rozdzielaną mieszaninę, można regulować zmieniając ciśnienie gazu wprowadzanego do cylindra gumowego [87].

2.2. BUDOWA PROTOTYPOWEGO SEPARATORA IGŁOWEGO

Badania rozpoznawcze separacji prowadzono na prototypowym stanowisku badawczym "Separator igłowy" przedstawionym na rys. 2.3a i 2.3b.



Rys. 2.3. Prototypowe stanowisko badawcze – Separator igłowy: a) rzut boczny, b) rzut z góry, konstrukcja własna

Szerokość taśmy transportera wynosi 150 mm. Prędkość obrotowa regulowana jest od 2 min⁻¹ do 20 min⁻¹. Zakres regulacji siły nacisku igieł wynosi od 10 N/mm² do 225 N/mm². W zgłoszeniu patentowym transporter jest osobnym urządzeniem który przekazuje tworzywa na walec dolny. W konstrukcji wykorzystanej w badaniach rozpoznawczych taśma transportująca pracuje na walcu dolnym. Takie rozwiązanie przyczynia się do płynniejszej pracy układu rozdzielającego. Budowę separatora opisano w pracach [28, 87].

Układ rozdzielający separatora tworzą walce o średnicy 192 mm. Walec górny (rys. 2.4) posiada trzy rzędy igieł (po 46 w każdym rzędzie) o średnicy 0,55 mm. Odległość między igłami wynosi 14 mm, odległość między rzędami 12 mm. Igły rozmieszczone są na przemian.



Rys. 2.4. Walec górny układu rozdzielającego, konstrukcja własna.

3. HIPOTEZA BADAWCZA I CELE ROZPRAWY

3.1. HIPOTEZA BADAWCZA

W wyniku przeprowadzonego studium literaturowego, analizy stanu techniki a także na podstawie zrealizowanych badań własnych sformułowano następującą hipotezę badawczą: różnicę twardości materiałów można skutecznie wykorzystać do rozdziału zmieszanych tworzyw polimerowych. Przypuszcza się, że skuteczność rozdziału zależy od siły nacisku igieł, prędkości obrotowej układu rozdzielającego oraz temperatury mieszaniny rozdzielanej.

Wykorzystanie twardości tworzyw polimerowych do ich separacji jest nowatorskim rozwiązaniem zastrzeżonym zgłoszeniem patentowym na sposób oraz urządzenie do separacji mieszanin tworzyw polimerowych. Stwierdzono, że w źródłach literaturowych brak jest informacji o separacji tworzyw polimerowych tą metodą.

3.2. CELE I ZAKRES ROZPRAWY

Głównymi celami poznawczymi rozprawy są:

- szczegółowa analiza stanu wiedzy z zakresu poznanych metod separacji oraz dokonanie zgłoszenia patentowego nowej metody rozdziału,
- przeprowadzenie badań eksperymentalnych, (rozpoznawczych i zasadniczych),
- opracowanie modeli matematycznych badanych obiektów (mieszanin dwuskładnikowych),
- weryfikacja osiągnięcia założonego celu poprzez sprawdzenie spełnienia kryterium skuteczności.

Cele utylitarne rozprawy obejmują budowę prototypowego stanowiska badawczego – separatora igłowego oraz sprawdzenie poprawności jego działania, a także określenie warunków prowadzenia separacji dzięki którym będzie można przeprowadzić badania eksperymentalne według założonego modelu badań.

Eksperymentalna weryfikacja hipotezy badawczej prowadzona będzie w warunkach eksperymentu laboratoryjnego w wyniku badań zasadniczych procesów separacji dwuskładnikowych mieszanin PP, PE, PVC, PET, ABS. Badania będą realizowane zgodnie z planem eksperymentu. Jako zmienne wejściowe procesu separacji przyjęto: siłę nacisku igieł, prędkość obrotową układu rozdzielającego, temperaturę rozdzielanej mieszaniny.

3.3. SPOSÓB REALIZACJI CELÓW ROZPRAWY

W celu realizacji rozprawy doktorskiej przeprowadzono analizę literatury z zakresu metod separacji tworzyw polimerowych oraz rozpoznanie aktualnego stanu techniki związanego z tematyką rozprawy. Wnioski sformułowane na podstawie tej analizy oraz przeprowadzonych badań własnych były podstawą do zastrzeżenia w Urzędzie Patentowym nowego sposobu oraz urządzenia do separacji mieszanin tworzyw polimerowych na podstawie różnicy w twardości. Przeprowadzone działania dały podstawę do sformułowania hipotezy rozprawy oraz określenia celów i zakresu badań eksperymentalnych.

Kolejnym etapem była budowa prototypowego separatora igłowego według zgłoszenia patentowego. Następnie dokonano oceny poprawności funkcjonowania prototypowego separatora igłowego na podstawie serii badań rozpoznawczych procesu dla dwóch rodzajów mieszanin PP/PS oraz PP/ABS. Wyniki separacji posłużyły do wyznaczenia zakresu modernizacji separatora igłowego. Po wykonaniu modernizacji sprawdzono poprawność działania stanowiska badawczego.

Badania eksperymentalne wykonano dzieląc je na trzy etapy:

- etap pierwszy obejmował ocenę poprawności działania prototypu separatora igłowego na podstawie badań rozpoznawczych procesu separacji. Przeprowadzone badania dostarczyły informacji o zakresie modernizacji tego separatora.
- etap drugi obejmował sprawdzenie poprawności działania zmodernizowanego stanowiska badawczego.
- w etapie trzecim, po przygotowaniu planu badań zasadniczych w oparciu o teorię planowania eksperymentu, wykonano badania zasadnicze przy użyciu zmodernizowanego separatora igłowego.

Następnie opracowano modele matematyczne badanych obiektów przy wykorzystaniu oprogramowania STATISTICA 10 (StatSoft Polska). W końcowej części rozprawy przedstawiono wnioski poznawcze i utylitarne, wynikające z przeprowadzonych badań.

Zestawienie etapów rozprawy doktorskiej przedstawiono na rys. 3.1. Stanowiska badawcze zostały wytworzone na terenie zakładu firmy "Węglozłom" Adam Królikowski. Badania zostały częściowo sfinansowane w ramach projektu "Krok w przyszłość – stypendia dla doktorantów V edycja" realizowanych na podstawie umowy zawartej między wymienioną Firmą a Uniwersytetem Technologiczno-Przyrodniczym w Bydgoszczy.



Rys. 3.1. Program badań i analiz własnych.

4. BADANIA ROZPOZNAWCZE

4.1. CELE I ZAKRES BADAŃ

Podstawowym celem przeprowadzenia badań rozpoznawczych było:

- sprawdzenie poprawności funkcjonowania prototypowego stanowiska badawczego - separatora igłowego,
- zbadanie wpływu zmiennych procesowych takich jak: siła nacisku igieł, prędkość obrotowa pary walców, warunki termiczne, udział masowy mieszaniny na efekty separacji,
- zdobycie praktycznej wiedzy i umiejętności niezbędnych do prawidłowego zaplanowania i wykonania badań zasadniczych,
- uzyskanie wiedzy technicznej w celu określenia zakresu modernizacji separatora igłowego.

Badanie wpływu zmiennych procesowych na efekty separacji przeprowadzono w trzech etapach. Podczas pierwszego etapu badano wpływ siły nacisku igieł oraz prędkości obrotowej pary walców. W etapie drugim badano udział masowy mieszaniny. W etapie trzecim badano wpływ warunków termicznych.

4.2. RODZAJE MIESZANIN BADANYCH - PRZYGOTOWANIE PRÓBEK

Materiał badawczy we wszystkich trzech etapach stanowiły dwuskładnikowe mieszaniny tworzyw powstałe z pocięcia płyt o grubości 2 mm do postaci kwadratów o wymiarach ok. 19 mm x 19 mm. Podczas pierwszego etapu rozdzielano mieszaniny PP/PS o udziale masowym 50/50 % o twardości 68 °Sh D (polipropylen) oraz 85 °Sh D (polistyren). Tę samą mieszaninę wykorzystano w drugim etapie lecz o zmiennych udziałach masowych poszczególnych składników mieszaniny, co przedstawia tab. 4.1.

Tabela 4.1. Skład mieszanin, % wag.

| Symbol Skład | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| РР | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| PS | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |

W etapie trzecim separowano mieszaniny polipropylenu (PP) o twardości 68 °Sh D oraz akrylonitrylu-butadien-styren (ABS) o twardości 81 °Sh D o udziale masowym 50/50 %.

4.3. METODYKA BADAŃ - OCENA EFEKTYWNOŚCI PROCESU SEPARACJI

W celu przeprowadzenia badań pierwszego etapu posłużono się wielkościami stałymi procesu wyznaczonymi na podstawie przeprowadzonych badań własnych. Wpływ siły nacisku igieł na efekty procesu separacji badano przy stałej prędkości obrotowej 12 min⁻¹, natomiast wpływ prędkości obrotowej układu walców przy stałej sile nacisku igieł 150 N/mm². W etapie drugim zastosowano wielkości stałe ustalone w pierwszym etapie. Masa mieszaniny próbek badanych w pierwszym i drugim etapie w wynosiła 600g w etapie trzecim 400g. Proces prowadzono w temperaturze otoczenia 24 °C. Porcje mieszanin wsypywano kolejno do leja zasypowego rozdzielacza i włączano napęd urządzenia. W etapie trzecim mieszaninę ogrzewano do temperatury z przedziału 30 - 90 °C.

Kryteria oceny definiowano jako:

- dokładność separacji składnika XYZ określoną zależnością:

$$D_{XYZ} = \frac{m_{XYZ}}{m_{FXYZ}} \cdot 100\% \tag{3.1}$$

gdzie:

XYZ – symbol danego składnika mieszaniny,

m_{XYZ} -masa składnika znajdującego się we frakcji z dominującym udziałem tego składnika,

m_{FXYZ}- całkowita masa frakcji z dominującym udziałem składnika XYZ;

- efektywność separacji składnika XYZ określoną zależnością:

$$E_{XYZ} = \frac{m_{XYZ}}{m_{MXYZ}} \cdot 100\% \tag{3.2}$$

gdzie:

m_{XYZ} - masa składnika XYZ znajdującego się we frakcji z dominującym udziałem tego składnika,

m_{MXYZ} - masa składnika XYZ znajdującego się w mieszaninie poddawanej separacji.

Separację składników mieszanin prowadzono z wykorzystaniem prototypowego separatora igłowego, którego budowę oraz zasadę działania opisano w dziale drugim. Rozdział mieszanin na poszczególne strumienie materiałowe następował w układzie dwóch walców roboczych (walca transportującego oraz przebijającego). Płytki mieszaniny o mniejszej twardości w analizowanym rozdzielaczu wychwytywane były przez specjalnie wyprofilowane igły zamontowane na walcu przebijającym. Odseparowane strumienie materiałowe odprowadzane były do dwóch pojemników, jednego dla frakcji z dominującym udziałem polimeru twardszego, drugi z dominującym udziałem polimeru o mniejszej twardości. Po zakończonym teście ważono otrzymane frakcje oraz, po ręcznym wydzieleniu, udział pozostałości PS w PP i pozostałości PP w PS a także ABS w PP i PP w ABS.

Warunkiem koniecznym do uzyskania wyników badań przedstawionych wzorem (3.1) i (3.2) było zapewnienie pojedynczej warstwy tworzywa przekazywanej transporterem do układu rozdzielającego separatora.

4.4. WYNIKI I OMÓWIENIE

4.4.1. Wpływ siły nacisku igieł – etap pierwszy

Wyniki badań wpływu siły nacisku igieł na efekty separacji mieszanin PP/PS przedstawiono na rys. 4.1 oraz 4.2.



Rys. 4.1. Wpływ siły nacisku igieł na dokładność rozdziału PP (D_{PP}) i PS (D_{PS})



Rys. 4.2. Wpływ siły nacisku igieł na efektywność rozdziału PP (EPP) i PS (EPS)

Z przeprowadzonych badań separacji mieszanin PP/PS wynika, że największą efektywność (E_{PP} , E_{PS}) oraz dokładność (D_{PP} , D_{PS}) wynoszącą 100 % w przypadku obydwu składników mieszaniny, uzyskano przy sile nacisku igieł równej 150 N/mm². Dalszy wzrost siły nacisku, powodował nieznaczne zmniejszenie tej wartości. Spowodowane jest to z zaczepianiem twardszych elementów PS na igłach walca rozdzielającego w wyniku czego elementy o większej twardości przenoszone były do pojemnika z miękkimi cząstkami PP. Z powodu niewystarczającej siły wywieranej przez groty igieł na separowanych elementach, przy wartości siły nacisku igieł wynoszącej od 50 – 100 N/mm² zaobserwowano małą dokładność rozdziału w przypadku frakcji PS. W efekcie tego cząstki PP o mniejszej twardości trafiały do pojemnika z PS.

4.4.2.Wpływ prędkości obrotowej – etap pierwszy

Wyniki badań wpływu prędkości obrotowej na efekty separacji mieszanin PP/PS przedstawiono na rys. 4.3 oraz 4.4.



Rys. 4.3. Wpływ prędkości obrotowej na dokładność rozdziału PP (D_{PP}) i PS (D_{PS})



Rys. 4.4. Wpływ prędkości obrotowej na efektywność rozdziału PP (E_{PP}) i PS (E_{PS})

Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że największą dokładność oraz efektywność separacji mieszanin PP/PS uzyskano przy prędkości obrotowej 12 min⁻¹. Dalszy wzrost prędkości powodował zmniejszenie dokładności oraz efektywności separacji. Prawdopodobnie spowodowane było to drganiami powstającymi na taśmie podczas szybkiego przechodzenia igieł po rozdzielanych elementach mieszaniny przez co niektóre elementy mieszaniny nie trafiały na igły rozdzielające. Innym powodem mogło być przemieszczenie elementów PS na PP w wyniku czego miękkie elementy PP zostały zasłonięte twardszymi elementami PS, uniemożliwiając zaczepienie na igłach.

4.4.3.Wpływ udziału masowego – etap drugi

Wyniki badań wpływu składu mieszanin PP/PS na efekty separacji przedstawiono na rys. 4.5 oraz 4.6.



Rys. 4.5. Wpływ składu mieszanin na dokładność rozdziału PP (D_{PP}) i PS (D_{PS})



Rys. 4.6. Wpływ składu mieszanin na efektywność rozdziału PP (E_{PP}) i PS (E_{PS})

Z uzyskanych wyników separacji mieszanin PP/PS o różnych udziałach masowych nie zauważono wyraźnych zależności wpływu składu ilościowego poszczególnych frakcji na efekty separacji dlatego zależność ta nie będzie badana w kolejnych etapach. Wartości (E_{PP}, E_{PS}) i (D_{PP}, D_{PS}) , w zależności od rodzaju mieszaniny, różniły się maksymalnie o 0,7 %.

4.4.4. Wpływ warunków termicznych – etap trzeci

Wyniki badań wpływu temperatury ogrzewania mieszanin PP/ABS na efekty separacji przedstawiono na rys. 4.7 - 4.10.



Rys. 4.7. Przebieg zmian dokładności wydzielania składnika A (ABS) z mieszaniny PP/ABS w funkcji temperatury wsadu przy różnej wartości sił nacisku igieł roboczych



Rys. 4.8. Przebieg zmian efektywności wydzielania składnika A (ABS) z mieszaniny PP/ABS w funkcji temperatury wsadu przy różnej wartości sił nacisku igieł roboczych



Rys. 4.9. Przebieg zmian dokładności wydzielania składnika P (PP) z mieszaniny PP/ABS w funkcji temperatury wsadu przy różnej wartości sił nacisku igieł roboczych





Prowadząc rozdział mieszaniny PP/ABS w temperaturach ogrzewania od 30 °C do 70 °C przy zastosowaniu siły nacisku igieł 100 N/mm² uzyskano wartości dokładności separacji frakcji ABS w przedziale od 96,12 % do 97,09 % (rys. 4.7) oraz od 98 % do 100 % w przypadku PP (rys. 4.9). Tym samym uzyskano efektywność E_A od 98 do 100 % (rys. 4.8) oraz E_P od 96 % do 99 % (rys. 4.10). Przy prowadzeniu separacji w wyższych wartościach

temperatury z przedziału 80 °C – 90 °C zaobserwowano zmniejszenie wartości E_A do 87 % (rys. 4.8) oraz D_P do 88 % (rys. 4.9). Wiąże się to ze spadkiem twardości ABS a tym samym zaczepianiem twardszych elementów na igłach walca rozdzielającego. Zmienne DA, DP oraz EA, EP podczas prowadzenia procesu przy mniejszej wartości sił nacisku w przedziale 30 N/mm² – 70 N/mm² oraz przy temp. 30° C – 60° C osiągały dużą wartość E_A i D_P = 100 % (rys. 4.8 i rys. 4.9) równolegle z małą dokładnością D_A wynoszącą maksymalnie 84 % (rys. 4.7) oraz E_P równą 80 % (rys. 4.10). Dalszy wzrost temperatury do 70 °C skutkował wzrostem D_A do 98 % przy nacisku igieł 70 N/mm² (rys. 4.8) oraz wzrostem E_P do 96 % (rys. 4.10) przy zachowaniu dużych wartości D_A i D_P wynoszących 99 % (rys. 4.7 i 4.9). Prowadzenie separacji w wyższych temperaturach 80 °C i 90 °C przejawiało się zmniejszeniem D_A i D_P w wyniku zanieczyszczenia frakcji PP elementami ABS w skutek zaczepiania się twardszych tworzyw ABS na igłach i przenoszeniu ich do pojemnika z PP. W trakcie prowadzenia procesu przy sile nacisku igieł 30 N/mm² zaobserwowano małe wartości D_A, D_P, E_A, E_P w przedziale temperaturowym 30°C - 70 °C. Najkorzystniejsze wyniki rozdziału przy sile nacisku igieł 30 N/mm² osiągnięto prowadząc proces w temp. 90 °C.

4.5. PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ ROZPOZNAWCZYCH

Przedstawione wyniki separacji mieszanin PS/PP oraz PP/ABS dowodzą ogólnej poprawności rozwiązań konstrukcyjnych prototypowego separatora igłowego. Wyniki uzyskane w pierwszym etapie wskazują na istotny wpływ siły nacisku igieł i prędkości obrotowej układu walców na efekty separacji.

Wpływ udziału masowego mieszaniny okazał się nieistotny w związku z tym nie będzie brany pod uwagę podczas planowania badań zasadniczych.

Trzeci etap badań rozpoznawczych wykazał istotny wpływ temperatury materiału wsadowego mieszaniny zawierającej jednakowe udziały PP i ABS na dokładność oraz efektywność separacji i w związku z tym wielkości te będą uwzględnione podczas planowania badań zasadniczych.

Przedstawione wyniki badań rozpoznawczych zostały opublikowane w pracach [88, 89]

W efekcie wykonanych badań rozpoznawczych zdobyto doświadczenie w obsłudze i funkcjonowaniu separatora. Zauważono następujące elementy wymagające poprawy:

- igły umieszczone na walcu górnym nie trafiały w 100 % przypadków w płytki rozdzielanej mieszaniny,
- umieszczone na powierzchni obwodowej walca igły trafiały na rozdzielaną mieszaninę pod kątem ostrym powodując ich stopniowe wyginanie a w efekcie pękanie,
- zauważono problem z równomiernym ogrzaniem rozdzielanej mieszaniny.

5. MODERNIZACJA STANOWISKA BADAWCZEGO

5.1. KONSTRUKCJA SEPARATORA

Na podstawie przeprowadzonych badań rozpoznawczych zauważono elementy wymagające poprawy, które wyeliminowano w wyniku modernizacji stanowiska, przez zastosowanie następujących rozwiązań:

- zapewniono 100 % trafianie igieł na elementy mieszaniny dzięki budowie podciśnieniowego systemu podawania elementów tworzyw na igły pasa separującego,
- igły zostały umieszczone na pasie separującym przez co trafiają na rozdzielane elementy mieszaniny pod kątem prostym,
- zapewniono równomierne ogrzewanie rozdzielanej mieszaniny poprzez budowę tunelowego systemu grzewczego.

Zmodernizowane stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 5.1a, 5.1b, 5.1c.



Rys. 5.1. Zmodernizowane stanowisko badawcze: a) rzut od strony układu rozdzielającego, b) rzut od strony podajnika, c) stanowisko doposażone w układ grzewczy, 1 – górny pas separujący, 2 – dolny pas transportowy, 3 – otwory w pasie transportowym, 4 – przewód rurowy, 5 – walec zębaty, 6 – dozownik, 7 – podajnik wibracyjny, 8 - górne koło zębate, 9 – dolne koło zębate, 10 – siłownik pneumatyczny, 11 – tunelowy system grzewczy, konstrukcja własna





Zmodernizowany separator wyposażony został w igły, w kształcie walca o średnicy 0,30 mm umieszczone na górnym pasie separującym (1). Współbieżnie z górnym pasem przemieszcza się dolny pas transportowy (2), w którym rozmieszczone są otwory (3) w tych samych odstępach co igły, lecz przesunięte w taki sposób, aby igły trafiały na powierzchnię pasa przed otworem. Przewodem rurowym (4) doprowadzane jest podciśnienie do walca zębatego (5) wytwarzającego próżnię w perforacji pasa. Z dozownika (6) rozdzielana mieszanina trafia na podajnik wibracyjny (7), podający warstwę tworzyw na dolny pas transportowy (2). Przez otwory (3) elementy mieszaniny są przysysane do pasa transportowego (2), który przenosi je na układ rozdzielający. Układ rozdzielający zbudowany jest z dwóch kół zębatych (8 i 9): górnego (8) oraz zamocowanego wahliwie i oporowanego siłownikiem pneumatycznym dolnego koła (9). Pneumatyczny siłownik (10) ustala siłę nacisku, z jaką igły oddziałują na elementy mieszaniny. Tunelowy system grzewczy (11) zbudowany jest z transportera taśmowego umieszczonego wewnątrz komory grzewczej, zapewniając równomierne ogrzanie elementów mieszaniny. Tworzywa o mniejszej twardości zaczepiane są przez igły oraz przenoszone pasem separującym do pojemnika A. Elementy o większej twardości pozostają na pasie transportowym i spadają do pojemnika B. Igły wykonane zostały ze stali narzędziowej.

Transporter z tunelowym systemem grzewczym (11) zbudowany jest z grzałki ceramicznej o wymiarach 500 mm x 35 mm i mocy 900W/230V umieszczonej nad pasem transportera o szerokości 35 mm i grubości 0,8 mm wykonanym z teflonu. Grzałka wraz z pasem transportowym zabudowane są w ocieplonym warstwą waty szklanej profilu o przekroju prostokątnym. Zakres ogrzewania może być regulowany w przedziale 30 °C – 200 °C z dokładnością do 1 °C. Transporter z tunelowym systemem grzewczym umożliwia płynne i powtarzalne ogrzewanie mieszaniny za pomocą termostatu oraz dzięki regulacji prędkości przesuwu pasa transportera.

Dozownik (6) z regulacją dozowania, umożliwia płynne podawanie mieszaniny tworzyw na transporter (11) z układem grzewczym. Pojemność dozownika w przeliczeniu na masę mieszaniny wynosi od 400 g do 600 g w zależności od gęstości rozdzielanych tworzyw. Maksymalna wydajność dozowania wnosi 140 g/min mieszaniny o średniej gęstości 1,20 g/cm³ elementów mieszaniny w postaci kwadratów o boku 17 mm i grubości 2 mm.

5.2. POMIAR SIŁY NACISKU ORAZ WYBÓR KSZTAŁTU I ŚREDNICY IGIEŁ

Pomiaru siły nacisku igieł dokonywano za pomocą siłomierza firmy Axis FB50 z czujnikiem wewnętrznym, przedstawionym na rys. 5.2.



Rys. 5.2. Siłomierz Axis FB50

Średnicę igieł separatora wyznaczono poprzez pomiar efektów procesu separacji mieszaniny PP/PVC. Przeprowadzono rozdział mieszaniny PP/PVC przy prędkości obrotowej 15 min ⁻¹ w funkcji siły nacisku przy użyciu igieł o średnicach 0,2 mm, 0,25 mm, 0,30 mm, 0,35 mm, 0,4 mm. Rozdzielana mieszanina o udziale masowym 50/50 % miała postać prostokątnych płytek o boku 17 mm i grubości 2 mm. Rozdzielano tworzywa PP o twardości 70 °Sh D od elementów PVC o twardości 75 °Sh D. Pomiar twardości wykonano w temperaturze 20,4 °C przy użyciu twardościomierza Shorea'D.

Na rys. 5.3 – 5.6 przedstawiono efekty procesu separacji mieszanin PP/PVC z zastosowaniem igieł o różnej średnicy.



Rys. 5.3. Przebieg zmian dokładności wydzielania PP z mieszaniny PP/PVC w funkcji siły nacisku o różnej średnicy igieł



Rys. 5.4. Przebieg zmian efektywności wydzielania PP z mieszaniny PP/PVC w funkcji siły nacisku o różnej średnicy igieł



Rys. 5.5. Przebieg zmian dokładności wydzielania PVC z mieszaniny PP/PVC w funkcji siły nacisku o różnej średnicy igieł



Rys. 5.6. Przebieg zmian efektywności wydzielania PVC z mieszaniny PP/PVC w funkcji siły nacisku o różnej średnicy igieł

W tabeli 5.1 przedstawiono wartości dokładności oraz efektywności separacji mieszanin PP/PVC stosując igły o różnej średnicy.

| Siła nacisku igieł [N/mm ²] | Siła nacisku urządzenia [N] | Średnica igieł [mm] | D_{PP} | E_{PP} | D _{PVC} | E _{PVC} |
|---|--------------------------------|------------------------|----------------------------|----------|------------------|------------------|
| 350 | 10,99 | 0,20 | 98,58 | 96,90 | 96,95 | 98,60 |
| 350 | 17,17 | 0,25 | 98,43 | 96,13 | 96,22 | 98,47 |
| 330 | 23,31 | 0,30 | 97,63 | 96,30 | 96,35 | 97,67 |
| 320 | 30,77 | 0,35 | 96,90 | 95,73 | 95,78 | 96,93 |
| 320 | 40,19 | 0,40 | 97,61 | 96,28 | 96,30 | 97,68 |

Tabela 5.1. Charakterystyka próbek badanych

Z przeprowadzonych badań efektów separacji mieszaniny PP/PVC wynika, że zmiana średnicy igieł nie wpływa znacząco na dokładność separacji, oraz na efektywność odzysku. Niezależnie od rodzaju zastosowanych igieł uzyskano dużą skuteczność separacji o dokładności w przedziale 95,78 % - 98,58 % oraz efektywności 95,73 % - 98,60 %.

Badania zasadnicze będą wykonywane przy użyciu igieł o przekroju kołowym i średnicy 0,30 mm oraz o chropowatej powierzchni obwodowej. Wybór został podyktowany mniejszymi przeciążeniami konstrukcyjnymi, a przez to odkształceniami elementów urządzenia, gdyż do uzyskania takiej samej siły nacisku dla igły o średnicy 0,40 mm w przeliczeniu na jednostkę powierzchni, trzeba zastosować prawie dwukrotnie większe obciążenie w porównaniu do igły o średnicy 0,30 mm.

W badaniach rozpoznawczych siła nacisku igieł podawana jest w [N/mm²]. W dalszej części rozprawy tj. w badaniach poprawności funkcjonowania zmodernizowanego separatora oraz w badaniach zasadniczych, jednostką siły nacisku igieł jest [N] i wartość ta odpowiada sile nacisku urządzenia.

5.3. OCENA POPRAWNOŚCI FUNKCJONOWANIA ZMODERNIZOWANEGO SEPARATORA IGŁOWEGO

5.3.1. Materialy

W badaniach stosowano mieszaninę polietylenu (HDPE), o dużej gęstości 0,95 g/cm³ i twardości 60 °Sh D, poli(tereftalanu etylenu) (PET) o gęstości 1,34 g/cm³ i twardości 78 °Sh D oraz poli(chlorku winylu) (PVC) o gęstości 1,46 g/cm³ i twardości 75 °Sh D. Gęstość i twardość oznaczono w temp. 20 °C. Z płyt o grubości 2 mm barwionych na rożne kolory (prod. Tuplex Polska Sp. z o. o.) wycięto próbki o kształcie kwadratów o wymiarach 17 mm x 17 mm.

Różnica w kolorach próbek umożliwiała analizę otrzymanych produktów rozdziału, które po zakończeniu procesu były ważone z dokładnością \pm 0,01 g. Próbki zmieszano w proporcji wagowej 1:1:1.

5.3.2. Metodyka badań

Rozdział mieszanin prowadzono stosując zmodernizowany separator igłowy z systemem ogrzewania (opisany w 5.1) przy zmiennej, regulowanej sile nacisku igieł.

Proces separacji prowadzono w dwóch etapach: w pierwszym w temp. 24 °C i sile nacisku igieł 8 N, 9 N i 10 N ze 180 g mieszaniny separowano HDPE; w drugim rozdzielano pozostałość z pierwszego etapu, tzn. mieszaninę PET/PVC. Każdy etap powtarzano trzykrotnie. Temperaturę próbek mierzono z wykorzystaniem tzw. próbek testowych zawierających kanały do których wprowadzano czujnik termometru.

Wyznaczono dokładność oraz efektywność separacji wyrażone wzorami 3.1 i 3.2.

W opisie wyników wielkości efektów procesu oznaczono odpowiednio wskaźnikami dolnymi HDPE, PET i PVC.

5.3.3.Pierwszy etap separacji

Na rys. 5.7 i 5.8 przedstawiono wyniki pierwszego etapu separacji podczas którego badano wpływ prędkości obrotowej układu rozdzielającego na dokładność i efektywność separacji strumienia HDPE z mieszaniny HDPE/PET/PVC.



Rys 5.7. Wpływ prędkości obrotowej na dokładność separacji elementów HDPE z mieszaniny HDPE/PET/PVC przy różnej sile nacisku igieł



Rys. 5.8. Wpływ prędkości obrotowej na efektywność separacji elementów HDPE z mieszaniny HDPE/PET/PVC przy różnej sile nacisku igieł

Z zależności przedstawionych na rys. 5.7 i rys. 5.8 wynika, że najlepszą skuteczność (100 %) i dokładność (100 %) wydzielania frakcji HDPE ze strumienia mieszaniny HDPE/PET/PVC w całym zakresie prędkości obrotowej uzyskano prowadząc proces przy sile nacisku igieł 10 N. Zaczepione tworzywo HDPE przenoszone było do pojemnika A, natomiast frakcja PET/PVC spadała do pojemnika B. Podczas separacji z siłą nacisku 9 N dużą efektywność odzysku (96,53 % - 97,33 %) oraz dokładność (100 %) osiągano przy prędkości obrotowej od 15 min⁻¹ do 25 min⁻¹. Dalszy wzrost prędkości obrotowej skutkował zmniejszeniem efektywności do 73,30 % przy 30 min⁻¹ oraz 66,67 % przy 35 min⁻¹ w wyniku wzrastającej siły odśrodkowej działającej na zaczepione na igłach elementy HDPE. Prowadząc separację przy sile nacisku 8 N dokładność separacji wzrastała proporcjonalnie do predkości obrotowej, osiągając maksymalną wartość 89,33 % przy 35 min⁻¹. Wiąże się to z nieznacznym wzrostem głębokości zagłębiania igieł w elementach PE przy większych prędkościach. Wpływ prędkości najbardziej uwidocznił się przy prędkości 25 min⁻¹ przy której efekty procesu przyjmują największe wartości.

5.3.4. Drugi etap separacji

W drugim etapie rozdzielano pozostałość otrzymaną w pierwszym etapie separacji prowadzonej przy sile nacisku 10 N. Stanowisko badawcze doposażono w transporter z tunelowym systemem grzewczym. Mieszaninę PET/PVC ogrzaną do 65 °C rozdzielano przy sile nacisku igieł 3,5 N ze zmienną prędkością obrotową.



Rys. 5.9 . Wpływ prędkości obrotowej na dokładność separacji elementów PET oraz PVC



Rys. 5.10. Wpływ prędkości obrotowej na efektywność separacji elementów PET oraz PVC

Jak wynika z zależności przedstawionej na rys. 5.9 i rys. 5.10 największą skuteczność separacji zarówno PVC jak i PET osiągnięto przy prędkościach obrotowych od 15 min⁻¹ do 25 min⁻¹. Dokładność separacji dla frakcji PVC wyniosła wówczas od 96,15 % do 96,65 % przy efektywności odzysku 100 %. Dokładność separacji elementów PET wyniosła 100 % z efektywnością od 96,00 % do 96,53 %. Przy większych prędkościach obrotowych następowało zmniejszanie dokładności separacji frakcji PET, oraz efektywności odzysku frakcji PVC ze względu na zaczepianie się elementów PVC oraz przenoszenia ich do pojemnika z PET.

5.3.5. Wnioski

Przedstawione wyniki badań świadczą o poprawności konstrukcyjnej zmodernizowanego stanowiska badawczego. Sposób separacji mieszanin na podstawie różnicy w twardości wykazuje duży potencjał do efektywnego usuwania HDPE z trzykomponentowej mieszaniny HDPE/PET/PVC, a także do rozdziału tworzyw o zbliżonej gęstości takich jak PET i PVC. Najlepszą skuteczność wydzielania strumienia HDPE z mieszaniny HDPE/PET/PVC uzyskano prowadząc proces przy sile nacisku 10 N w całym zakresie prędkości obrotowej. Zadowalające rezultaty osiągnięto również podczas rozdziału mieszaniny PET/PVC. Podczas prowadzenia separacji mieszaniny przy sile nacisku igieł 3,5 N dla elementów ogrzewanych do 65 °C, dużą skuteczność wynoszącą ponad 96 % dla każdego ze strumieni osiągnięto w przedziale prędkości obrotowych od 15 min⁻¹ do 25 min⁻¹.

Wyniki badań z wykorzystaniem wszystkich modernizacji separatora igłowego zostały opublikowane w [90].

5.4. WYBÓR I PRZYGOTOWANIE MIESZANIN DO BADAŃ ZASADNICZYCH

W badaniach wykorzystano następujące materiały:

- Akrylonitryl-butadien-styren (ABS), o gęstości d = 1,05 g/cm³, twardości 80 °Sh D, temp. mięknienia wg. Vicata 102 °C,
- 2. Poli(tereftalan) etylenu (PET) o gęstości 1,34g/cm³, twardości 78 °Sh D, temp. mięknienia wg. Vicata 75 °C,
- Poli (chlorek winylu) (PVC) o gęstości 1,42 g/cm³, twardości 75 °Sh D, temp. mięknienia wg. Vicata 75 °C,
- 4. Polipropylen (PP) o gęstości 0,92 g/cm³, twardości 70 °Sh D, temp. mięknienia wg. Vicata 88 °C,
- 5. Polietylen (PE) o gęstości 0,96 g/cm³, twardości 62 °Sh D, temp. mięknienia wg. Vicata 78 °C.

Mieszaniny do badań zasadniczych przygotowano z pocięcia płyt o grubości 2 mm do postaci kwadratów o boku 17 mm.

6. BADANIA ZASADNICZE

6.1. WSTĘP DO PLANOWANIA EKSPERYMENTU

Teoria eksperymentu czyli dziedzina wiedzy o podstawach teoretycznych badań doświadczalnych obejmuje następujące zagadnienia: a) planowanie eksperymentu, b) metodykę modelowania matematycznego, c) technikę przeprowadzania pomiarów, d) analizę wyników pomiarów. Podczas planowania eksperymentu istotne znaczenie ma wybór punktów w których będą wykonywane pomiary. Punktami tymi są kombinacje zmiennych wejściowych, dlatego od prawidłowego doboru planu zależeć będzie dokładność otrzymanej funkcji obiektu badań.

6.2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Utylitarne znaczenie w tworzeniu modeli matematycznych obiektów znajdują techniki planowania eksperymentu. Modele matematyczne tworzone są najczęściej na podstawie wyników eksperymentów i charakteryzowane są przez wielkości pomiędzy którymi mogą występować zależności o charakterze przyczynowo-skutkowym.



Rys. 6.1. Schematyczna reprezentacja eksperymentu, opracowanie własne na podstawie [91]

Schematyczną reprezentację eksperymentu przedstawionego na powyższym rysunku opisują następujące wielkości modelujące: a) wielkości wejściowe $x_1, x_2, ..., x_j$ (zmienne niezależne), wielkości wyjściowe $y_1, y_2, ..., y_w$ (zmienne zależne), wielkości stałe $c_1, c_2, ..., c_s$ (czynniki stałe) mające wpływ na działanie układu, które są ustalone i niezmienne w czasie i dlatego mogą zostać pominięte w analizie obiektu oraz wielkości zakłócające $h_1, h_2, ..., h_z$, (czynniki zakłócające), na które prowadzący eksperyment nie ma wpływu. Prawidłowy wybór powyższych wielkości będzie decydować o dokładności otrzymanej zależności funkcyjnej.

6.3. PRZEGLĄD PLANÓW DOŚWIADCZEŃ

Po ustaleniu parametrów wejściowych należy dokonać wyboru planu doświadczenia, oraz sposobu jego realizacji. Istnieje duża możliwość wyboru planów doświadczeń opisanych w publikacjach [91 - 94]. Podstawowe rodzaje planów przedstawiono na rys. 6.2.



Rys. 6.2. Podstawowe grupy planów doświadczeń, opracowanie własne na podstawie [91]

Jedna z dwóch podstawowych grup stanowią statyczne obiekty badań, w przypadku których realizowane są następujące plany doświadczeń: a) zdeterminowane, b) randomizowane, c) optymalizacyjne. W przypadku badań doświadczalnych najczęściej wykorzystywane są plany zdeterminowane do których należa plany selekcyjne oraz plany kompletne. Plany selekcyjne charakteryzują się maksymalną efektywnością, lecz poprzez zredukowanie liczby wykonywanych doświadczeń wykazują obniżoną informatywność. W przypadku planów kompletnych realizowane są wszystkie możliwe kombinacje zmiennych wejściowych co skutkuje ich wysoka informatywnościa, lecz w wyniku wykonywania dużej liczby doświadczeń wykazują zmniejszoną efektywność. Plany kompletne można podzielić na plany różnowartościowe i jednakowowartościowe. Wśród planów jednakowowartościowych można wyróżnić plany dwuwartościowe, centralne trójwartościowe oraz trójwartościowe. W ramach realizacji niniejszej rozprawy zastosowano plan kompletny trójwartościowy.

6.4. WYBÓR PLANU DOŚWIADCZEŃ

Obiekt badań procesu separacji dwuskładnikowych mieszanin tworzyw polimerowych na podstawie różnicy w twardości przyjęto charakteryzować za pomocą trzech wielkości wejściowych (i = 3): a) x_1 – siła nacisku igieł wyrażona w niutonach, b) x_2 – prędkość obrotowa układu rozdzielającego wyrażona w min⁻¹, c) x_3 – temperatura rozdzielanej mieszaniny wyrażona w °C. Wielkości wyjściowe procesu (n = 2) to: a) dokładność separacji (D_{XYZ}) składnika mieszaniny, b) efektywność odzysku składnika mieszaniny (E_{XYZ}). W dalszej części pracy symbol XYZ przyjęto zastępować skrótem utworzonym od nazwy danego rodzaju tworzywa polimerowego. Wielkości stałe (c = 3) to: a) wymiary rozdzielanych elementów mieszaniny, b) średnica igieł (d = 0,30 mm), c) częstotliwość drgań podajnika wibracyjnego. Wielkości zakłócające (z = 4) to: a) wahania temperatury otoczenia, b) wahania siły nacisku igieł spowodowane zmianą temperatury otoczenia, c) wahania w jednorodności struktury elementów mieszaniny, d) odkształcenia elementów konstrukcyjnych urządzenia.

W oparciu o charakterystykę procesu separacji na podstawie różnicy w twardości wytypowano dwa plany. Istotną cechą przy wyborze planu była możliwość generowania funkcji drugiego rzędu, gdyż założenie liniowej zależności między zmiennymi wejściowymi a daną zmienną zależną przy tak małej wiedzy na temat badanego obiektu mogłoby być zbyt ryzykowne.

Pierwszym rozpatrywanym planem jest plan kompozycyjny kompletny, powstały na bazie dwupoziomowego planu kompletnego typu 2^k lub ułamkowego 2^{k-m} i uzupełniony o tak zwane doświadczenia (punkty) gwiezdne oraz doświadczenia centralne.

Na rys. 6.3 przedstawiono przestrzeń trójwymiarową planu kompozycyjnego dla 3 zmiennych wejściowych (i = 3). Przestrzeń tę stanowi sześcian, w którego 8 narożach znajdują się punkty doświadczeń na dwóch poziomach oraz 3 pary punktów gwiezdnych rozmieszczonych na osiach współrzędnych w stałej odległości $\pm \alpha$. Punkt centralny umieszczony jest w środku planu.



Rys. 6.3. Schemat planu kompozycyjnego kompletnego dla 3 zmiennych wejściowych x₁, x₂, x₃, opracowanie własne na podstawie [93]

Realizacja eksperymentu będącego tematem rozprawy dla i = 3 zmiennych wejściowych zgodnie z planem kompozycyjnym kompletnym (N = $2^{i} + 2i + N_{0}$) uwzględniając sześciokrotne powtórzenie punktu centrum (N₀ =6) wymaga przeprowadzenia N = 20 doświadczeń. Ważną cechą tego planu jest możliwość generowania funkcji opisywanej wielomianem drugiego stopnia. Funkcję aproksymującą analizowanego obiektu badań (i = 3, n = 2) opisuje wielomian kwadratowy przedstawiony równaniem (6.1) [91,92,93,96].

$$y_n = a_{n0} + b_{n1}x_1 + b_{n2}x_2 + b_{n3}x_3 + c_{n1}x_1^2 + c_{n2}x_2^2 + c_{n3}x_3^2 + d_{n12}x_1x_2 + d_{n13}x_1x_3 + d_{n23}x_2x_3$$
(6.1)

gdzie:

 $a_{n0}, b_{n1}, \dots, b_{n23}$ – współczynniki równania stopnia drugiego, x_1, \dots, x_3 – wielkości wejściowe.

Drugim analizowanym planem jest plan trójpoziomowy kompletny oznaczany symbolem PS/DK 3^n (statyczny, determinowany, kompletny) o trzech poziomach zmienności i n czynnikach wejściowych. Realizacja planu 3^n wymaga przeprowadzenia N = 27 doświadczeń. Plan eksperymentu trójpoziomowego przedstawia rys. 6.4 [91,92].



Rys. 6.4. Plan eksperymentu trójpoziomowego dla 3 zmiennych x₁, x₂, x₃, opracowanie własne na podstawie [93]

W przypadku badanego obiektu z trzema wielkościami wejściowymi (i = 3) wielomian aproksymacyjny stopnia drugiego uwzględniający interakcje pierwszego i drugiego rzędu opisywany jest równaniem (6.2):

$$y_{n} = a_{n0} + b_{n1}x_{1} + b_{n2}x_{2} + b_{n3}x_{3} + b_{n1}x_{1}^{2} + b_{n2}x_{2}^{2} + b_{n3}x_{3}^{2} + b_{n12}x_{1}x_{2} + b_{n13}x_{1}x_{3} + b_{n23}x_{2}x_{3} + b_{n12}"x_{1}x_{2}^{2} + b_{n13}"x_{1}x_{3}^{2} + b_{n23}"x_{2}x_{3}^{2} + b_{n1"2}x_{1}^{2}x_{2} + b_{n1"3}x_{1}^{2}x_{3} + b_{n2"3}x_{2}^{2}x_{3} + b_{n1"2"}x_{1}^{2}x_{2}^{2} + b_{n1"3"}x_{1}^{2}x_{3}^{2} + b_{n2"3"}x_{2}^{2}x_{3}^{2} + b_{n1"2"}x_{1}^{2}x_{2}^{2} + b_{n1"3"}x_{1}^{2}x_{3}^{2} + b_{n2"3"}x_{2}^{2}x_{3}^{2} + b_{n1"2"}x_{1}^{2}x_{2}^{2} + b_{n1"3"}x_{1}^{2}x_{3}^{2} + b_{n2"3"}x_{2}^{2}x_{3}^{2} + b_{n1"2"}x_{1}^{2}x_{3}^{2} + b_{n2"3"}x_{2}^{2}x_{3}^{2} + b_{n2}^{2}x_{3}^{2} + b_{n2}^{2}x_{3}^{$$

gdzie:

n - jest liczbą naturalną, będącą numerem kolejnego modelu, $a_{n0}, b_{n1}, \dots, b_{n23}$ – współczynniki równania stopnia drugiego, x_1, \dots, x_3 – wielkości wejściowe. Zaletą planu kompozycyjnego w porównaniu do planu kompletnego trójpoziomowego jest dość znaczne ograniczenie liczby wykonywanych doświadczeń, przy czym różnica ta uwidacznia się najbardziej gdy liczba zmiennych wzrasta powyżej 3. Zaletą obydwu planów jest możliwość modelowania matematycznego obiektu badań za pomocą funkcji nieliniowych. Plan kompozycyjny kompletny cechuje większa efektywność, lecz jednocześnie mniejsza informatywność w stosunku do planu trójwartościowego kompletnego. W przypadku wyboru planu kompozycyjnego niezbędne jest wykonanie 20 doświadczeń z użyciem każdej z 10 mieszanin, co daje łącznie 200 doświadczeń. W wyniku zastosowania planu trójpoziomowego kompletnego otrzymujemy 270 doświadczeń, a więc o 70 doświadczeń więcej do zrealizowania. Plan trójpoziomowy kompletny wykazuje większą informatywność przy nieznacznie mniejszej efektywności w stosunku do kompozycyjnego i dlatego będzie zastosowany do przeprowadzenia badań zasadniczych.

6.5. ZAKRESY WARTOŚCI ZMIENNYCH WEJŚCIOWYCH -MATRYCA PLANU BADAŃ

Przeprowadzone prace konstrukcyjne, stan wiedzy na temat właściwości tworzyw polimerowych oraz uzyskane wnioski z badań rozpoznawczych przyczyniły się do przyjęcia następujących zakresów wielkości wejściowych charakteryzujących obiekt badań. Zakresy tych wielkości to: a) siła nacisku igieł (x₁): 3 – 17 N, b) prędkość obrotowa układu rozdzielającego (x₂): 15 – 35 min⁻¹, c) temperatura mieszaniny rozdzielanej (x₃): 30 – 70 °C. Wybór zakresu siły nacisku igieł został dostosowany do możliwości technicznych realizacji badań poprzedzony wyborem średnicy igieł. Zakres zmian prędkości obrotowej dobrano w taki sposób aby ograniczyć wpływ siły odśrodkowej na zaczepione elementy mieszaniny. Górny zakres warunków termicznych określono na podstawie najniższych wartości temperatur mięknienia.

Powyższe przedziały posłużyły do opracowania planu eksperymentu, który zgodnie z matrycą planu trójpoziomowego kompletnego wymaga przeprowadzenia 27 doświadczeń z użyciem każdej z 10 mieszanin. W tabeli 6.1 zaprezentowano matrycę planu eksperymentu.

| Nr próbki | Siła nacisku igieł [N] | Prędkość obrotowa układu rozdzielającego [min ⁻¹] | Temperatura rozdzielanej mieszaniny [°C] |
|--------------|---------------------------|--|--|
| 1 | 3 | 15 | 30 |
| 2 | 3 | 15 | 50 |
| 3 | 3 | 15 | 70 |
| 4 | 3 | 25 | 30 |
| 5 | 3 | 25 | 50 |
| 6 | 3 | 25 | 70 |
| 7 | 3 | 35 | 30 |
| 8 | 3 | 35 | 50 |
| 9 | 3 | 35 | 70 |
| 10 | 10 | 15 | 30 |
| 11 | 10 | 15 | 50 |
| 12 | 10 | 15 | 70 |
| 13 | 10 | 25 | 30 |
| 14 | 10 | 25 | 50 |
| 15 | 10 | 25 | 70 |
| 16 | 10 | 35 | 30 |
| 17 | 10 | 35 | 50 |
| 18 | 10 | 35 | 70 |
| 19 | 17 | 15 | 30 |
| 20 | 17 | 15 | 50 |
| 21 | 17 | 15 | 70 |
| 22 | 17 | 25 | 30 |
| 23 | 17 | 25 | 50 |
| 24 | 17 | 25 | 70 |
| 25 | 17 | 35 | 30 |
| 26 | 17 | 35 | 50 |
| 27 | 17 | 35 | 70 |

Tabela 6.1. Matryca planu trójpoziomowego kompletnego dla trzech zmiennych wejściowych

7. WYNIKI ORAZ OMÓWIENIE BADAŃ ZASADNICZYCH

7.1. CEL I ZAKRES BADAŃ ZASADNICZYCH

Podstawowym celem prowadzonych badań było poznanie warunków eksploatacyjnych obiektu, aby efekty procesu separacji spełniały przyjęte kryteria. Dodatkowym celem badań było opracowanie modeli matematycznych tego procesu.

Badania realizowano dla 10 dwuskładnikowych mieszanin PVC, PET, PE, ABS, PP o udziale masowym 50/50 %. Wielkościami wejściowymi każdego analizowanego obiektu badań (mieszaniny) były: siła (x_1) nacisku igieł, prędkość (x_2) obrotowa układu rozdzielającego, temperatura (x_3) rozdzielanej mieszaniny. Wielkościami wyjściowymi były dokładność (D_{XYZ}) i efektywność (E_{XYZ}) każdego ze składników badanych mieszanin. Zgodnie z powyższym efekty procesu separacji każdej z dziesięciu badanych mieszanin charakteryzowane były przez cztery wielkości wyjściowe.

7.2. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTU - PROCESU SEPARACJI

Wyniki badań prowadzonego eksperymentu - procesu separacji dla dziesięciu mieszanin, przedstawiono w tab. 7.1 - 7.10. Dla ułatwienia analizy danych wielkości wyjściowe prezentujące dany poziom skuteczności (S) oznaczono trzema rodzajami kolorów: a) czerwony dla (SI), b) niebieski dla (SII), zielony dla (SIII). Przyjęte oznaczenie dotyczy zarówno wielkości charakteryzujących daną parę efektów separacji (D_{XYZ} , E_{XYZ}) prezentujących ten sam poziom jak i występujących na różnych poziomach spełniających kryterium (S). Dodatkowo kolorem szarym oznaczono spełnienie kryterium (S) pojedynczej wielkości wyjściowej z danej pary (pełny opis umieszczono w p. 7.4, str. 89).

| Nr doświadczenia | D _{PVC} , [%] | D _{PE} , [%] | E _{PVC} , [%] | E _{PE} , [%] |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 51,23 | 100,00 | 100,00 | 4,82 |
| 3 | 54,96 | 73,98 | 87,45 | 28,33 |
| 4 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 51,43 | 100,00 | 100,00 | 5,57 |
| 6 | 54,46 | 73,62 | 81,87 | 31,53 |
| 7 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | 51,18 | 100,00 | 100,00 | 4,60 |
| 9 | 54,79 | 64,49 | 77,58 | 35,98 |
| 10 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 12 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 13 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 14 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 15 | 0,00 | 49,77 | 0,00 | 99,10 |
| 16 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 17 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 18 | 0,00 | 49,67 | 0,00 | 98,70 |
| 19 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 20 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 21 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | <mark>99,07</mark> | <mark>98,36</mark> | <mark>96,15</mark> | <mark>99,10</mark> |
| 23 | 0,00 | 49,82 | 0,00 | 99,27 |
| 24 | 52,13 | 49,81 | 1,63 | 98,50 |
| 25 | 100,00 | 98,17 | <mark>98,45</mark> | 100,00 |
| 26 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 27 | 50,56 | 50,01 | 1,50 | 98,53 |

Tabela 7.1. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PVC/PE

| Nr doświadczenia | D _{PVC} , [%] | D _{PP} , [%] | E _{PVC} , [%] | E _{PP} , [%] |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 3 | 47,96 | 0,00 | 92,17 | 0,00 |
| 4 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 6 | 46,49 | 0,00 | 86,87 | 0,00 |
| 7 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 9 | 44,04 | 0,00 | 78,68 | 0,00 |
| 10 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 11 | 0,00 | 41,35 | 0,00 | 70,50 |
| 12 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 13 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 14 | 0,00 | 39,27 | 0,00 | 64,67 |
| 15 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 16 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 17 | 0,00 | 37,89 | 0,00 | 61,00 |
| 18 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 19 | 51,89 | 100,00 | 100,00 | 7,27 |
| 20 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 21 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | 49,93 | 46,88 | 97,73 | 2,00 |
| 23 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 24 | 100,00 | 50,39 | 1,57 | 100,00 |
| 25 | 49,66 | 41,75 | 95,35 | 3,33 |
| 26 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 27 | 54,41 | 50,08 | 1,85 | 98,45 |

Tabela 7.2. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PVC/PP

| Nr doświadczenia | D _{PVC} , | $\mathbf{D}_{ABS},$ | E _{PVC} , | E _{ABS} , |
|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 3 | 100,00 | 51,87 | 7,20 | 100,00 |
| 4 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 6 | 100,00 | 52,52 | 9,60 | 100,00 |
| 7 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 8 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 9 | 100,00 | 54,88 | 17,78 | 100,00 |
| 10 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 11 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 12 | <mark>94,41</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>94,08</mark> |
| 13 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 14 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 15 | <mark>96,23</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>96,08</mark> |
| 16 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 17 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 18 | 92,76 | 100,00 | 100,00 | 92,20 |
| 19 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 20 | 72,17 | 100,00 | 100,00 | 61,43 |
| 21 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 22 | 100,00 | 50,61 | 2,42 | 100,00 |
| 23 | <mark>70,79</mark> | 100,00 | 100,00 | 58,73 |
| 24 | 49,67 | 0,00 | 98,68 | 0,00 |
| 25 | 26,74 | 49,25 | 1,67 | 95,43 |
| 26 | <mark>70,50</mark> | 100,00 | 100,00 | 58,15 |
| 27 | 49,41 | 0,00 | 97,65 | 0,00 |

Tabela 7.3. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PVC/ABS

| Nr | D _{PVC} , | D _{PET} , | E _{PVC} , | E _{PET} , |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| doświadczenia | [%] | [%] | [%] | [%] |
| 1 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 61,62 | 100,00 | 100,00 | 37,72 |
| 3 | 91,71 | 90,21 | 90,03 | <mark>91,87</mark> |
| 4 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 64,41 | 100,00 | 100,00 | 44,75 |
| 6 | <mark>89,97</mark> | <mark>88,86</mark> | <mark>88,70</mark> | <mark>90,12</mark> |
| 7 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | <mark>66,70</mark> | 100,00 | 100,00 | 50,08 |
| 9 | 81,32 | <mark>80,46</mark> | <mark>80,18</mark> | <mark>81,58</mark> |
| 10 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 11 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 12 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 13 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 14 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 15 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 16 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 17 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 18 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 19 | 50,38 | 100,00 | 100,00 | 1,52 |
| 20 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 21 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | 50,01 | 50,75 | 98,35 | 1,70 |
| 23 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 24 | 100,00 | 50,18 | 0,73 | 100,00 |
| 25 | 50,04 | 52,14 | 98,13 | 2,03 |
| 26 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 27 | 58,82 | 50,11 | 1,50 | 98,95 |

Tabela 7.4. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PVC/PET

| Nr doświadczenia | D _{PET} , [%] | D _{PE} , [%] | Е _{РЕТ} , [%] | E _{PE} , [%] |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 39,08 | 7,14 | 62,28 | 2,90 |
| 3 | 10,17 | 23,47 | 8,13 | 28,17 |
| 4 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 36,87 | 10,77 | 55,25 | 5,40 |
| 6 | 11,96 | 23,22 | 9,88 | 27,25 |
| 7 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | 33,98 | 5,65 | 49,92 | 3,00 |
| 9 | 23,73 | 33,34 | 18,42 | 40,80 |
| 10 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 12 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 13 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 14 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 15 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 16 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 17 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 18 | 0,00 | 49,82 | 0,00 | 99,30 |
| 19 | 100,00 | <mark>98,51</mark> | <mark>98,48</mark> | 100,00 |
| 20 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 21 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | <mark>98,45</mark> | <mark>98,30</mark> | <mark>98,30</mark> | <mark>98,45</mark> |
| 23 | 0,00 | 49,69 | 0,00 | 98,77 |
| 24 | 0,00 | 49,82 | 0,00 | 99,30 |
| 25 | 100,00 | <mark>98,01</mark> | <mark>97,97</mark> | 100,00 |
| 26 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 27 | 29,30 | 49,62 | 1,05 | 97,47 |

Tabela 7.5. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PET/PE
| Nr | $\mathbf{D}_{\text{PET}},$ | $D_{ABS},$ | $\mathbf{E}_{\mathbf{PET}},$ | $E_{ABS},$ |
|---------------|----------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| doswiadczenia | [%0] | [%] | [%] | [%] |
| 1 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | 100,00 | <mark>61,16</mark> | 36,48 | 100,00 |
| 3 | 100,00 | 92,17 | <mark>91,50</mark> | 100,00 |
| 4 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | 100,00 | 63,42 | 42,33 | 100,00 |
| 6 | 100,00 | <mark>90,76</mark> | <mark>90,15</mark> | 100,00 |
| 7 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 8 | 100,00 | 65,86 | 48,17 | 100,00 |
| 9 | 100,00 | 84,99 | <mark>82,33</mark> | 100,00 |
| 10 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 11 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 12 | <mark>89,70</mark> | 100,00 | 100,00 | 88,52 |
| 13 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 14 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 15 | 92,08 | 100,00 | 100,00 | <mark>91,40</mark> |
| 16 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 17 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 18 | 88,52 | 100,00 | 100,00 | 87,03 |
| 19 | 100,00 | 50,51 | 2,00 | 100,00 |
| 20 | 69,23 | 100,00 | 100,00 | 55,55 |
| 21 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 22 | 100,00 | 50,42 | 1,67 | 100,00 |
| 23 | 71,30 | 100,00 | 100,00 | 59,75 |
| 24 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 25 | 73,67 | 50,69 | 4,15 | 98,52 |
| 26 | 72,97 | 100,00 | 100,00 | 62,95 |
| 27 | 49,79 | 0,00 | 99,18 | 0,00 |

Tabela 7.6. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PET/ABS

| Nr doámio dozonio | $\mathbf{D}_{\text{PET}},$ | D _{PP} , | E _{PET} , | E _{PP} , |
|----------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1 | [70] | [70] 50.00 | [70] | 100.00 |
| 2 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | 100,00 | 62,41 | 39,77 | 100,00 |
| 3 | 100,00 | <mark>94,64</mark> | 94,33 | 100,00 |
| 4 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | 100,00 | <mark>65,13</mark> | 46,47 | 100,00 |
| 6 | 100,00 | 92,58 | 91,98 | 100,00 |
| 7 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 8 | 100,00 | <mark>67,80</mark> | 52,52 | 100,00 |
| 9 | 100,00 | <mark>85,59</mark> | 83,17 | 100,00 |
| 10 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 11 | 57,48 | 100,00 | 100,00 | 26,03 |
| 12 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 13 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 14 | 58,95 | 100,00 | 100,00 | 30,37 |
| 15 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 16 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 17 | <mark>60,81</mark> | 100,00 | 100,00 | 35,57 |
| 18 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 19 | 28,19 | 48,72 | 3,13 | 92,02 |
| 20 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 21 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 22 | 67,57 | 50,55 | 4,13 | 98,02 |
| 23 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 24 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 25 | 47,08 | 49,86 | 4,30 | 95,17 |
| 26 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 27 | 50,13 | 61,76 | 99,13 | 1,40 |

Tabela 7.7. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PET/PP

| Nr doświadczenia | D _{ABS} , [%] | D _{PE} , [%] | E _{ABS} , [%] | E _{PE} , [%] |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 51,88 | 100,00 | 100,00 | 7,25 |
| 3 | 57,68 | 100,00 | 100,00 | 26,63 |
| 4 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 51,03 | 100,00 | 100,00 | 4,03 |
| 6 | 58,18 | 100,00 | 100,00 | 28,13 |
| 7 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | 51,83 | 100,00 | 100,00 | 7,05 |
| 9 | 61,92 | 100,00 | 100,00 | 38,50 |
| 10 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 12 | 100,00 | <mark>93,72</mark> | <mark>93,30</mark> | 100,00 |
| 13 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 14 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 15 | 99,22 | 93,54 | 93,15 | 99,27 |
| 16 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 17 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 18 | <mark>97,86</mark> | 91,98 | <mark>91,45</mark> | 98,00 |
| 19 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 20 | 100,00 | 72,03 | 61,17 | 100,00 |
| 21 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | <mark>98,52</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>98,50</mark> |
| 23 | 97,68 | 72,06 | 61,80 | <mark>98,53</mark> |
| 24 | 0,00 | 49,61 | 0,00 | 98,47 |
| 25 | 100,00 | <mark>98,54</mark> | <mark>98,52</mark> | 100,00 |
| 26 | 100,00 | 72,67 | 62,40 | 100,00 |
| 27 | 0,00 | 49,61 | 0,00 | 98,47 |

Tabela 7.8. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny ABS/PE

| Nr doświadczenia | D _{ABS} , [%] | D _{PP} , [%] | E _{ABS} , [%] | Е _{РР} , [%] |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 3 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 4 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 6 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 7 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 9 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 10 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 11 | 78,04 | 100,00 | 100,00 | 71,87 |
| 12 | 100,00 | 92,94 | 92,40 | 100,00 |
| 13 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 14 | 75,08 | 100,00 | 100,00 | 66,80 |
| 15 | 100,00 | <mark>93,94</mark> | <mark>93,55</mark> | 100,00 |
| 16 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 17 | 72,82 | 100,00 | 100,00 | 62,68 |
| 18 | 100,00 | <mark>90,94</mark> | 90,03 | 100,00 |
| 19 | 51,56 | 100,00 | 100,00 | 6,07 |
| 20 | 100,00 | <mark>69,77</mark> | 56,67 | 100,00 |
| 21 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | 50,38 | 100,00 | 100,00 | 1,50 |
| 23 | 100,00 | 71,48 | 60,10 | 100,00 |
| 24 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 25 | 50,39 | 64,92 | 98,22 | 3,30 |
| 26 | 100,00 | 73,76 | 64,43 | 100,00 |
| 27 | 0,00 | 49,20 | 0,00 | 96,87 |

Tabela 7.9. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny ABS/PP

| Nr doświadczenia | D _{PE} , [%] | D _{PP} , [%] | E _{PE} , [%] | Е _{РР} , [%] |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | 100,00 | 51,34 | 5,22 | 100,00 |
| 3 | 100,00 | 59,01 | 30,53 | 100,00 |
| 4 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | 100,00 | 51,11 | 4,35 | 100,00 |
| 6 | 100,00 | 58,60 | 29,35 | 100,00 |
| 7 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 8 | 100,00 | 51,30 | 5,05 | 100,00 |
| 9 | 100,00 | 61,29 | 36,83 | 100,00 |
| 10 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | 58,89 | 100,00 | 100,00 | 30,20 |
| 12 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 13 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 14 | 61,24 | 100,00 | 100,00 | 36,70 |
| 15 | 49,79 | 0,00 | 99,18 | 0,00 |
| 16 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 17 | 63,36 | 100,00 | 100,00 | 42,18 |
| 18 | 49,63 | 0,00 | 98,55 | 0,00 |
| 19 | <mark>92,38</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>91,75</mark> |
| 20 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 21 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 22 | <mark>96,94</mark> | 99,78 | <mark>99,78</mark> | <mark>96,85</mark> |
| 23 | 49,82 | 0,00 | 99,30 | 0,00 |
| 24 | 49,63 | 0,00 | 98,55 | 0,00 |
| 25 | <mark>96,31</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>96,17</mark> |
| 26 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 27 | 50,02 | 51,01 | 98,38 | 1,68 |

Tabela 7.10. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PE/PP

7.3. MODELE MATEMATYCZNE PROCESU SEPARACJI

Modele matematyczne obiektu badań w postaci wielomianu drugiego stopnia wygenerowano z wykorzystaniem oprogramowania statystycznego i analitycznego Statistica 10.

Wielomian aproksymujący funkcję obiektu badań (zawierający interakcje liniową oraz kwadratową) przedstawia równanie (6.2):

$$y_{n} = a_{n0} + b_{n1}x_{1} + b_{n2}x_{2} + b_{n3}x_{3} + b_{n1}x_{1}^{2} + b_{n2}x_{2}^{2} + b_{n3}x_{3}^{2} + b_{n12}x_{1}x_{2} + b_{n13}x_{1}x_{3} + b_{n23}x_{2}x_{3} + b_{n12}"x_{1}x_{2}^{2} + b_{n13}"x_{1}x_{3}^{2} + b_{n23}"x_{2}x_{3}^{2} + b_{n1"2}x_{1}^{2}x_{2} + b_{n1"3}x_{1}x_{3} + b_{n23}"x_{2}x_{3}^{2} + b_{n1"2}"x_{1}x_{2}^{2} + b_{n1"3}x_{1}^{2}x_{3} + b_{n2"3}x_{2}^{2}x_{3} + b_{n1"2}"x_{1}^{2}x_{2}^{2} + b_{n1"3}"x_{1}^{2}x_{3}^{2} + b_{n2"3}"x_{2}^{2}x_{3}^{2} + b_{n1"2}"x_{1}^{2}x_{3}^{2} + b_{n2"3}"x_{2}^{2}x_{3}^{2} + b_{n1"2}"x_{1}^{2}x_{3}^{2} + b_{n2"3}"x_{2}^{2}x_{3}^{2} + b_{n1"2}"x_{1}^{2}x_{3}^{2} + b_{n2"3}"x_{2}^{2}x_{3}^{2} + b_{n1"3}"x_{1}^{2}x_{3}^{2} + b_{n2"3}"x_{2}^{2}x_{3}^{2} +$$

gdzie:

n - jest liczbą naturalną, będącą numerem kolejnego modelu; przy czym w niniejszej rozprawie: $1 \le n \le 40$,

 $a_{n0}, b_{n1}, \dots, b_{n23}$ – współczynniki równania stopnia drugiego, x_1, \dots, x_3 – wielkości wejściowe.

Poszczególne składowe modeli przedstawiono w tab. 7.11 - 7.20. Zaprezentowane modele tworzone są tylko przez istotne wielkości wejściowe procesu separacji z pominięciem czynników, których wpływ był nieistotny. Istotność poszczególnych wielkości wejściowych zbadano za pomocą testu t-Studenta, którego wyniki zamieszczono w załączniku (tab. Z.11- Z.20).

Przed wygenerowaniem modeli za pomocą pakietu Statistica 10 zakodowano wartości czynników wyjściowych do postaci tzw. logitów (L) w celu usprawnienia obliczeń. Otrzymane w ten sposób struktury modeli zaprezentowane w tab. 7.11 - 7.20 po uzupełnieniu wartościami naturalnymi czynników wejściowych, w celu uzyskania rzeczywistych danych modelu y_n należy odkodować stosując algorytm (7.1)

$$y'_n = \left(\frac{e^{L(y_n)}}{1 + e^{L(y_n)}}\right) \cdot 100$$
 (7.1)

Otrzymane wówczas wartości y'_n wyrażone są w jednostkach rzeczywistych tzn. w procentach.

| Wielkości wyjściowe (modelowe) | Stała regresji | Warte współc wejściow | \mathbf{R}^2 | | |
|--------------------------------------|-------------------|---|---|---|---------|
| | | x_1^{2} | X ₃ | x_{3}^{2} | |
| D | 82 41121 | 0,10406 | -3,03950 | 0,02896 | 0.68674 |
| D_{PVC} | 82,41121 | X ₁ X ₃ | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | 0,08074 |
| | | -0,09698 | 0,00050 | 0,00107 | |
| | | x ₁ ² | x_{3}^{2} | x ₁ x ₃ | |
| D | 21 5765 | 0,3353 | 0,0106 | 0,4037 | 0 41267 |
| D_{PE} | -34,3203 | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | 0,41207 |
| | | -0,0065 | -0,0320 | 0,0004 | |
| | 33,81218 | x ₁ | x_1^{2} | X 3 | |
| | | -0,37071 | 0,39419 | -0,33959 | 0,88487 |
| F | | x_{3}^{2} | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | |
| \boldsymbol{E}_{PVC} | | 0,00309 | -0,00175 | -0,01986 | |
| | | $x_1^2 x_3^2$ | X ₂ X ₃ | | |
| | | 0,00029 | 0,00104 | | |
| | | x ₁ | x_1^{2} | $\mathbf{x_2}^2$ | |
| | | 13,1193 | -0,4972 | 0,0067 | |
| E_{PE} | 12 1055 | x_{3}^{2} | $x_1 x_2^2$ | x ₁ x ₃ | 0 70264 |
| | -40,4900 | 0,0081 | -0,0002 | -0,1258 | 0,79204 |
| | | $x_1^2 x_3$ | X ₂ X ₃ | | |
| | | 0,0047 | -0,0070 | | |

Tabela 7.11. Parametry modeli procesu separacji mieszaniny PVC/PE

| Wielkości wyjściowe (modelowe) | Stała regresji | Wart współczynni w | R ² | | |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------|---|-------------|---------|
| | | x ₁ | x_1^2 | x_{3}^{2} | |
| Δ | 10.00502 | -5,52991 | 0,29456 | -0,00241 | 0.31216 |
| D_{PVC} | 19,09392 | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | | 0,31210 |
| | | 0,00039 | -0,00195 | | |
| | | x_1^2 | X ₃ | x_{3}^{2} | |
| מ | 157 316 | 0,615 | 7,316 | -0,072 | 0.01008 |
| D_{PET} | -137,310 | x ₁ x ₃ | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | 0,91098 |
| | | -0,313 | 0,004 | -0,009 | |
| | 34,20222 | X ₁ | x_1^2 | X 3 | 0,88787 |
| | | -0,37893 | 0,39461 | -0,36146 | |
| E | | x_{3}^{2} | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | |
| LPVC | | 0,00342 | -0,00175 | -0,01979 | |
| | | $x_1^2 x_3^2$ | X ₂ X ₃ | | |
| | | 0,00028 | 0,00102 | | |
| | | x ₁ | x_1^{2} | X 3 | |
| | | -1,6941 | 0,0855 | 3,5972 | |
| E | 06 6625 | x_{3}^{2} | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | 0.05225 |
| L _{PET} | -90,0023 | -0,0348 | 0,0016 | 0,0027 | 0,93223 |
| | | $x_1^2 x_3^2$ | | | |
| | | -0,0001 | | | |

Tabela 7.12. Parametry modeli procesu separacji mieszaniny PVC/PET

| Wielkości wyjściowe (modelowe) | Stala regresji | Wartości poszczególnych współczynników wielkości wejściowych w danym modelu | | | \mathbf{R}^2 |
|--------------------------------------|-------------------|---|-------------------------------|-------------|----------------|
| | | x ₁ | x_1^2 | X 3 | |
| D | 2002 | -2,64819 | 0,03489 | -2,85939 | 0 51911 |
| D_{PVC} | 74,78225 | x_{3}^{2} | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | 0,31011 |
| | | 0,02856 | -0,00056 | 0,00306 | |
| | | x ₁ | X3 | $x_1^2 x_3$ | |
| D | 26 2676 | 2,2829 | 0,2268 | -0,0007 | 0.71092 |
| D_{PP} | -36,2676 | $x_1^2 x_3^2$ | | | 0,71982 |
| | | -0,0000 | | | |
| | 34,15924 | x ₁ | x ₁ ² | X 3 | |
| | | -0,30748 | 0,38646 | -0,36492 | 0,88398 |
| E | | x ₃ ² | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | |
| E_{PVC} | | 0,00353 | -0,00178 | -0,01967 | |
| | | $x_1^2 x_3^2$ | X ₂ X ₃ | | |
| | | 0,00029 | 0,00094 | | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | X 3 | |
| | | -3,76810 | -0,05076 | 0,01612 | |
| E | ((5052 | x ₃ ² | x ₁ x ₃ | $x_1 x_3^2$ | 0.07022 |
| E _{PP} | -0,03932 | -0,00845 | -0,05333 | 0,00373 | 0,97955 |
| | | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | | |
| | | 0,01598 | -0,00030 | | |

Tabela 7.13. Parametry modeli procesu separacji mieszaniny PVC/PP

| Wielkości wyjściowe (modelowe) | Stala regresji | Warte współc wejściow | Wartości poszczególnych współczynników wielkości wejściowych w danym modelu | | |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------|---|---------------|---------|
| | | x ₁ | x_1^2 | X 3 | |
| | | -8,29279 | -0,05785 | -1,03791 | |
| D | 26 5 4 2 2 0 | x_{3}^{2} | X ₁ X ₃ | $x_1 x_3^2$ | 0.00001 |
| D_{ABS} | 20,34330 | 0,00511 | 0,29437 | -0,00060 | 0,99991 |
| | | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | | |
| | | 0,00857 | -0,00022 | | |
| | | x ₁ ² | X ₃ | x_{3}^{2} | |
| | -189,927 | 0,765 | 7,561 | -0,064 | 0,90108 |
| 5 | | x ₁ x ₃ | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | |
| D_{PET} | | -0,0018 | -0,001 | -0,028 | |
| | | $x_1^2 x_3^2$ | | | |
| | | 0,001 | | | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | X 3 | |
| F | 0.92051 | 3,12937 | -0,08756 | 1,04850 | 0.05050 |
| \boldsymbol{L}_{ABS} | -9,82931 | x ₃ ² | x ₁ x ₃ | $x_1^2 x_3^2$ | 0,93039 |
| | | -0,00889 | -0,05426 | -0,00001 | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | X 3 | |
| E | 112.956 | 2,774 | -0,124 | 3,593 | 0.00771 |
| E _{PET} | -112,836 | x ₃ ² | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | 0,90771 |
| | | -0,029 | 0,003 | -0,001 | |

Tabela 7.14. Parametry modeli procesu separacji mieszaniny PET/ABS

| Wielkości wyjściowe (modelowe) | Stała regresji | Warte współc wejściow | Wartości poszczególnych współczynników wielkości wejściowych w danym modelu | | |
|--------------------------------------|-------------------|---|---|-------------|---------|
| | | x ₁ | x_1^2 | X 3 | |
| | | 49,661 | -2,172 | 6,577 | |
| D | 100 020 | x_{3}^{2} | X ₁ X ₃ | $x_1 x_3^2$ | 0.00078 |
| D_{PE} | -190,020 | -0,054 | -1,665 | 0,014 | 0,99978 |
| | | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | | |
| | | 0,073 | -0,001 | | |
| | | x ₁ | X ₃ | x_{3}^{2} | |
| | | 9,52636 | -0,34520 | 0,00895 | |
| D | -3,52586 | x ₁ x ₃ | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | 0,88447 |
| D_{PET} | | -0,20961 | -0,00028 | -0,00894 | |
| | | $x_1^2 x_3^2$ | | | |
| | | 0,00019 | | | |
| | | x ₁ | x_1^2 | $x_1 x_2^2$ | |
| E | 26 2010 | 5,5977 | -0,1528 | -0,0003 | 0.76151 |
| \boldsymbol{L}_{PE} | -20,8910 | X ₁ X ₃ | $x_1^2 x_3$ | | 0,70131 |
| | | 0,0389 | -0,0029 | | |
| | | x ₁ | x_1^{2} | X 3 | |
| | | 1,69411 | -0,08551 | -3,59721 | |
| F | 06 66255 | x_{3}^{2} | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | 0.05225 |
| L _{PET} | 90,00233 | 0,03481 | -0,00162 | -0,00268 | 0,93223 |
| | | $x_1^2 x_3^2$ | | | |
| | | 0,00011 | | | |

Tabela 7.15. Parametry modeli procesu separacji mieszaniny PE/PET

| Wielkości wyjściowe (modelowe) | Stała regresji | Wartości poszczególnych współczynników wielkości wejściowych w danym modelu | | | R ² |
|--------------------------------------|-------------------|---|---|---|----------------|
| | | X 1 | x_1^{2} | X 3 | |
| | | 69,463 | -2,915 | 12,202 | |
| Δ | 224 011 | x_{3}^{2} | x ₁ x ₃ | $x_1 x_3^2$ | 0.00085 |
| D_{PE} | -524,911 | -0,101 | -2,542 | 0,021 | 0,99983 |
| | | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | | |
| | | 0,106 | -0,001 | | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | X ₃ | |
| | | -6,9615 | 1,0060 | 0,7721 | |
| D | -46,4133 | x ₁ x ₃ | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | 0,88361 |
| D_{PP} | | 0,8144 | -0,0110 | -0,0681 | |
| | | $x_1^2 x_3^2$ | | | |
| | | 0,0008 | | | |
| | | X 1 | x_1^{2} | X ₂ | 0.00507 |
| | | 13,2453 | -0,4992 | -2,2363 | |
| E | 17 0900 | $\mathbf{x_2}^2$ | x_{3}^{2} | $x_1 x_2^2$ | |
| L_{PE} | -17,9890 | 0,0465 | 0,0072 | -0,0002 | 0,82750 |
| | | X ₁ X ₃ | $x_1^2 x_3$ | X ₂ X ₃ | |
| | | -0,1286 | 0,0047 | -0,0025 | |
| | | x ₁ | x_1^{2} | X 3 | |
| | | 3,745386 | 0,048188 | -0,025020 | |
| Г | 6 750822 | x_{3}^{2} | X ₁ X ₃ | $x_1 x_3^2$ | 0.07010 |
| ₽2 pp | 0,750855 | 0,008562 | 0,056380 | -0,003771 | 0,77912 |
| | | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | | |
| | | -0,016013 | 0,000306 | | |

Tabela 7.16. Parametry modeli procesu separacji mieszaniny PE/PP

| Wielkości wyjściowe (modelowe) | Stała regresji | Warte współo wejściov | Wartości poszczególnych współczynników wielkości wejściowych w danym modelu | | |
|--------------------------------------|-------------------|---|---|---|---------|
| | | X ₁ | X ₃ | X ₁ X ₃ | |
| D | 50 0061 | 0,3102 | 0,9933 | 0,0871 | 056169 |
| D_{PVC} | -39,0004 | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3^2$ | | 0,30108 |
| | | -0,0011 | -0,00004 | | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | X3 | |
| | | -8,02300 | -0,06820 | -0,92491 | |
| | | x ₃ ² | x ₁ x ₂ | x ₁ x ₃ | |
| D | 24 02097 | 0,00309 | -0,00020 | 0,27593 | 0,99993 |
| D_{ABS} | 24,92987 | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | |
| | | -0,00028 | 0,00927 | -0,00023 | |
| | | x ₂ x ₃ | | | |
| | | 0,00005 | | | |
| | | x ₁ | x_1^{2} | X 3 | |
| | | 0,3245 | -0,3917 | 0,3752 | |
| F | 21 7695 | x_{3}^{2} | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | 0 99650 |
| E_{PVC} | -34,2083 | -0,0037 | 0,0018 | 0,0198 | 0,88039 |
| | | $x_1^2 x_3^2$ | X ₂ X ₃ | | |
| | | -0,0003 | -0,0011 | | |
| | | x ₁ | x1 ² | X ₃ | |
| E | 0 07121 | 2,94714 | -0,08646 | 0,98498 | 0.04664 |
| E _{ABS} | -8,2/131 | x_{3}^{2} | X ₁ X ₃ | $x_1^2 x_3^2$ | 0,94004 |
| | | -0,00841 | -0,04835 | -0,000004 | |

Tabela 7.17. Parametry modeli procesu separacji mieszaniny PVC/ABS

| Wielkości wyjściowe (modelowe) | Stała regresji | Wart współ wejściov | \mathbf{R}^2 | | |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------------|---|---|---------|
| | | x_1^{2} | x_{3}^{2} | X ₁ X ₃ | |
| D_{PE} | 15 5695 | -0,0092 | 0,0071 | 0,1237 | 0.41222 |
| | -15,5005 | $x_1 x_3^2$ | $x_1^2 x_3$ | | 0,41555 |
| | | -0,0017 | -0,0014 | | |
| | | x ₁ ² | x_2^{2} | X3 | |
| | | -0,26510 | -0,00245 | -1,74035 | |
| D | 21,06628 | x ₃ ² | $x_1 x_2^2$ | x ₁ x ₃ | 0,87244 |
| D_{ABS} | | 0,01954 | 0,00014 | 0,31034 | |
| | | $x_1 x_3^2$ | | | |
| | | -0,00366 | | | |
| | -43,4638 | x ₁ | x ₁ ² | x_2^{2} | 0,78512 |
| | | 13,1399 | -0,4997 | 0,0070 | |
| F | | x_{3}^{2} | $x_1 x_2^2$ | X ₁ X ₃ | |
| E_{PE} | | 0,0082 | -0,0002 | -0,1262 | |
| | | $x_1^2 x_3$ | X ₂ X ₃ | | |
| | | 0,0047 | -0,0072 | | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | X3 | |
| E. | 9 66126 | 2,98384 | -0,08464 | 1,00211 | 0.05146 |
| L _{ABS} | -8,00120 | x ₃ ² | X ₁ X ₃ | $x_1^2 x_3^2$ | 0,93140 |
| | | -0,00853 | -0,05026 | -0,000003 | |

Tabela 7.18. Parametry modeli procesu separacji mieszaniny PE/ABS

| Wielkości wyjściowe (modelowe) | Stała regresji | Wart współ wejściov | \mathbf{R}^2 | | | |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------------|---|-----------------------|---------|--|
| | | x ₁ | x_1^{2} | X 3 | | |
| D | 164 426 | 6,462 | 0,185 | 6,735 | 0.00062 | |
| D_{PET} | -104,420 | x_{3}^{2} | x ₁ x ₃ | $x_1 x_3^2$ | 0,99902 | |
| | | -0,056 | -0,394 | 0,003 | | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | X3 | | |
| | | -63,7085 | 3,4452 | -7,8922 | | |
| מ | 161 3100 | x_{3}^{2} | x ₁ x ₃ | $x_1 x_3^2$ | 0.03175 | |
| D_{PP} | 101,5177 | 0,0838 | 3,1042 | -0,0327 | 0,93175 | |
| | | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | | | |
| | | -0,1670 | 0,0017 | | | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | X ₃ | | |
| F | 112 205 | 2,717 | -0,112 | 3,617 | 0,90691 | |
| \boldsymbol{E}_{PEY} | -115,295 | x_{3}^{2} | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | | |
| | | -0,029 | 0,002 | -0,0003 | | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | X3 | | |
| E_{PP} | | 4,259186 | 0,023476 | 0,039589 | | |
| | 5 421927 | x ₃ ² | x ₁ x ₃ | $x_1 x_3^2$ | 0.07062 | |
| | 3,431837 | 0,007904 | 0,031133 | -0,003513 | 0,97962 | |
| | | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | | | |
| | | -0,014777 | 0,000293 | | | |

Tabela 7.19. Parametry modeli procesu separacji mieszaniny PET/PP

| Wielkości wyjściowe (modelowe) | Stała regresji | Wart współ wejściov | \mathbf{R}^2 | | | |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------|---|-----------------------|---------|--|
| | | x_1^2 | X ₂ | x_{3}^{2} | | |
| | | -0,44457 | -0,00286 | -0,00798 | | |
| D | 16 61083 | $x_1^2 x_2$ | X ₁ X ₃ | $x_1 x_3^2$ | 0.02265 | |
| D_{ABS} | 10,01985 | 0,000004 | -0,26945 | 0,00570 | 0,92203 | |
| | | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | $x_2 x_3^2$ | | |
| | | 0,03532 | -0,00052 | 0,000003 | | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | x_{3}^{2} | | |
| D_{PP} | -9,04962 | -9,84569 | 0,63072 | -0,00810 | 0,72263 | |
| | | x ₁ x ₃ | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | | |
| | | 0,29348 | -0,01609 | 0,00001 | | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | X ₃ | | |
| F | -8,92990 | 3,02321 | -0,08590 | 1,01218 | 0,95045 | |
| E_{ABS} | | x_{3}^{2} | X ₁ X ₃ | $x_1^2 x_3^2$ | | |
| | | -0,00860 | -0,05116 | -0,0000034 | | |
| | | x ₁ | x ₁ ² | X 3 | | |
| E _{PP} | | -0,00031 | -0,00031 | 0,01089 | | |
| | 6 50507 | x_{3}^{2} | x ₁ x ₃ | $x_1 x_3^2$ | 0.07716 | |
| | -0,39307 | -0,00840 | -0,05189 | 0,00372 | 0,97716 | |
| | | $x_1^2 x_3$ | $x_1^2 x_3^2$ | | | |
| | | 0,01609 | -0,00031 | | | |

Tabela 7.20. Parametry modeli procesu separacji mieszaniny PP/ABS

7.4. ANALIZA BADAŃ EKSPERYMENTU - PROCESU SEPARACJI

Wyniki badań eksperymentalnych przedstawiające uzyskane efekty separacji zestawiono w tab. 7.1 – 7.10. Otrzymaną dokładność oraz efektywność separacji danego składnika mieszaniny przyjęto klasyfikować według trzypoziomowej skali skuteczności (S) procesu. Przedziały wartości opisujących spełnienie efektów separacji z danego poziomu skuteczności (SI \div SIII) przedstawiono w tabeli 7.21.

Tabela 7.21. Przedziały wartości efektów separacji z danego poziomu skuteczności (S)

| Efekty | Wartości poszczególnych poziomów skuteczności S | | | | | | |
|----------------------|---|-----------------|-----------------|--|--|--|--|
| separacji | SI | SII | SIII | | | | |
| D _{XYZ} [%] | <mark>60</mark> | <mark>70</mark> | <mark>80</mark> | | | | |
| E _{XYZ} [%] | 70 | <mark>80</mark> | <mark>90</mark> | | | | |

Dla ułatwienia analizy danych wielkości wyjściowe prezentujące dany poziom skuteczności (S) oznaczono trzema rodzajami kolorów: czerwony dla (SI), niebieski dla (SII), zielony dla (SIII) co zaprezentowano w tab. 7.1 – 7.10 oraz w tab. Z.1 - Z.10. Przyjęte oznaczenie dotyczy zarówno wielkości charakteryzujących daną parę prezentujących ten sam poziom jak i występujących na różnych poziomach spełniających kryterium (S). Dodatkowo kolorem szarym oznaczono spełnienie kryterium (S) pojedynczej wielkości wyjściowej z danej pary.

W celu dokładniejszej analizy badań eksperymentalnych przeprowadzono ocenę podatności danej mieszaniny na separację, wyrażoną w postaci rankingu punktowego. Podatność określa zdolność do rozdziału mieszaniny na podstawie różnicy w twardości. Ranking sporządzono wykorzystując trzypoziomową skalę skuteczności (S) nadając wagę punktową efektom separacji składnika mieszaniny na danym poziomie (S) zgodnie z tab. 7.22.

Tabela 7.22. Kryteria punktacji wielkości wyjściowych

| | Liczba punktów dla danej v | Liczba punktów dla danej wielkości wyjściowej | | | | | |
|------------------|----------------------------|---|--|--|--|--|--|
| Poziom | Dla dwóch składników | Dla jednego składnika | | | | | |
| skuteczności (S) | mieszaniny | mieszaniny | | | | | |
| SI | 2 | 1 | | | | | |
| SII | 3 | 2 | | | | | |
| SIII | 4 | 3 | | | | | |

Zgodnie z powyższą tabelą efekty separacji oceniano według dwóch rodzajów punktacji: a) gdy wyniki doświadczenia opisywane są przez wielkości wyjściowe spełniające kryterium (S) dla obydwu składników mieszaniny, wówczas przydzielana jest liczba punktów w ilości 2, 3 lub 4 w zależności od poziomu skuteczności (S), b) gdy wyniki doświadczeń opisywane są przez wielkości wyjściowe spełniające kryterium (S) dla jednego ze składników mieszaniny przydzielana jest liczba punktów od 1 do 3. Wyższa punktacja w przypadku (a) podyktowana jest jednoczesnym spełnieniem kryterium (S) dla dwóch składników mieszaniny, dzięki czemu otrzymywane są dwa odseparowane strumienie, przez co proces separacji, gdy spełnia założone przez realizatora kryteria, jest zakończony. W przypadku (b) uzyskiwana jest mieszanina rozdzielana w założonym stopniu lecz tylko dla jednego ze strumieni mieszaniny.

W tabeli 7.23. zestawiono ranking badanych mieszanin.

| | Liczba punktów | | | | Dátnico | Różnica |
|----------------------|----------------------------|----|-------------------------|---------------------------------|---------|---------|
| Badane mieszaniny | y SI SII SIII SIII punktów | | w twardości [° Sh D] | w temp. mięknienia [°C] | | |
| ABS/PE | 1 | 6 | 204 | 211 | 18 | 24 |
| PET/ABS | 4 | 10 | 154 | 168 | 2 | 27 |
| PVC/ABS | - | 6 | 105 | 111 | 5 | 27 |
| PE/PP | 3 | - | 105 | 108 | 8 | 10 |
| PVC/PE | - | - | 96 | 96 | 13 | 3 |
| PET/PE | - | - | 96 | 96 | 16 | 3 |
| ABS/PP | 3 | 11 | 71 | 85 | 10 | 14 |
| PET/PP | 4 | 3 | 56 | 63 | 8 | 13 |
| PVC/PET | 3 | 9 | 45 | 57 | 3 | 0 |
| PVC/PP | - | - | - | 0 | 5 | 13 |

Tabela 7.23. Ranking badanych mieszanin

Z analizy badań eksperymentu procesu separacji na podstawie różnicy w twardości można sformułować następujące wnioski:

 Najwyższą pozycję w rankingu zajmuje mieszanina ABS/PE, której wielkości wyjściowe obydwu składników przyjmują wartości na trzecim poziomie skuteczności (SIII) aż w 12 doświadczeniach. Dokładność i efektywność dla ABS wynoszą odpowiednio od 97,9 % do 100 % i 91,5 % do 100 % oraz PE od 92,0 % do 100 % i 98 % do 100 %. W kolejnych trzech doświadczeniach poziomy (SII) i (SIII) spełnione zostały tylko dla PE z dokładnością 72 % i efektywnością bliską 100 %. Zgodnie z wynikami przedstawionymi w załączniku Z.1 – Z.10 najlepsze wyniki rozdziału ABS/PE uzyskano prowadząc proces przy sile nacisku igieł 10 N, dla mieszaniny ogrzewanej od 30 °C – 50 °C w całym zakresie prędkości obrotowej. Podczas procesu prowadzonego przy sile nacisku igieł 17 N bardzo dobre wyniki otrzymano dla prędkości obrotowych od 15 min⁻¹ do 35 min⁻¹ mieszaniny ogrzewanej do 30 °C.

- 2. Wielkości wyjściowe mieszaniny PET/ABS dla obydwu składników przyjmują wartości na trzecim poziomie skuteczności (SIII) w 9 doświadczeniach, z E_{ABS} występującym na (SII) w dwóch doświadczeniach. Dokładność i efektywność dla PET wynoszą odpowiednio od 88,5 % do 100 % i 82,3 % do 100 % oraz ABS od 84,5 % do 100 % i 88,5 % do 100 %. Wartości efektów spełniających wspomniane kryterium osiągnięto w przypadku mieszaniny rozdzielanej przy sile nacisku 10 N, ogrzewanej od temp. 50 °C 70 °C, w całym zakresie prędkości obrotowej. Podobne wyniki uzyskano prowadząc separację z siłą nacisku 3 N w całym zakresie prędkości, w przypadku mieszaniny ogrzewanej do temp. 50 °C.
- 3. Wielkości wyjściowe mieszaniny PVC/ABS przyjmują dla obydwu składników wartości na trzecim poziomie skuteczności (SIII) w 6 doświadczeniach. Dokładność i efektywność w przypadku PVC wynoszą odpowiednio od 92,8 % do 100 % i 100 % oraz dla ABS 100 % i 92,2 % do 100 %. Podobnie jak w przypadku PET/ABS wartości efektów spełniających wspomniane kryterium osiągnięto dla mieszaniny rozdzielanej przy sile nacisku 10 N, ogrzewanej od 50°C do temp. 70 °C w całym zakresie prędkości obrotowej.
- 4. Wielkości wyjściowe mieszaniny PE/PP dla obydwu składników przyjmują wartości na trzecim poziomie skuteczności (SIII) w 6 doświadczeniach. Dokładność i efektywność w przypadku PE wynoszą odpowiednio od 92,4 % do 100 % i 99,8 % do 100 % oraz PP od 99,8 % do 100 % i od 91,8 % do 100 %. Wartości efektów spełniających poziom (SIII) osiągnięto dla mieszaniny rozdzielanej przy sile nacisku od 10 N 17 N, ogrzewanej do 30 °C w całym zakresie prędkości.
- 5. Wielkości wyjściowe mieszaniny PVC/PE dla obydwu składników przyjmują wartości na trzecim poziomie skuteczności (SIII) w 6 doświadczeniach. Dokładność i efektywność dla PVC wynoszą odpowiednio od 99,1 % do 100 % i od 96,2 % do 100 % oraz PE od 98,4 % do 100 % i 99,1 % do 100 %. Efekty procesu spełniające kryterium osiągnięto przy sile nacisku od 10 N 17 N, ogrzewanej do 30°C w całym zakresie prędkości obrotowej.

- 6. Wielkości wyjściowe mieszaniny PET/PE dla obydwu składników przyjmują wartości na trzecim poziomie skuteczności (SIII) w 6 doświadczeniach. Dokładność i efektywność w przypadku PET wynoszą odpowiednio od 98,5 % do 100 % i od 97,8 % do 100 % oraz PE od 98 % do 100 % i od 98,5 % do 100 %. Podobnie jak dla PVC/PE wartości efektów spełniających poziom (SIII) osiągnięto dla mieszaniny rozdzielanej przy sile nacisku od 10 N do 17 N, ogrzewanej do 30 °C dla całego zakresu prędkości obrotowej.
- 7. Wielkości wyjściowe mieszaniny ABS/PP dla obydwu składników przyjmują wartości na trzecim poziomie skuteczności (SIII) w 4 doświadczeniach z D_{ABS} występującym na (SII) i E_{PP} na (SI) w jednym doświadczeniu. Dokładność i efektywność dla ABS wynoszą odpowiednio od 78 % do 100 % i od 90 % do 100 % oraz PP od 91 % do 100 % i od 71,9 % do 100 %. Efekty separacji spełniające poziom (SIII) osiągnięto przy sile nacisku igieł 10 N w całym zakresie prędkości obrotowej w przypadku mieszaniny ogrzewanej do 70 °C w 3 doświadczeniach a także w jednym z doświadczeń wraz z wartościami na poziomach (SII) i (SI) prowadząc proces przy sile 10 N dla mieszaniny ogrzewanej do 50 °C przy prędkości obrotowej 15 min⁻¹.
- 8. Wielkości wyjściowe mieszaniny PET/PP dla obydwu składników przyjmują wartości na trzecim poziomie skuteczności (SIII) w 3 doświadczeniach z E_{PET} występującym na (SII) w jednym z doświadczeń. Dokładność i efektywność w przypadku PET wynoszą odpowiednio 100 % i od 83,2 % do 94,3 % oraz PP od 85,6 % do 94,6 % i 100 %. Efekty separacji osiągnięto przy sile nacisku igieł 3 N w całym zakresie prędkości obrotowej w przypadku mieszaniny ogrzewanej do temp. 70°C.
- 9. Wielkości wyjściowe mieszaniny PVC/PET w 3 doświadczeniach dla obydwu składników przyjmują wartości na trzecim poziomie skuteczności z E_{PVC} oraz E_{PET} na poziomie (SII). Dokładność i efektywność dla PVC wynoszą odpowiednio od 81,3 % do 91,7 % i od 80,2 % do 90 % oraz PET od 80,5 % do 90,21 % i od 81,6 % do 91,9 %. Efekty separacji osiągnięto przy sile nacisku igieł 3N w całym zakresie prędkości dla mieszaniny ogrzewanej do temp. 70 °C. Dodatkowo w kolejnych 3 doświadczeniach wielkości przyjmują wartości na poziomie (SI) i (SIII) tylko dla PVC i wynoszą odpowiednio od 61,6 % do 66,7 % i 100 %.
- 10. Wielkości wyjściowe mieszaniny PVC/PP nie spełniają żadnego poziomu kryterium (S).

Przedstawione wyniki potwierdzają możliwość prowadzenia separacji na podstawie różnicy w twardości dla 9 z 10 badanych mieszanin. Najwyższą pozycję w rankingu a jednocześnie najlepszą podatność na separację wykazuje mieszanina ABS/PE, której wielkości wyjściowe dla obydwu składników przyjmują wartości (SIII) aż w 12 doświadczeniach. Następnie klasyfikuje się mieszanina PET/ABS z 9 doświadczeniami na trzecim poziomie spełnienia kryterium (S). Dla czterech mieszanin PVC/ABS, PP/PE, PVC/PE, PET/PE uzyskano efekty separacji na trzecim poziomie w 6 doświadczeniach. Zadowalające rezultaty procesu uzyskano również dla mieszanin ABS/PP, PET/PP, PVC/PET, których efekty procesu jednocześnie dla dwóch wielkości wyjściowych spełniają kryterium skuteczności na trzecim i drugim poziomie. W przypadku mieszaniny PVC/PP uzyskano wyniki niezadowalające, które nie spełniły żadnego z założonych poziomów skuteczności.

Otrzymane wyniki wskazuja obszary efektywności metody rozdziału badanych mieszanin na podstawie różnicy w twardości. Na podstawie analizy wyników badań, widoczna jest zależność między różnicą w twardości rozdzielanych materiałów, a efektami procesu. Wzrost różnicy w twardości rozdzielanych tworzyw powoduje wzrost efektywności separacji. Zależność tą bardzo dobrze uwidacznia tabela 7.23. Mieszanina ABS/PE o największej różnicy w twardości wynoszącej 18 °Sh D zajmuje pierwsze miejsce w rankingu, natomiast mieszaniny PVC/PET oraz PVC/PP o jednych z najmniejszych różnic w twardości zajmuja dwa ostatnie miejsca. Odstępstwo od tej reguły wykazują mieszaniny PET/ABS oraz PVC/ABS zajmujące drugie oraz trzecie miejsce w rankingu (tab. 7.23), dla których różnica w twardości wynosi 2 °Sh D oraz 5 °Sh D. Mieszaniny te osiągały duże wartości efektów separacji podczas prowadzenia procesu w wyższych temperaturach ogrzewania wynoszących 50 °C – 70 °C z powodu dość znacznej różnicy temperatury mięknienia wynoszącej 27 °C. Pozwala to wnioskować, że mieszaniny dla których różnica w twardości jest niewystarczająca, lecz wykazują znaczną różnicę temperatury mięknienia mogą być rozdzielane z dobrymi efektami w wyższej temperaturze ogrzewania. Prawdopodobnie związane jest to ze wzrostem różnicy w twardości między rozdzielanymi tworzywami w wyższych temperaturach.

Mieszanina PET/PE pomimo zadowalających wyników separacji wykazuje ponad dwukrotnie gorszą podatność na separację w porównaniu z mieszaniną ABS/PE o zbliżonej różnicy w twardości. Podobne różnice widoczne są w przypadku mieszanin PE/PP oraz PET/PP. Może być to spowodowane rozbieżnością w dopasowaniu parametrów procesu separacji dla badanych mieszanin.

Mieszanina PVC/PET pomimo zbliżonej twardości oraz temp. mięknienia poszczególnych składników wykazuje podatność na separację prowadząc proces z siłą nacisku igieł 3 N w temp. ogrzewania 70 °C. W przypadku takich warunków termicznych prawdopodobnie wzrasta różnica w twardości pomiędzy rozdzielanymi frakcjami dzięki czemu możliwy jest rozdział osiągający kryterium skuteczności na 3 poziomie.

Mieszanina PVC/PP nie uzyskała żadnego z założonych efektów separacji. Przedstawione w (5.2) wyniki separacji wskazują, że powodem może być niewystarczająca siła nacisku igieł, której wartość wykracza poza zakres siły nacisku przyjętej na cele badań zasadniczych.

7.5. ANALIZA MODELI MATEMATYCZNYCH

Analizę modeli matematycznych procesu separacji przeprowadzono w oparciu o wartości współczynników determinacji (\mathbb{R}^2) zgodnie z tab. 7.11 – 7.20 oraz na podstawie tzw. reszt oznaczanych dalej jako (r), otrzymanych z różnic pomiędzy wartościami zmiennych wyjściowych uzyskanych podczas prowadzenia eksperymentu, a wartościami teoretycznymi modeli matematycznych (tab. Z.21- Z.57). Zgodność danych pomiarowych z danymi modelowymi przyjęto określać poziomem dokładności (PD) zgodnie z zależnością (7.4):

$$R^2 \ge 0.5 \ i \ z_1 \le r \le z_2 \tag{7.4}$$

Przeprowadzono analizę spełnienia kryterium (PD) na czterech poziomach od PDI do PDIV, ustalanych na podstawie przedziałów wartości reszt. Przedziały reszt spełniających dany poziom kryterium (PD) przedstawiono w (tab. 7.24). Poszczególne poziomy przyjęto oceniać zgodnie z przyjętą skalą zgodności : PDI - zgodność bardzo dobra, PDII - zgodność dobra, PDIII zgodność wystarczająca, PDIV - zgodność niewystarczająca.

| Zakres wartości | Poziom dokładności PD | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|------|-------|------|--|--|--|--|
| stałych $z_1 i z_2$ | PDI | PDII | PDIII | PDIV | | | | |
| z ₁ [%] | 0 | < 2 | < 5 | < 10 | | | | |
| z ₂ [%] | 2 | 5 | 10 | 100 | | | | |

Tabela 7.24. Przedziały wartości stałych z_1 i z_2 na poszczególnych poziomach (PD)

W przypadku każdego modelu spełniającego zależność $R^2 \ge 0.5$ wyznaczano 27 wartości bezwzględnych reszt. Wartości reszt z danego poziomu (PD) na poszczególnych poziomach oznaczono kolorem: czerwonym (PDI), niebieskim (PDII), zielonym (PDIII) oraz żółtym (PDIV) i zestawiono w tab. Z.21 - Z.57. W tab. 7.25 przedstawiono liczby reszt przyjmujących wartości poszczególnych poziomów dokładności (PD).

W celu przeprowadzenia analizy dokładności danych modelowych i pomiarowych, dokonano klasyfikacji modeli. Klasyfikację sporządzono na podstawie sumy liczby punktów poszczególnych reszt. Punkty przydzielono zgodnie z przyjętą oceną reszt w zależności od osiągniętego poziomu dokładności: a) 4 pkt. dla reszt z poziomu (PDI), b) 3 pkt. dla reszt z poziomu (PDII), c) 2 pkt. dla reszt z poziomu (PDII), d) 1 pkt. dla reszt z poziomu (PDIV). Modele klasyfikowano począwszy od najwyższej liczby punktów będącej sumą iloczynów reszt. Zestawienie przedstawia tab. 7.26. Dodatkowo w kolumnie oznaczonej R_{sr} przedstawiono wartości średnich arytmetycznych reszt. Waga wartości średnich R_{sr} jest odwrotnie proporcjonalna do wartości punktowych modeli. W sytuacji gdy dwa lub więcej modeli osiągnęło identyczną liczbę punktów, wyższą pozycję zajmował model o niższej wartości R_{sr} .

Analizie poddano 37 modeli spełniających zależność R² \geq 0,5. W przypadku trzech modeli: D_{PE} mieszaniny PVC/PE, D_{PVC} mieszaniny PVC/PET oraz D_{PE} mieszaniny ABS/PE powyższa zależność nie była osiągnięta.

Wynikiem przeprowadzonej analizy są następujące wnioski:

- Mieszaniny PET/PP opisują trzy modele zajmujące wysokie pozycje w klasyfikacji na 5 (D_{PET}), 7 (E_{PP}) oraz 10 (D_{PP}) miejscu. Modele te mają 27, 24 oraz 4 reszty występujące na pierwszym poziomie dokładności PDI. Świadczy to o bardzo dobrej zgodności danych modelowych z danymi pomiarowymi. Niższą zgodność wykazuje model E_{PET} sklasyfikowany na 23 miejscu w wyniku przeważającej liczby reszt na drugim poziomie dokładności PDII.
- 2. Modele D_{PE} oraz E_{PP} mieszaniny PE/PP zawierają 27 oraz 24 reszty na poziomie PDI osiągając małe wartości średnie $R_{\text{śr}} = 0,051$ oraz $R_{\text{śr}} = 0,774$ co klasyfikuje je na 3 oraz 6 pozycji. Wartości zmiennych wyjściowych modeli E_{PE} oraz D_{PP} wykazują mniejszą zgodność, na co wskazują średnie $R_{\text{śr}}$ wynoszące 4,398 oraz 4,150. Modele te zostały sklasyfikowane na 24 oraz 26 miejscu.
- 3. Analiza modeli mieszaniny ABS/PP wykazała dużą zgodność modelu E_{PP} zawierającego 24 reszty na poziomie PDI co klasyfikuje go na 9 miejscu. Mniej dokładne okazały się modele D_{ABS} oraz E_{ABS} z liczbą reszt 21 i 18 na poziomie PDI klasyfikując je na 13 oraz 14 pozycji. Najmniej dokładny okazał się model D_{PP} z 9 resztami na poziomie PDII oraz 12 na poziomie PDIII osiągając dużą wartość R_{śr} wynoszącą 5,887 i dlatego został skalsyfikowany na 33 miejscu.
- 4. Model D_{PE} mieszaniny PET/PE uzyskał 4 pozycję ze średnią R_{sr} 0,066 gdyż wszystkie jego reszty odpowiadają liczbie poziomu PDI. Mniejszą zgodność osiągnął model E_{PET} zajmujący 18 pozycję z bardzo dobrą zgodnością dla 15 reszt oraz dobrą dla 9 uzyskując R_{sr} 2,586. Modele D_{PET} oraz E_{PE} skalsyfikowane zostały na 22 oraz 27 miejscu z przeważającą liczbą reszt na poziomie PDII wynoszącą 14 oraz 12. Wartości średnie R_{sr} tych modeli wyniosły odpowiednio 3,768 oraz 5,083.
- 5. Model D_{ABS} mieszaniny PVC/ABS uzyskał pierwsze miejsce w klasyfikacji ze średnią R_{śr} wynoszącą 0,010. Mniejszą zgodność wykazuje model E_{ABS} z liczbą reszt na poziomie PDI w liczbie 18 oraz 6 reszt na poziomie PDII uzyskując 15 miejsce w klasyfikacji. Model E_{PVC} ze średnią R_{śr} 4,853 osiągnął 30 miejsce w klasyfikacji natomiast model D_{PVC} ostatnie miejsce ze średnią R_{śr} 8,368.

- 6. Model D_{ABS} mieszaniny PET/ABS osiągnął drugie miejsce w klasyfikacji z liczbą 27 reszt na poziomie PDI oraz średnią arytmetyczną reszt R_{śr} wynoszącą 0,040. Model E_{ABS} sklasyfikowany został na 12 miejscu uzyskując 18 reszt na poziomie PDI oraz 8 na poziomie PDII. Gorszą zgodność wykazały modele D_{PET} i E_{PET} z 20 oraz 25 pozycją w klasyfikacji.
- 7. Najwyższą dokładność separacji mieszaniny PVC/PET wykazały modele D_{PET} oraz E_{PET} zajmując 16 i 17 pozycje z liczbą 18 i 15 reszt na poziomie PDI oraz 6 i 9 na poziomie PDII. Znacznie gorszy okazał się model E_{PVC} (29 miejsce) z jedną resztą na poziomie PDI oraz 14 resztami na poziomie PDII z małą wartością R_{sr} wynoszącą 4,837.
- Modele E_{ABS} i D_{ABS} mieszaniny ABS/PE sklasyfikowane zostały na 11 i 19 miejscu osiągając 18 i 17 reszt na poziomie PD I oraz 8 i 5 reszt na poziomie PDII przy średnich wartościach R_{śr} wynoszących 1,986 i 2,880. Przeważająca liczba reszt modelu E_{PE} przyjmowała wartości na trzecim poziomie dokładności PD, co skutkowało sklasyfikowaniem go na 35 pozycji.
- Z modeli mieszaniny PVC/PP największą dokładność wykazał E_{PP} sklasyfikowany na 8 pozycji z 24 resztami na poziomie PDI o małej wartości R_{śr} wynoszącej 0,773. Gorsze okazały się modele D_{PP}, E_{PVC}, D_{PVC}, których znacząca liczba reszt przyjmowała wartości na poziomie PDII oraz PDIII zajmując 21, 28, 32 miejsce z wartościami R_{śr} z przedziału 4,216 5,128.
- 10. Modele mieszaniny PVC/PE E_{PVC}, E_{PE}, D_{PVC} sklasyfikowane zostały na ostatnich 31, 34 oraz 36 miejscach.

Celem analizy modeli matematycznych było sprawdzenie zgodności danych modelowych z wynikami badań eksperymentalnych, natomiast celem analizy wyników badań eksperymentalnych było ustalenie dla jakich zakresów wartości wielkości wejściowych efekty separacji spełniały kryterium skuteczności tego procesu. Są to odmienne analizy i nie należy ich porównywać.

W tabelach 7.25 oraz 7.26 przedstawiono poziomy dokładności reszt analizowanych modeli.

| Model | Rodzaj mieszaniny | \mathbf{R}^2 | Liczba reszt na poszczególnych poziomach dokładności | | | |
|------------------|----------------------|----------------|---|------|-------|------|
| | · · | | PDI | PDII | PDIII | PDIV |
| D _{ABS} | | 0,872 | 17 | 5 | 3 | 2 |
| E _{ABS} | ABS/PE | 0,951 | 18 | 8 | 1 | 0 |
| E _{PE} | | 0,785 | 6 | 6 | 13 | 2 |
| D _{PET} | | 0,901 | 8 | 10 | 9 | 0 |
| E _{PET} | | 0,908 | 3 | 17 | 6 | 1 |
| D _{ABS} | PEI/ABS | 0,999 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| E _{ABS} | | 0,951 | 18 | 8 | 1 | 0 |
| D _{PVC} | | 0,561 | 1 | 3 | 15 | 8 |
| E _{PVC} | | 0,887 | 1 | 14 | 12 | 0 |
| D _{ABS} | PVC/ADS | 0,999 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| E _{ABS} | | 0,947 | 18 | 6 | 2 | 1 |
| D _{PP} | | 0,883 | 3 | 17 | 6 | 1 |
| E _{PP} | DD/DE | 0,979 | 24 | 3 | 0 | 0 |
| D _{PE} | PP/PE | 0,999 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| E _{PE} | | 0,827 | 6 | 11 | 10 | 0 |
| D _{PVC} | | 0,687 | 6 | 5 | 7 | 9 |
| E _{PVC} | PVC/PE | 0,885 | 1 | 14 | 12 | 0 |
| E _{PE} | | 0,793 | 6 | 7 | 12 | 2 |
| D _{PET} | | 0,884 | 6 | 14 | 5 | 2 |
| E _{PET} | DET/DE | 0,952 | 15 | 9 | 3 | 0 |
| D _{PE} | PEI/PE | 0,999 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| E _{PE} | | 0,762 | 5 | 12 | 8 | 2 |
| D _{ABS} | | 0,922 | 21 | 0 | 6 | 0 |
| EABS | | 0,950 | 18 | 6 | 3 | 0 |
| D _{PP} | ADS/FF | 0,722 | 3 | 9 | 12 | 3 |
| E _{PP} | | 0,977 | 24 | 2 | 1 | 0 |
| D _{PET} | | 0,999 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| E _{PET} | DET/DD | 0,907 | 4 | 16 | 6 | 1 |
| D _{PP} | FL1/FF | 0,932 | 24 | 0 | 2 | 1 |
| E _{PP} | | 0,979 | 24 | 2 | 1 | 0 |
| E _{PVC} | | 0,888 | 1 | 14 | 12 | 0 |
| D _{PET} | PVC/PET | 0,911 | 18 | 6 | 2 | 1 |
| E _{PET} | | 0,952 | 15 | 9 | 3 | 0 |
| D _{PVC} | | 0,512 | 6 | 9 | 10 | 2 |
| E _{PVC} | | 0,884 | 1 | 15 | 10 | 1 |
| D _{PP} | rvC/rr | 0,720 | 6 | 14 | 6 | 1 |
| E _{PP} | | 0,979 | 24 | 2 | 1 | 0 |

Tabela 7.25. Ilości reszt na poszczególnych poziomach dokładności PD

| Nr | Model | Rodzaje mieszanin | Licz po | ba punkt oziomie d | Suma pkt. | R _{śr} | | |
|----|------------------|----------------------|------------|-----------------------|--------------|-----------------|-----|-------|
| | | | PDI | PDII | PDIII | PDIV | | |
| 1 | D _{ABS} | PVC/ABS | 108 | 0 | 0 | 0 | 108 | 0,010 |
| 2 | D _{ABS} | PET/ABS | 108 | 0 | 0 | 0 | 108 | 0,040 |
| 3 | D _{PE} | PP/PE | 108 | 0 | 0 | 0 | 108 | 0,051 |
| 4 | D _{PE} | PET/PE | 108 | 0 | 0 | 0 | 108 | 0,066 |
| 5 | D _{PET} | PET/PP | 108 | 0 | 0 | 0 | 108 | 0,127 |
| 6 | E _{PP} | PP/PE | 96 | 9 | 0 | 0 | 105 | 0,774 |
| 7 | E _{PP} | PET/PP | 96 | 6 | 2 | 0 | 104 | 0,771 |
| 8 | E _{PP} | PVC/PP | 96 | 6 | 2 | 0 | 104 | 0,773 |
| 9 | E _{PP} | ABS/PP | 96 | 6 | 2 | 0 | 104 | 0,812 |
| 10 | D _{PP} | PET/PP | 96 | 0 | 4 | 1 | 101 | 0,990 |
| 11 | EABS | ABS/PE | 72 | 24 | 2 | 0 | 98 | 1,986 |
| 12 | EABS | PET/ABS | 72 | 24 | 2 | 0 | 98 | 2,031 |
| 13 | EABS | ABS/PP | 72 | 18 | 6 | 0 | 96 | 1,803 |
| 14 | D _{ABS} | ABS/PP | 84 | 0 | 12 | 0 | 96 | 2,222 |
| 15 | EABS | PVC/ABS | 72 | 18 | 4 | 1 | 95 | 2,011 |
| 16 | D _{PET} | PVC/PET | 72 | 18 | 4 | 1 | 95 | 2,229 |
| 17 | E _{PET} | PVC/PET | 60 | 33 | 0 | 1 | 94 | 2,586 |
| 18 | E _{PET} | PET/PE | 60 | 27 | 6 | 0 | 93 | 2,586 |
| 19 | D _{ABS} | ABS/PE | 68 | 15 | 6 | 2 | 91 | 2,880 |
| 20 | D _{PET} | PET/ABS | 32 | 30 | 18 | 0 | 80 | 3,771 |
| 21 | D _{PP} | PVC/PP | 24 | 42 | 12 | 1 | 79 | 4,216 |
| 22 | D _{PET} | PET/PE | 24 | 42 | 10 | 2 | 78 | 3,768 |
| 23 | E _{PET} | PET/PP | 16 | 48 | 12 | 1 | 77 | 3,800 |
| 24 | E _{PE} | PP/PE | 24 | 33 | 20 | 0 | 77 | 4,398 |
| 25 | E _{PET} | PET/ABS | 12 | 51 | 12 | 1 | 76 | 3,793 |
| 26 | D _{PP} | PP/PE | 12 | 51 | 12 | 1 | 76 | 4,150 |
| 27 | E _{PE} | PET/PE | 20 | 36 | 16 | 2 | 74 | 5,083 |
| 28 | E _{PVC} | PVC/PP | 4 | 45 | 20 | 4 | 73 | 4,902 |
| 29 | E _{PVC} | PVC/PET | 4 | 42 | 24 | 0 | 70 | 4,837 |
| 30 | E _{PVC} | PVC/ABS | 4 | 42 | 24 | 0 | 70 | 4,853 |
| 31 | E _{PVC} | PVC/PE | 4 | 42 | 24 | 0 | 70 | 4,890 |
| 32 | D _{PVC} | PVC/PP | 18 | 27 | 20 | 2 | 67 | 5,128 |
| 33 | D _{PP} | ABS/PP | 12 | 27 | 24 | 3 | 66 | 5,887 |
| 34 | E _{PE} | PVC/PE | 18 | 21 | 24 | 2 | 65 | 4,753 |
| 35 | E _{PE} | ABS/PE | 18 | 18 | 26 | 2 | 64 | 4,854 |
| 36 | D _{PVC} | PVC/PE | 24 | 15 | 14 | 9 | 62 | 6,271 |
| 37 | D _{PVC} | PVC/ABS | 4 | 9 | 30 | 8 | 51 | 8,368 |

Tabela 7.26. Ranking modeli matematycznych

Analizę zgodności danych modelowych z danymi pomiarowymi przeprowadzono z wykorzystaniem 999 reszt. Prawie połowa wszystkich reszt, bo aż 48,65 % (486 reszt) przyjmowała wartości na pierwszym poziomie PDI. Kolejne pod względem liczebności były reszty przyjmujące wartości na drugim poziomie dokładności PDII w liczbie 273 co stanowi 27,33 %. Na trzecim poziomie PDIII sklasyfikowanych zostało 200 reszt, co stanowi 20 %. Najmniejszą liczbę stanowiły reszty czwartego poziomu PDIV w ilości 40 stanowiących 4 % wszystkich reszt.

Dodatkowo na podstawie wygenerowanych modeli określono istotność poszczególnych wielkości wejściowych na efekty procesu.

Poszczególne krotności występowania wielkości wejściowych oraz interakcji tych wielkości w danych grupach modeli D_{XYZ} i E_{XYZ} przedstawiono w tab. 7.27.

| Wielkości wejściowe wraz | | Krotność w wielkości v | S | |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------|------|
| z interakcja | imi | D _{XYZ} | E _{XYZ} | Suma |
| Sila pagisku igisl | x ₁ | 12 | 20 | |
| | x_1^2 | 16 | 20 | 68 |
| (A]) | Suma | 28 | 40 | 00 |
| Dradkoćá obrotowa | x ₂ | 2 | 1 | |
| rięukość obrotowa | x_2^2 | 1 | 3 | 7 |
| (\mathbf{x}_2) | Suma | 3 | 4 | Ι |
| Tommonotumo | X3 | 15 | 15 | |
| remperatura | x_{3}^{2} | 17 | 18 | 65 |
| ogrzewania (x_3) | Suma | 32 | 33 | 05 |
| | $x_1 x_2$ | 1 | 0 | |
| | $x_1 x_2^2$ | 1 | 4 | |
| Interakcje (x_1 i x_2) | $x_1^2 x_2$ | 1 | 0 | 7 |
| | $x_1^2 x_2^2$ | 0 | 0 | / |
| | Suma | 3 | 4 | |
| | x ₁ x ₃ | 16 | 11 | |
| | $x_1 x_3^2$ | 17 | 9 | |
| Interakcje (x_1 i x_3) | $x_1^2 x_3$ | 16 | 15 | 112 |
| | $x_1^2 x_3^2$ | 13 | 16 | 115 |
| | Suma | 62 | 51 | |
| | x ₂ x ₃ | 1 | 6 | |
| | $x_2 x_3^2$ | 1 | 0 | |
| Interakcje (x_2 i x_3) | $x_2^2 x_3$ | 0 | 0 | o |
| | $x_2^2 x_3^2$ | 0 | 0 | o |
| | Suma | 2 | 6 | |

Tabela 7.27. Krotność występowania reszt w danych grupach modeli

W obliczeniach uwzględniono 37 modeli spełniających warunek $R^2 \ge 0.5$. Istotność szacowano na podstawie krotności występowania danej wielkości Analiza danych z tabeli 7.27 uwidacznia, że najbardziej istotną wielkością wejściową jest interakcja zmiennych x_1 i x_3 czyli siły nacisku igieł oraz temperatury ogrzewania mieszaniny. Interakcja ta występuje 113 razy co stanowi 42,2 % wszystkich wielkości występujących w modelach. Siła nacisku (x_1) znajduje się na drugiej pozycji pod względem istotności z krotnością występowania 68 razy co stanowi 25,4 % wszystkich wielkości charakteryzujących analizowane modele. Trzecią najistotniejszą wielkością jest temperatura ogrzewania mieszaniny x_3 z krotnością 65 razy (24,3 %).

Wielkości x_2 , x_1x_2 , x_2x_3 okazały się mało istotne.

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

W rozprawie doktorskiej przedstawiono nowy sposób separacji mieszanin tworzyw polimerowych na podstawie różnicy w twardości. Celami poznawczymi rozprawy były:

- przeprowadzenie studium literaturowego, stanu techniki z zakresu metod separacji mieszanin tworzyw polimerowych oraz dokonanie zgłoszenia patentowego dla nowej metody separacji,
- wykonanie badań eksperymentalnych, podzielonych na badania rozpoznawcze oraz zasadnicze,
- utworzenie modeli matematycznych badanych obiektów (dwuskładniowych mieszanin),
- weryfikacja osiągnięcia założonego celu poprzez sprawdzenie spełnienia kryterium skuteczności.

Realizacja celów rozprawy wymagała przeprowadzenia wszechstronnej analizy stanu wiedzy na temat obecnie znanych metod separacji mieszanin tworzyw polimerowych oraz dokonania zgłoszenia patentowego nowej metody separacji na podstawie różnicy w twardości, co zostało opisane w rozdziale pierwszym oraz drugim.

W celu realizacji badań rozpoznawczych wykonano prototypowy separator igłowy zgodnie z założeniami zgłoszenia patentowego. W efekcie wykonanych badań rozpoznawczych zdobyto doświadczenie w obsłudze i funkcjonowaniu separatora, a także zauważono elementy wymagające poprawy, które postanowiono wyeliminować w wyniku modernizacji stanowiska poprzez następujące rozwiązania:

- zapewnienie 100 % trafiania igieł na elementy mieszaniny dzięki budowie podciśnieniowego systemu podawania elementów tworzyw,
- zapewnienie równomiernego ogrzewania rozdzielanej mieszaniny poprzez budowę tunelowego systemu grzewczego,

 igły zostały umieszczone na pasie separującym przez co trafiały na rozdzielane elementy mieszaniny pod kątem prostym.

Zmodernizowane stanowisko badawcze przedstawiono w dziale piątym.

Badania rozpoznawcze oraz zasadnicze separacji przeprowadzono w Zakładzie Technologii Polimerów Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy.

Badania zasadnicze separacji dziesięciu dwuskładnikowych mieszanin (PVC, PET, PP, ABS, PE) przeprowadzono zgodnie z planem trójwartościowym kompletnym dla trzech zmiennych wejściowych oraz dwóch zmiennych zależnych. Wybór planu eksperymentu opisano w dziale szóstym.

W dalszej części pracy opracowano modele matematyczne za pomocą oprogramowania statystycznego i analitycznego Statistica 10 (StatSoft Polska), w którym wygenerowano modele w postaci wielomianu stopnia drugiego z interakcją drugiego rzędu. Szczegółową analizę modeli oraz spełnienie założonego kryterium skuteczności procesu opisano w rozdziale siódmym.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski poznawcze:

- 1. Przedstawione w rozprawie wyniki badań separacji mieszanin tworzyw polimerowych dowodzą skuteczności procesu rozdziału na podstawie różnicy w twardości. Wyniki badań rozpoznawczych oraz zasadniczych jednoznacznie potwierdzają przyjętą hipotezę zakładającą istotność siły nacisku igieł, prędkości obrotowej układu rozdzielającego oraz warunków termicznych na rezultaty procesu separacji.
- 2. Przeprowadzone badania zasadnicze separacji dziesięciu mieszanin wykazały, że spełnione jest kryterium skuteczności S na najwyższym trzecim poziomie w przypadku dziewięciu z nich. Świadczy to o poprawnym określeniu matrycy planu eksperymentu, a także zakresu wartości wielkości wejściowych. Tylko w przypadku mieszaniny PVC/PP kryterium (S) nie zostało spełnione na żadnym poziomie.
- 3. W przeprowadzonych zgodnie z przyjętymi zakresami wielkości wejściowych procesach separacji, najwyższą pozycję w rankingu spełnienia kryterium (S) zajmuje mieszanina ABS/PE, której wielkości wyjściowe dla obydwu składników przyjmują wartości (SIII) aż w 12 doświadczeniach. Następnie klasyfikuje się mieszanina PET/ABS z 9 doświadczeniami na trzecim poziomie spełnienia kryterium (S). Dla czterech mieszanin PVC/ABS, PP/PE, PVC/PE, PET/PE uzyskano efekty separacji na trzecim poziomie w 6 doświadczeniach. Zadowalające rezultaty procesu uzyskano również dla mieszanin ABS/PP, PET/PP, PVC/PET, których efekty

procesu jednocześnie dla dwóch wielkości wyjściowych spełniały kryterium skuteczności na trzecim i drugim poziomie.

- 4. Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych oraz uzyskanych wyników, wskazane zostały obszary efektywności badanej metody rozdziału dla dziewięciu z dziesięciu badanych mieszanin. Analiza wyników badan zasadniczych uwidacznia zależność twardości od efektów separacji. Wraz ze wzrostem różnicy twardości tworzyw, efekty procesu osiągają większe wartości.
- 5. Uzyskane w badaniach zasadniczych wyniki separacji mieszanin PVC/ABS oraz PET/ABS, wykazujących małe różnice twardości w temperaturze pokojowej, lecz znaczne różnice w wartościach temperatury mięknienia, wskazują na możliwość uzyskania dużych wartości efektów separacji dla tego typu mieszanin, podczas prowadzenia procesu przy większych wartościach temperatury ogrzewania. Może być to spowodowane zwiększeniem różnicy twardości w takich warunkach procesu.
- 6. Wygenerowane modele matematyczne procesu separacji poprawnie charakteryzują jego efekty w odniesieniu do większości badanych mieszanin.
- 7. Na podstawie oceny istotności wielkości wejściowych ustalono, że efekty separacji w największym stopniu zależą od siły nacisku igieł i temperatury oraz od interakcji pomiędzy tymi wielkościami. Najmniej istotna okazała się prędkość obrotowa układu rozdzielającego co znajduje odzwierciedlenie w wynikach badań efektów separacji.

Wyniki stanowiły podstawę do sformułowania następujących wniosków o charakterze utylitarnym:

- 1. Separator igłowy którego układ rozdzielający zbudowany jest z górnego koła oraz dolnego koła oporowanego siłownikiem pneumatycznym pomiędzy którymi przechodzi pas separujący oraz pas transportowy, może być wykorzystany do separacji mieszanin tworzyw polimerowych.
- Dobór odpowiednio mniejszej średnicy igieł umożliwia stosowanie mniejszych sił nacisku ustawianych na urządzeniu, co zmniejsza odkształcenia konstrukcji, a tym samym przekłada się na wydłużenie okresu eksploatacji separatora.
- Opracowana konstrukcja separatora igłowego a także wyniki badań doświadczalnych mogą być pomocne przy projektowaniu urządzenia w skali przemysłowej.
- 4. Proces separacji z użyciem opracowanej metody można z powodzeniem zastosować do rozdziału 9 z 10 badanych mieszanin. Nie można go zastosować do rozdziału mieszaniny PVC/PP w

warunkach prowadzenia eksperymentu, gdyż wymagana siła nacisku igieł wykracza poza zakres ustalony na potrzeby realizacji badań zasadniczych.

Proces separacji mieszanin tworzyw polimerowych na podstawie różnicy w twardości nie był wcześniej opisywany w żadnych pozycjach literaturowych i może być uznany za innowacyjny. Rozprawa rozszerza wiedzę z dziedziny recyklingu tworzyw polimerowych o nową metodę separacji.

Praktycznym osiągnięciem niniejszej rozprawy jest zaprojektowanie oraz wykonanie stanowiska badawczego pozwalającego na przeprowadzenie badań separacji na podstawie różnicy w twardości rozdzielanych tworzyw. Stanowisko umożliwia prowadzenie dalszych prac badawczych w zakresie wpływu cech geometrycznych rozdzielanych elementów mieszaniny. Dalsze prace rozwojowe powinny być skupione na opracowaniu konstrukcji urządzenia do zastosowań przemysłowych.

Przedstawione wyniki badań oraz wnioski w zestawieniu z hipotezą badawczą i celem rozprawy pozwalają stwierdzić, że hipoteza badawcza została zweryfikowana, a cel rozprawy został osiągnięty.

LITERATURA

- 1. European Plastics Converters, Plastics Europe, 2014/2015.
- 2. Uchwała Rady Ministrów RP: *Krajowy Plan Gospodarki Odpadami* 2020. Monitor Polski 2016, poz. 784.
- 3. Council Directive 75/442/EEC of 15 July 1975 on waste.
- 4. Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on waste (O.J.L 114/9, 27.04.2006).
- Dyrektywa Rady i Parlamentu Europejskiego 94/62/EC z 15 grudnia 1994r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych (OJ L365, 31/12/1994); zmieniona dyrektywa 2004/12/WE (OJ L047, 18/02/2004); zmieniona dyrektywa 2005/20/WE (OJ L070, 16/03/2005).
- 6. Directive 2004/12/WE of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 amending directive 94/62/EC on packaging and packaging waste (O.J.L 47/26, 18.2.2004).
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy (*Dz. Urz. WE L 312, 22.11.2008*).
- 8. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2001r. w sprawie rocznych poziomów odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych i poużytkowych (*Dz.U.2001, Nr 69, poz. 719*).
- 9. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 czerwca 2007r. w sprawie rocznych poziomów odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych i poużytkowych (*Dz.U.2007, Nr 109, poz. 752*).
- 10. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej (*Dz.U. nr 63, poz. 639, z późn. zm.*).
- 11. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz. U. 2008, nr 25, 25, poz. 150.
- 12. Ustawa z dnia 11 maja 2001r. o opakowaniach i odpadach opakowaniowych" (*Dz. U. 2001 nr 63, poz. 638 ze zm.*).
- 13. "Ustawa o gospodarce opakowaniami i odpadami opakowaniowymi" (*Dz.U. 2008, nr 25, poz. 150*).
- Żakowska H.: "Systemy recyklingu odpadów opakowaniowych w aspekcie wymagań ochrony środowiska", Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2008.

- Żakowska H.: "Systemy recyklingu odpadów opakowaniowych wybrane problemy prawno-organizacyjne i ekonomiczne w Polsce", *Polimery* 2012, 57, 611-694.
- 16. Krajowy program zapobiegania powstawania odpadów, Warszawa 2008.
- Kosieradzka-Federczyk A, Priorytety Unii Europejskiej w gospodarowaniu odpadami, Zeszyty Naukowe Wydziału Informatycznych Technik Zarządzania Wyższej Szkoły Informatyki Stosowanej i Zarządzania w Warszawie "Współczesne Problemy Zarządzania" Nr 1/2013.
- Błędzki A. K. (red.): "Recykling materiałów polimerowych". WNT, Warszawa 1997.
- 19. Kozłowski M. (red.), Rydarowski H. (red.): "Recykling odpadów polimerowych z elektroniki i pojazdów". WNT, Warszawa 2012.
- 20. Rejewski P.: Polimery 2008, 53, 711.
- 21. Kijeński J.: Polimery 2014, 59, 393.
- 22. Moroni M., La Marca F., Cherubini L. i in.: International Journal of Environmenta Research 2013,7(1),113.
- 23. Żenkiewicz M., Żuk T., Królikowski K.: Przetwórstwo Tworzyw 2012, 6, 692.
- 24. Kozłowski M. (red.): "Podstawy recyklingu tworzyw sztucznych". Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998.
- 25. Yuce A. E., Kilic M.: Journal of Environmental Protection and Ecology 2015, 16, 705.
- Menad N., Guignot S., van Houwelingen J. A.: Waste Management 2013, 33, 706.
- 27. Kijeński J., Błędzki A. K, Jeziórska R.: Odzysk i recykling materiałów polimerowych, PWN, Warszawa 2011.
- Królikowski K., Piszczek K., Żuk T.: Rozdział mieszanin tworzyw polimerowych o różnej twardości, *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 2014, 2, 91-92.
- 29. Zinowicz Z., Gołębiewski J., Świć A.: Technologiczne problemy zagospodarowania odpadów tworzyw polimerowych, Wydawnictwo Uczelniane, Lublin 2003.
- Kozłowski M. (red.): Recykling tworzyw sztucznych w Europie, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.
- 31. Wahab D.A., Hussian A., Scavino E.: *American Journal of Applied Sciences* 2006, **3**, 1924-1928.
- 32. Scheirs J.: "Polymer Recycling", Wiley, Chichester 1998. (John Wiley & Sons Inc).

- 33. Pearse M.J., Hickey T.J.: Resource Recovery and Conservation 1978, 3, 179
- Iuga A., Calin L., Neamtu V., Mihalcioiu A., Dascalescu L.: J. Electrostat. 2005, 63, 937.
- 35. Tall S.: "Recycling of Mixed Plastic Waste- Is Separation Worthwhile?", Department of Polymer Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm 2000.
- Bedecović G., Salopek B., Sobota I.: *Inż. Mineral.* 2011, lipiec-grudzień, 63.
- Tilmatime A., Medles K., Younes M., Bendaout A., Descalescu L.: *IEEE Industry Applications Society* 2010, 46, 1564.
- 38. Błędzki A. K., Nowaczek W.: Polimery 1993, 38, 511.
- 39. Pascoe R. D., O'Connell B.: Miner. Eng. 2003, 16, 1205.
- 40. Froelich D., Maris E., Haoues N., Chemineau L., Renard, H., Abraham, F., Lassartesses R.: *Miner. Eng.* 2007, **20**, 902.
- 41. Dodbiba G., Fujita T.: Phys. Separat. Sci. Eng. 2004, 13, 165
- 42. Ligus G.: Chemik 2012, 66, 1229.
- 43. Żenkiewicz M., Żuk T., Królikowski K.: Przetwórstwo Tworzyw 2012, 6, 692.
- 44. http://www.plastics.ca/epic (Environment and Plastics Industry Council (EPIC), Plastics Recycling Overview, Summary Report by Environment and Plastics Industry Council- a Council of the Canadian Plastics Industry Association, 20.06.2012).
- 45. Karlsson S.: Recycled Polyolefins. Material Properties and Means for Quality Determination, *Advances in Polymer Science2004*, **169**, 201-230.
- 46. Wahab D.A., Hussain E., Scavino E.: *American Journal of Applied Sciences* 2006, **7**, 1924.
- 47. http://www.navarini.com (Navarini Website, OCI GmbH, Installations for Plastic Recycling: 20.06.2012).
- 48. http://www.mercatus.se/blogg/date/2007/06/(Mercatus Engineering AB: 20.06.2012).
- 49. http://www.jochman-netzsch.sk/p_od_odstredivky_druhy.htm, 20.06.2012.
- 50. Chong-ging W., Hui W., Jian-gang F., You-nian L.: *Waste Management* 2015, **41**, 30.
- 51. http://www.anl.gov(Argonne National Laboratory, 20.06.2012).
- 52. Żenkiewicz M., Żuk T.: Polimery 2014, 59, 315-316.
- 53. Brück R.: Kunststoffe 1981, 71, 234.
- 54. Żenkiewicz M., Żuk T., Błaszkowski M., Szumski Z.: *Przemysł Chemiczny* 2013, **92**, 280.

- 55. Pat. US 2009/0194461.
- 56. Köhnlechner R., Sander S.: *BHM Berg und Hüttenmännische Monatshefte* 2009, **154**, 136.
- 57. www.hamos.com.
- 58. Dodbiba G., Sadaki J., Shibayama A., Fujita T.: *The Chinese Journal of Process Enginering* 2006, **6**, 187.
- 59. Dodbiba G., Sadaki J., Shibayama A., Fujita T.: *Materials Transactions* 2003, **44**, 2429-2430.
- 60. Pat. GB 1991/2240731.
- 61. Moroni M., La Marca F., Cherubini L., Cenedese A.: Int. J. Environ. Res. 2013, 7, 115-116.
- 62. Moroni M., La Marca F., Cherubini L., Lupo E., Cenedese A.: *Waste Management* 2012, **32**, 1307-1308.
- 63. http://www.citt-test.polsl.pl/news/445
- 64. Pat. PL 2012/223801.
- 65. Hori K., Tsunekawa M., Ueda M., Hiroyoushi N.: *Materials Transactions* 2009, **50**, 2844-2847.
- 66. Pat. US 1996/5501344.
- 67. Pat. US 1997/5615778.
- 68. Pat. PL 2012/400249.
- 69. Pat. PL 2016/409592.
- 70. Bezati F., Froelich D., Massarider V., Maris E.: Resources, Conservation and Recycling 2011, 55, 1214.
- 71. Łączyński B.: Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje i własności, WNT, Warszawa 1982.
- 72. Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J.: Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych, WNT, Warszawa 2000.
- 73. Koszkul J.: Materiały polimerowe, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1999.
- 74. Sikora R.: Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje, właściwości i struktura, Wydawnictwo Uczelniane, Lublin 1991.
- 75. Gruin I.: Materiały polimerowe, PWN, Warszawa 2003 .
- 76. Olszyna A. R.: Ceramika supertwarda, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
- 77. PN-EN ISO 6507-1:2007.
- 78. Dobrosz K., Matysiak A.: Tworzywa sztuczne: Materiałoznawstwo i przetwórstwo. Warszawa 1995.
- 79. PN-80/C-04238.

- 80. PN-93/C-04206-1.
- 81. PN-EN ISO 868:2004.
- Ženkiewicz M.: Tworzywa wielkocząsteczkowe. Polimeryzacjawłaściwości - badania. WAB, Bydgoszcz 2002.
- 83. Żuchowska D.: Polimery konstrukcyjne. WNT Warszawa 2000.
- 84. Wójcikiewicz Z.: Podstawy chemii, technologii i przetwórstwa polimerów. WPŚ, Kielce 2005.
- 85. PN-EN ISO 2039-1:2004.
- 86. Hyla I., "Tworzywa Sztuczne laboratorium", Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
- 87. Zgłoszenie Pat. PL 2013/405364.
- 88. Królikowski K., Piszczek K., Żuk T.: Przetwórstwo Tworzyw 2014, 6, 547.
- 89. Królikowski K., Piszczek K., Żuk T.: Przetwórstwo Tworzyw 2015, 6, 456.
- 90. Królikowski K., Piszczek K.: Polimery 2017, 62, 599.
- 91. Polański Z.: "Planowanie doświadczeń w technice", PWN, Warszawa 1984.
- 92. Polański Z.: "Metodyka badań doświadczalnych", Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1981.
- 93. Mańczak K.: "Technika planowania eksperymentu", WNT, Warszawa 1976.
- 94. Kacprzyński B.: "Planowanie eksperymentów. Podstawy matematyczne", WNT, Warszawa 1974.
- 95. Korzyński M .: "Metodyka eksperymentu", WNT, Warszawa 2006.
- 96. Korzyński M.: "Doświadczalna optymalizacja technologii", Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1991.
ZAŁĄCZNIK

Tab. Z.1 - Z.10. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszanin PVC, PET, PP, ABS, PE

Tab. Z.11 - Z.20. Wartości istotności wielkości wejściowych w modelach mieszanin PVC, PET, PP, ABS, PE

Tab. Z.21 - Z.57. Wartości reszt otrzymane z różnic między wartościami modelowymi a zmierzonymi podczas procesu separacji mieszanin PVC, PET, PP, ABS, PE.

| Nr doświad- czenia | Nacisk [N] | Prędkość [min ⁻¹] | Temp [°C] | D _{PVC} , [%] | D _{PE} , [%] | E _{PVC} , [%] | Е _{РЕ} , [%] |
|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 3 | 15 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 3 | 15 | 50 | 51,23 | 100,00 | 100,00 | 4,82 |
| 3 | 3 | 15 | 70 | 54,96 | 73,98 | 87,45 | 28,33 |
| 4 | 3 | 25 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 3 | 25 | 50 | 51,43 | 100,00 | 100,00 | 5,57 |
| 6 | 3 | 25 | 70 | 54,46 | 73,62 | 81,87 | 31,53 |
| 7 | 3 | 35 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | 3 | 35 | 50 | 51,18 | 100,00 | 100,00 | 4,60 |
| 9 | 3 | 35 | 70 | 54,79 | 64,49 | 77,58 | 35,98 |
| 10 | 10 | 15 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | 10 | 15 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 12 | 10 | 15 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 13 | 10 | 25 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 14 | 10 | 25 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 15 | 10 | 25 | 70 | 0,00 | 49,77 | 0,00 | 99,10 |
| 16 | 10 | 35 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 17 | 10 | 35 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 18 | 10 | 35 | 70 | 0,00 | 49,67 | 0,00 | 98,70 |
| 19 | 17 | 15 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 20 | 17 | 15 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 21 | 17 | 15 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | 17 | 25 | 30 | <mark>99,07</mark> | <mark>98,36</mark> | 96,15 | <mark>99,10</mark> |
| 23 | 17 | 25 | 50 | 0,00 | 49,82 | 0,00 | 99,27 |
| 24 | 17 | 25 | 70 | 52,13 | 49,81 | 1,63 | 98,50 |
| 25 | 17 | 35 | 30 | 100,00 | <mark>98,17</mark> | <mark>98,45</mark> | 100,00 |
| 26 | 17 | 35 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 27 | 17 | 35 | 70 | 50,56 | 50,01 | 1,50 | 98,53 |

Tab. Z.1. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PVC/PE

| Nr doświad- czenia | Nacisk [N] | Prędkość [min ⁻¹] | Temp [°C] | D _{PVC} , [%] | D _{PP} , [%] | E _{PVC} , [%] | Е _{РР} , [%] |
|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 3 | 15 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 3 | 15 | 50 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 3 | 3 | 15 | 70 | 47,96 | 0,00 | 92,17 | 0,00 |
| 4 | 3 | 25 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 3 | 25 | 50 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 6 | 3 | 25 | 70 | 46,49 | 0,00 | 86,87 | 0,00 |
| 7 | 3 | 35 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | 3 | 35 | 50 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 9 | 3 | 35 | 70 | 44,04 | 0,00 | 78,68 | 0,00 |
| 10 | 10 | 15 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 11 | 10 | 15 | 50 | 0,00 | 41,35 | 0,00 | 70,50 |
| 12 | 10 | 15 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 13 | 10 | 25 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 14 | 10 | 25 | 50 | 0,00 | 39,27 | 0,00 | 64,67 |
| 15 | 10 | 25 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 16 | 10 | 35 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 17 | 10 | 35 | 50 | 0,00 | 37,89 | 0,00 | 61,00 |
| 18 | 10 | 35 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 19 | 17 | 15 | 30 | 51,89 | 100,00 | 100,00 | 7,27 |
| 20 | 17 | 15 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 21 | 17 | 15 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | 17 | 25 | 30 | 49,93 | 46,88 | 97,73 | 2,00 |
| 23 | 17 | 25 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 24 | 17 | 25 | 70 | 100,00 | 50,39 | 1,57 | 100,00 |
| 25 | 17 | 35 | 30 | 49,66 | 41,75 | 95,35 | 3,33 |
| 26 | 17 | 35 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 27 | 17 | 35 | 70 | 54,41 | 50,08 | 1,85 | 98,45 |

Tab. Z.2. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PVC/PP

| Nr doświad- czenia | Nacisk [N] | Prędkość [min ⁻¹] | Temp [°C] | D _{PVC} , [%] | D _{ABS} , [%] | E _{PVC} , [%] | E _{ABS} , [%] |
|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 3 | 15 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | 3 | 15 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 3 | 3 | 15 | 70 | 100,00 | 51,87 | 7,20 | 100,00 |
| 4 | 3 | 25 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | 3 | 25 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 6 | 3 | 25 | 70 | 100,00 | 52,52 | 9,60 | 100,00 |
| 7 | 3 | 35 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 8 | 3 | 35 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 9 | 3 | 35 | 70 | 100,00 | 54,88 | 17,78 | 100,00 |
| 10 | 10 | 15 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 11 | 10 | 15 | 50 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 12 | 10 | 15 | 70 | <mark>94,41</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>94,08</mark> |
| 13 | 10 | 25 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 14 | 10 | 25 | 50 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 15 | 10 | 25 | 70 | <mark>96,23</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>96,08</mark> |
| 16 | 10 | 35 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 17 | 10 | 35 | 50 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 18 | 10 | 35 | 70 | <mark>92,76</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>92,20</mark> |
| 19 | 17 | 15 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 20 | 17 | 15 | 50 | 72,17 | 100,00 | 100,00 | 61,43 |
| 21 | 17 | 15 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 22 | 17 | 25 | 30 | 100,00 | 50,61 | 2,42 | 100,00 |
| 23 | 17 | 25 | 50 | <mark>70,79</mark> | 100,00 | 100,00 | 58,73 |
| 24 | 17 | 25 | 70 | 49,67 | 0,00 | 98,68 | 0,00 |
| 25 | 17 | 35 | 30 | 26,74 | 49,25 | 1,67 | 95,43 |
| 26 | 17 | 35 | 50 | <mark>70,50</mark> | 100,00 | 100,00 | 58,15 |
| 27 | 17 | 35 | 70 | 49,41 | 0,00 | 97,65 | 0,00 |

Tab. Z.3. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PVC/ABS

| Nr doświad- czenia | Nacisk [N] | Prędkość [min ⁻¹] | Temp [°C] | D _{PVC} , [%] | D _{PET} , [%] | E _{PVC} , [%] | Е _{РЕТ} , [%] |
|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 3 | 15 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 3 | 15 | 50 | <mark>61,62</mark> | 100,00 | 100,00 | 37,72 |
| 3 | 3 | 15 | 70 | <mark>91,71</mark> | <mark>90,21</mark> | <mark>90,03</mark> | <mark>91,87</mark> |
| 4 | 3 | 25 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 3 | 25 | 50 | <mark>64,41</mark> | 100,00 | 100,00 | 44,75 |
| 6 | 3 | 25 | 70 | <mark>89,97</mark> | <mark>88,86</mark> | <mark>88,70</mark> | <mark>90,12</mark> |
| 7 | 3 | 35 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | 3 | 35 | 50 | <mark>66,70</mark> | 100,00 | 100,00 | 50,08 |
| 9 | 3 | 35 | 70 | 81,32 | <mark>80,46</mark> | <mark>80,18</mark> | <mark>81,58</mark> |
| 10 | 10 | 15 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 11 | 10 | 15 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 12 | 10 | 15 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 13 | 10 | 25 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 14 | 10 | 25 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 15 | 10 | 25 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 16 | 10 | 35 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 17 | 10 | 35 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 18 | 10 | 35 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 19 | 17 | 15 | 30 | 50,38 | 100,00 | 100,00 | 1,52 |
| 20 | 17 | 15 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 21 | 17 | 15 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | 17 | 25 | 30 | 50,01 | 50,75 | 98,35 | 1,70 |
| 23 | 17 | 25 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 24 | 17 | 25 | 70 | 100,00 | 50,18 | 0,73 | 100,00 |
| 25 | 17 | 35 | 30 | 50,04 | 52,14 | 98,13 | 2,03 |
| 26 | 17 | 35 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 27 | 17 | 35 | 70 | 58,82 | 50,11 | 1,50 | 98,95 |

Tab. Z.4. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PVC/PET

| Nr doświad- czenia | Nacisk [N] | Prędkość [min ⁻¹] | Temp [°C] | D _{PET} , [%] | D _{PE} , [%] | Е _{РЕТ} , [%] | Е _{РЕ} , [%] |
|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 3 | 15 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 3 | 15 | 50 | 39,08 | 7,14 | 62,28 | 2,90 |
| 3 | 3 | 15 | 70 | 10,17 | 23,47 | 8,13 | 28,17 |
| 4 | 3 | 25 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 3 | 25 | 50 | 36,87 | 10,77 | 55,25 | 5,40 |
| 6 | 3 | 25 | 70 | 11,96 | 23,22 | 9,88 | 27,25 |
| 7 | 3 | 35 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | 3 | 35 | 50 | 33,98 | 5,65 | 49,92 | 3,00 |
| 9 | 3 | 35 | 70 | 23,73 | 33,34 | 18,42 | 40,80 |
| 10 | 10 | 15 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | 10 | 15 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 12 | 10 | 15 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 13 | 10 | 25 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 14 | 10 | 25 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 15 | 10 | 25 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 16 | 10 | 35 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 17 | 10 | 35 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 18 | 10 | 35 | 70 | 0,00 | 49,82 | 0,00 | 99,30 |
| 19 | 17 | 15 | 30 | 100,00 | <mark>98,51</mark> | <mark>98,48</mark> | 100,00 |
| 20 | 17 | 15 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 21 | 17 | 15 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | 17 | 25 | 30 | <mark>98,45</mark> | <mark>98,30</mark> | <mark>98,30</mark> | <mark>98,45</mark> |
| 23 | 17 | 25 | 50 | 0,00 | 49,69 | 0,00 | 98,77 |
| 24 | 17 | 25 | 70 | 0,00 | 49,82 | 0,00 | 99,30 |
| 25 | 17 | 35 | 30 | 100,00 | <mark>98,01</mark> | <mark>97,97</mark> | 100,00 |
| 26 | 17 | 35 | 50 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 27 | 17 | 35 | 70 | 29,30 | 49,62 | 1,05 | 97,47 |

Tab. Z.5. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PET/PE

| Nr doświad- czenia | Nacisk [N] | Prędkość [min ⁻¹] | Temp [°C] | D _{PET} , [%] | D _{ABS} , [%] | Е _{РЕТ} , [%] | E _{ABS} , [%] |
|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 3 | 15 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | 3 | 15 | 50 | 100,00 | <mark>61,16</mark> | 36,48 | 100,00 |
| 3 | 3 | 15 | 70 | 100,00 | <mark>92,17</mark> | <mark>91,50</mark> | 100,00 |
| 4 | 3 | 25 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | 3 | 25 | 50 | 100,00 | 63,42 | 42,33 | 100,00 |
| 6 | 3 | 25 | 70 | 100,00 | <mark>90,76</mark> | <mark>90,15</mark> | 100,00 |
| 7 | 3 | 35 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 8 | 3 | 35 | 50 | 100,00 | <mark>65,86</mark> | 48,17 | 100,00 |
| 9 | 3 | 35 | 70 | 100,00 | <mark>84,99</mark> | 82,33 | 100,00 |
| 10 | 10 | 15 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 11 | 10 | 15 | 50 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 12 | 10 | 15 | 70 | <mark>89,70</mark> | 100,00 | 100,00 | 88,52 |
| 13 | 10 | 25 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 14 | 10 | 25 | 50 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 15 | 10 | 25 | 70 | <mark>92,08</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>91,40</mark> |
| 16 | 10 | 35 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 17 | 10 | 35 | 50 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 18 | 10 | 35 | 70 | <mark>88,52</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>87,03</mark> |
| 19 | 17 | 15 | 30 | 100,00 | 50,51 | 2,00 | 100,00 |
| 20 | 17 | 15 | 50 | <mark>69,23</mark> | 100,00 | 100,00 | 55,55 |
| 21 | 17 | 15 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 22 | 17 | 25 | 30 | 100,00 | 50,42 | 1,67 | 100,00 |
| 23 | 17 | 25 | 50 | 71,30 | 100,00 | 100,00 | 59,75 |
| 24 | 17 | 25 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 25 | 17 | 35 | 30 | 73,67 | 50,69 | 4,15 | 98,52 |
| 26 | 17 | 35 | 50 | <mark>72,97</mark> | 100,00 | 100,00 | 62,95 |
| 27 | 17 | 35 | 70 | 49,79 | 0,00 | 99,18 | 0,00 |

Tab. Z.6. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PET/ABS

| Nr doświad- czenia | Nacisk [N] | Prędkość [min ⁻¹] | Temp [°C] | D _{PET} , [%] | D _{PP} , [%] | Е _{РЕТ} , [%] | Е _{РР} , [%] |
|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 3 | 15 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | 3 | 15 | 50 | 100,00 | 62,41 | 39,77 | 100,00 |
| 3 | 3 | 15 | 70 | 100,00 | <mark>94,64</mark> | <mark>94,33</mark> | 100,00 |
| 4 | 3 | 25 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | 3 | 25 | 50 | 100,00 | <mark>65,13</mark> | 46,47 | 100,00 |
| 6 | 3 | 25 | 70 | 100,00 | <mark>92,58</mark> | <mark>91,98</mark> | 100,00 |
| 7 | 3 | 35 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 8 | 3 | 35 | 50 | 100,00 | <mark>67,80</mark> | 52,52 | 100,00 |
| 9 | 3 | 35 | 70 | 100,00 | <mark>85,59</mark> | 83,17 | 100,00 |
| 10 | 10 | 15 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 11 | 10 | 15 | 50 | 57,48 | 100,00 | 100,00 | 26,03 |
| 12 | 10 | 15 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 13 | 10 | 25 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 14 | 10 | 25 | 50 | 58,95 | 100,00 | 100,00 | 30,37 |
| 15 | 10 | 25 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 16 | 10 | 35 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 17 | 10 | 35 | 50 | <mark>60,81</mark> | 100,00 | 100,00 | 35,57 |
| 18 | 10 | 35 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 19 | 17 | 15 | 30 | 28,19 | 48,72 | 3,13 | 92,02 |
| 20 | 17 | 15 | 50 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 21 | 17 | 15 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 22 | 17 | 25 | 30 | 67,57 | 50,55 | 4,13 | 98,02 |
| 23 | 17 | 25 | 50 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 24 | 17 | 25 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 25 | 17 | 35 | 30 | 47,08 | 49,86 | 4,30 | 95,17 |
| 26 | 17 | 35 | 50 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 27 | 17 | 35 | 70 | 50,13 | 61,76 | 99,13 | 1,40 |

Tab. Z.7. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PET/PP

| Nr doświad- czenia | Nacisk [N] | Prędkość [min ⁻¹] | Temp [°C] | D _{ABS} , [%] | D _{PE} , [%] | E _{ABS} , [%] | Е _{РЕ} , [%] |
|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 3 | 15 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 3 | 15 | 50 | 51,88 | 100,00 | 100,00 | 7,25 |
| 3 | 3 | 15 | 70 | 57,68 | 100,00 | 100,00 | 26,63 |
| 4 | 3 | 25 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 3 | 25 | 50 | 51,03 | 100,00 | 100,00 | 4,03 |
| 6 | 3 | 25 | 70 | 58,18 | 100,00 | 100,00 | 28,13 |
| 7 | 3 | 35 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | 3 | 35 | 50 | 51,83 | 100,00 | 100,00 | 7,05 |
| 9 | 3 | 35 | 70 | <mark>61,92</mark> | 100,00 | 100,00 | 38,50 |
| 10 | 10 | 15 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | 10 | 15 | 50 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 12 | 10 | 15 | 70 | 100,00 | <mark>93,72</mark> | <mark>93,30</mark> | 100,00 |
| 13 | 10 | 25 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 14 | 10 | 25 | 50 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 15 | 10 | 25 | 70 | <mark>99,22</mark> | <mark>93,54</mark> | <mark>93,15</mark> | <mark>99,27</mark> |
| 16 | 10 | 35 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 17 | 10 | 35 | 50 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 18 | 10 | 35 | 70 | <mark>97,86</mark> | <mark>91,98</mark> | <mark>91,45</mark> | <mark>98,00</mark> |
| 19 | 17 | 15 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 20 | 17 | 15 | 50 | 100,00 | 72,03 | 61,17 | 100,00 |
| 21 | 17 | 15 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | 17 | 25 | 30 | <mark>98,52</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>98,50</mark> |
| 23 | 17 | 25 | 50 | 97,68 | 72,06 | 61,80 | <mark>98,53</mark> |
| 24 | 17 | 25 | 70 | 0,00 | 49,61 | 0,00 | 98,47 |
| 25 | 17 | 35 | 30 | 100,00 | <mark>98,54</mark> | <mark>98,52</mark> | 100,00 |
| 26 | 17 | 35 | 50 | 100,00 | 72,67 | 62,40 | 100,00 |
| 27 | 17 | 35 | 70 | 0,00 | 49,61 | 0,00 | 98,47 |

Tab. Z.8. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny ABS/PE

| Nr doświad- czenia | Nacisk [N] | Prędkość [min ⁻¹] | Temp [°C] | D _{ABS} , [%] | D _{PP} , [%] | E _{ABS} , [%] | Е _{РР} , [%] |
|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 3 | 15 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 2 | 3 | 15 | 50 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 3 | 3 | 15 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 4 | 3 | 25 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 5 | 3 | 25 | 50 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 6 | 3 | 25 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 7 | 3 | 35 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 8 | 3 | 35 | 50 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 9 | 3 | 35 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 10 | 10 | 15 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 11 | 10 | 15 | 50 | 78,04 | 100,00 | 100,00 | 71,87 |
| 12 | 10 | 15 | 70 | 100,00 | <mark>92,94</mark> | <mark>92,40</mark> | 100,00 |
| 13 | 10 | 25 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 14 | 10 | 25 | 50 | 75,08 | 100,00 | 100,00 | 66,80 |
| 15 | 10 | 25 | 70 | 100,00 | <mark>93,94</mark> | <mark>93,55</mark> | 100,00 |
| 16 | 10 | 35 | 30 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 17 | 10 | 35 | 50 | 72,82 | 100,00 | 100,00 | 62,68 |
| 18 | 10 | 35 | 70 | 100,00 | <mark>90,94</mark> | <mark>90,03</mark> | 100,00 |
| 19 | 17 | 15 | 30 | 51,56 | 100,00 | 100,00 | 6,07 |
| 20 | 17 | 15 | 50 | 100,00 | <mark>69,77</mark> | 56,67 | 100,00 |
| 21 | 17 | 15 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | 17 | 25 | 30 | 50,38 | 100,00 | 100,00 | 1,50 |
| 23 | 17 | 25 | 50 | 100,00 | <mark>71,48</mark> | 60,10 | 100,00 |
| 24 | 17 | 25 | 70 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 25 | 17 | 35 | 30 | 50,39 | 64,92 | 98,22 | 3,30 |
| 26 | 17 | 35 | 50 | 100,00 | <mark>73,76</mark> | 64,43 | 100,00 |
| 27 | 17 | 35 | 70 | 0,00 | 49,20 | 0,00 | 96,87 |

Tab. Z.9. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny ABS/PP

| Nr doświad- czenia | Nacisk [N] | Prędkość [min ⁻¹] | Temp [°C] | D _{PE} , [%] | D _{PP} , [%] | Е _{РЕ} , [%] | Е _{РР} , [%] |
|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 3 | 15 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | 3 | 15 | 50 | 100,00 | 51,34 | 5,22 | 100,00 |
| 3 | 3 | 15 | 70 | 100,00 | 59,01 | 30,53 | 100,00 |
| 4 | 3 | 25 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | 3 | 25 | 50 | 100,00 | 51,11 | 4,35 | 100,00 |
| 6 | 3 | 25 | 70 | 100,00 | 58,60 | 29,35 | 100,00 |
| 7 | 3 | 35 | 30 | 0,00 | 50,00 | 0,00 | 100,00 |
| 8 | 3 | 35 | 50 | 100,00 | 51,30 | 5,05 | 100,00 |
| 9 | 3 | 35 | 70 | 100,00 | <mark>61,29</mark> | 36,83 | 100,00 |
| 10 | 10 | 15 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | 10 | 15 | 50 | 58,89 | 100,00 | 100,00 | 30,20 |
| 12 | 10 | 15 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 13 | 10 | 25 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 14 | 10 | 25 | 50 | 61,24 | 100,00 | 100,00 | 36,70 |
| 15 | 10 | 25 | 70 | 49,79 | 0,00 | 99,18 | 0,00 |
| 16 | 10 | 35 | 30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 17 | 10 | 35 | 50 | <mark>63,36</mark> | 100,00 | 100,00 | 42,18 |
| 18 | 10 | 35 | 70 | 49,63 | 0,00 | 98,55 | 0,00 |
| 19 | 17 | 15 | 30 | <mark>92,38</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>91,75</mark> |
| 20 | 17 | 15 | 50 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 21 | 17 | 15 | 70 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 22 | 17 | 25 | 30 | <mark>96,94</mark> | <mark>99,78</mark> | <mark>99,78</mark> | <mark>96,85</mark> |
| 23 | 17 | 25 | 50 | 49,82 | 0,00 | 99,30 | 0,00 |
| 24 | 17 | 25 | 70 | 49,63 | 0,00 | 98,55 | 0,00 |
| 25 | 17 | 35 | 30 | <mark>96,31</mark> | 100,00 | 100,00 | <mark>96,17</mark> |
| 26 | 17 | 35 | 50 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 27 | 17 | 35 | 70 | 50,02 | 51,01 | 98,38 | 1,68 |

Tab. Z.10. Wyniki badań eksperymentalnych separacji mieszaniny PE/PP

| Wielkość | Wielkość y | voiéciowo | Istotność testu t-Studenta | | | |
|-----------|------------|----------------|----------------------------|--------------------------|--|--|
| wyjściowa | WICIKUSC V | vejsciowa | PVC | PE | | |
| | ٨ | А | - | - | | |
| | A | A^2 | 0,040837 | 0,002310 | | |
| | р | В | - | - | | |
| | В | B^2 | - | - | | |
| | C | C | 8,92 x 10 ⁻⁸ | - | | |
| | C | C^2 | 1,39 x 10 ⁻⁶ | 0,002300 | | |
| | 1L w | z.2L | - | - | | |
| D | 1L w | z.3L | 0,001694 | 2,15 x 10 ⁻⁷ | | |
| | 2L w | z.3L | - | - | | |
| | 1L wz | z. 2Q | - | - | | |
| | 1L wz | z. 3Q | 0,000207 | 3,36 x 10 ⁻⁹ | | |
| | 2L w2 | z. 3Q | - | - | | |
| | 1Q w | z. 2L | - | - | | |
| | 1Q w | z. 3L | 0,000023 | 3,36 x 10 ⁻⁷ | | |
| | 2Q w | z. 3L | - | - | | |
| | 1Q w: | z. 2Q | - | - | | |
| | 1Q w: | z. 3Q | - | 3,13 x 10 ⁻⁷ | | |
| | 2Q w/ | z. 3Q | - | - | | |
| | ٨ | A | 0,000000 | 4,44 x 10 ⁻¹⁰ | | |
| | A | A^2 | 0,000002 | 0,000000 | | |
| | р | B | - | - | | |
| | D | \mathbf{B}^2 | - | 0,004592 | | |
| | C | C | 0,000000 | - | | |
| | <u> </u> | C^2 | 0,000002 | 0,004194 | | |
| | 1L w | z.2L | - | - | | |
| | 1L w | z.3L | 0,000000 | 0,000022 | | |
| F | 2L w | z.3L | 0,027866 | 0,030611 | | |
| L | 1L wz | z. 2Q | - | 0,003602 | | |
| | 1L wz | z. 3Q | - | - | | |
| | 2L wz | z. 3Q | - | - | | |
| | 1Q w | z. 2L | - | - | | |
| | 1Q w. | z. 3L | 0,000016 | 0,000248 | | |
| | 2Q w | z. 3L | - | - | | |
| | 1Q w: | z. 2Q | - | - | | |
| | 1Q w: | z. 3Q | 0,000218 | - | | |
| | 2Q w/ | z. 3Q | - | - | | |

Tab.Z.11. Wartości istotności wielkości wejściowych w modelu mieszaniny PVC/PE

| Wielkość | Wielkość y | veiściowa | Istotność testu t-Studenta | | | |
|-----------|--------------|----------------|----------------------------|----------|--|--|
| wyjściowa | vv icikość v | wejselo wa | PVC | PET | | |
| | ٨ | А | 0,027239 | - | | |
| | A | A^2 | 0,001043 | 0,000038 | | |
| | р | В | - | - | | |
| | В | B^2 | - | - | | |
| | C | С | | 0,000002 | | |
| | C | \mathbf{C}^2 | 0,001373 | 0,000000 | | |
| | 1L w | z.2L | - | - | | |
| | 1L w | z.3L | - | 0,000002 | | |
| Л | 2L w | z.3L | - | - | | |
| D | 1L wz | z. 2Q | - | - | | |
| | 1L wz | z. 3Q | 0,008576 | 0,000000 | | |
| | 2L w2 | z. 3Q | - | - | | |
| | 1Q w | z. 2L | - | - | | |
| | 1Q w | z. 3L | 0,005072 | 0,003979 | | |
| | 2Q w | z. 3L | - | - | | |
| | 1Q w: | z. 2Q | - | - | | |
| | 1Q w: | z. 3Q | - | - | | |
| | 2Q w/ | z. 3Q | - | - | | |
| | ٨ | A | 0,000000 | 0,000000 | | |
| | A | A^2 | 0,000002 | 0,001001 | | |
| | В | В | - | - | | |
| | D | \mathbf{B}^2 | - | - | | |
| | C | С | 0,000000 | 0,000000 | | |
| | C | C^2 | 0,000002 | 0,000000 | | |
| | 1L w | z.2L | - | - | | |
| | 1L w | z.3L | - | - | | |
| F | 2L w | z.3L | 0,027866 | - | | |
| L | 1L w2 | z. 2Q | - | - | | |
| | 1L w2 | z. 3Q | 0,000000 | 0,049089 | | |
| | 2L w2 | z. 3Q | - | - | | |
| | 1Q w | z. 2L | - | - | | |
| | 1Q w | z. 3L | 0,000016 | 0,000002 | | |
| | 2Q w | z. 3L | - | - | | |
| | 1Q w: | z. 2Q | - | - | | |
| | 1Q w: | z. 3Q | 0,000218 | 0,003486 | | |
| | 2Q w/ | z. 3Q | - | - | | |

Tab.Z.12.Wartości istotności wielkości wejściowych w modelu mieszaniny PVC/PET

| Wielkość | Wielkość wejściowa | | Istotność testu t-Studenta | |
|-----------|--------------------|-------|----------------------------|----------|
| wyjściowa | | | PVC | PP |
| | ٨ | А | 0,039109 | 0,000000 |
| | A | A^2 | 0,000959 | - |
| | D | В | - | - |
| | D | B^2 | - | - |
| | C | С | 0,035873 | 0,029110 |
| | C | C^2 | 0,000959 | - |
| | 1L w | z.2L | - | - |
| | 1L w | z.3L | - | - |
| Л | 2L w | z.3L | - | - |
| D | 1L w: | z. 2Q | - | - |
| | 1L w: | z. 3Q | 0,004684 | - |
| | 2L wz | z. 3Q | - | - |
| | 1Q wz. 2L | | - | - |
| | 1Q wz. 3L | | 0,005013 | 0,000010 |
| | 2Q wz. 3L | | - | - |
| | 1Q wz. 2Q | | - | - |
| | 1Q wz. 3Q | | - | 0,004638 |
| | 2Q wz. 3Q | | - | - |
| | Δ | А | 0,000000 | 0,000000 |
| | A | A^2 | 0,000003 | 0,000662 |
| | в | В | - | - |
| | D | B^2 | - | - |
| | C | C | 0,000000 | 0,000000 |
| | C | C^2 | 0,000003 | 0,000662 |
| | 1L w | z.2L | - | - |
| | 1L wz.3L | | - | 0,000047 |
| F | 2L w | z.3L | 0,029509 | - |
| L | 1L w2 | z. 2Q | - | - |
| | 1L w2 | z. 3Q | 0,000001 | 0,000144 |
| | 2L w2 | z. 3Q | - | - |
| | 1Q wz. 2L | | - | - |
| | 1Q w | z. 3L | 0,000021 | 0,000000 |
| | 2Q w | z. 3L | - | - |
| | 1Q w: | z. 2Q | - | - |
| | 1Q w: | z. 3Q | 0,000320 | 0,022255 |
| | 2Q w: | z. 3Q | - | - |

Tab.Z.13.Wartości istotności wielkości wejściowych w modelu mieszaniny PVC/PP

| Wielkość | Wielkość wejściowa - | | Istotność tes | Istotność testu t-Studenta | |
|-----------|----------------------|-------|--------------------------|----------------------------|--|
| wyjściowa | | | PVC | ABS | |
| _ | | А | 0,045014 | 0,000258 | |
| | А | A^2 | - | 1 x 10 ⁻¹⁸ | |
| | р | В | - | - | |
| | Б | B^2 | - | - | |
| | C | С | 0,000002 | 0,000258 | |
| | C | C^2 | - | 1 x 10 ⁻¹⁸ | |
| | 1L w | z.2L | - | 0,035968 | |
| | 1L w | z.3L | 0,000057 | 1 x 10 ⁻¹⁸ | |
| D | 2L w | z.3L | - | 0,035968 | |
| D | 1L w | z. 2Q | - | - | |
| | 1L w | z. 3Q | 0,005454 | 1 x 10 ⁻¹⁸ | |
| | 2L w: | z. 3Q | - | - | |
| | 1Q wz. 2L | | - | - | |
| | 1Q wz. 3L | | - | 1 x 10 ⁻¹⁸ | |
| | 2Q wz. 3L | | - | - | |
| | 1Q wz. 2Q | | - | - | |
| | 1Q wz. 3Q | | 0,000002 | 1 x 10 ⁻¹⁸ | |
| | 2Q wz. 3Q | | - | - | |
| | | А | 7,17 x 10 ⁻¹⁰ | 3,51 x 10 ⁻¹² | |
| | А | A^2 | 2,48 x 10 ⁻⁶ | 0,000597 | |
| | В | В | - | - | |
| | | B^2 | - | - | |
| | С | C | 2,4 x 10 ⁻¹¹ | 2,509 x 10 ⁻¹⁰ | |
| | | C^2 | 2,48 x 10 ⁻⁶ | 0,006466 | |
| | 1L wz.2L | | - | - | |
| | 1L wz.3L | | - | 7,28 x 10 ⁻⁹ | |
| F | 2L wz.3L | | 0,031225 | - | |
| E | 1L w | z. 2Q | - | - | |
| | 1L w | z. 3Q | 4,47 x 10 ⁻⁷ | - | |
| | 2L w | z. 3Q | - | - | |
| | 1Q w | z. 2L | - | - | |
| | 1Q w | z. 3L | 0,000019 | - | |
| | 2Q w | z. 3L | - | - | |
| | 1Q w | z. 2Q | - | - | |
| | 1Q w | z. 3Q | 0,000316 | 0,019829 | |
| | 2Q w | z. 3Q | - | - | |

Tab.Z.14.Wartości istotności wielkości wejściowych w modelu mieszaniny PVC/ABS

| Wielkość | Wielkość weiściowa | | Istotność testu t-Studenta | |
|-----------|--------------------|-----------|----------------------------|--------------------------|
| wyjściowa | vv icikuse v | wejselowa | РЕТ | PE |
| | ٨ | А | 0,030394 | 1 x 10 ⁻¹⁸ |
| | А | A^2 | - | 1 x 10 ⁻¹⁸ |
| | D | В | - | - |
| | D | B^2 | - | - |
| | C | С | 4,38 x 10 ⁻⁹ | 1,26 x 10 ⁻¹⁴ |
| | C | C^2 | 2,23 x 10 ⁻⁷ | 6,35 x 10 ⁻¹⁴ |
| | 1L w | z.2L | - | - |
| | 1L w | z.3L | 0,000166 | 1 x 10 ⁻¹⁸ |
| D. | 2L w | z.3L | - | - |
| D | 1L w. | z. 2Q | - | - |
| | 1L w. | z. 3Q | 0,000425 | 1 x 10 ⁻¹⁸ |
| | 2L w/ | z. 3Q | - | - |
| | 1Q wz. 2L | | - | - |
| | 1Q wz. 3L | | 0,000073 | 1 x 10 ⁻¹⁸ |
| | 2Q wz. 3L | | - | - |
| | 1Q wz. 2Q | | - | - |
| | 1Q wz. 3Q | | 0,031659 | 1 x 10 ⁻¹⁸ |
| | 2Q wz. 3Q | | - | - |
| | | А | 2,90 x 10 ⁻¹⁰ | 4,37 x 10 ⁻⁸ |
| | А | A^2 | 0,001001 | 4,79 x 10 ⁻⁶ |
| | D | В | - | - |
| | В | B^2 | - | - |
| | С | С | 3,21 x 10 ⁻¹⁴ | - |
| | | C^2 | 1,79 x10 ⁻¹⁰ | - |
| | 1L wz.2L | | - | - |
| | 1L wz.3L | | - | 0,000905 |
| E | 2L wz.3L | | - | - |
| E | 1L w: | z. 2Q | - | 0,031111 |
| | 1L w: | z. 3Q | 0,049089 | - |
| | 2L wz | z. 3Q | - | - |
| | 1Q w | z. 2L | - | - |
| | 1Q w | z. 3L | 0,000002 | 0,039480 |
| | 2Q w | z. 3L | - | - |
| | 1Q w: | z. 2Q | - | - |
| | 1Q w: | z. 3Q | 0,003486 | - |
| | 2Q w: | z. 3Q | - | - |

Tab. Z.15. Wartości istotności wielkości wejściowych w modelu mieszaniny PET/PE

| Wielkość | Wielkość wejściowa | | Istotność testu t-Studenta | |
|-----------|--------------------|----------------|----------------------------|---------------------------|
| wyjściowa | | | РЕТ | ABS |
| | ٨ | А | - | 2,31 x 10 ⁻¹¹ |
| | A | A^2 | 0,003379 | 1 x 10 ⁻¹⁸ |
| | р | В | - | - |
| | D | B^2 | - | - |
| | C | С | 1,28 x 10 ⁻⁸ | 9,90 x 10 ⁻¹⁰ |
| | C | C^2 | 9,71 x 10 ⁻⁹ | $1 \ge 10^{-18}$ |
| | 1L w | z.2L | - | - |
| | 1L w | z.3L | $9 \ge 10^{-11}$ | $1,11 \ge 10^{-18}$ |
| л | 2L w | z.3L | - | - |
| D | 1L wz | z. 2Q | | - |
| | 1L wz | z. 3Q | 9,34 x 10 ⁻⁷ | $1,23 \ge 10^{-18}$ |
| | 2L w2 | z. 3Q | - | - |
| | 1Q wz. 2L | | - | - |
| | 1Q wz. 3L | | 0,019802 | $1,08 \ge 10^{-18}$ |
| | 2Q wz. 3L | | - | - |
| | 1Q wz. 2Q | | - | - |
| | 1Q wz. 3Q | | 1,42 x 10 ⁻⁶ | $1,06 \ge 10^{-18}$ |
| | 2Q wz. 3Q | | - | - |
| | ٨ | А | 3,914 x 10 ⁻¹⁰ | 9,390 x 10 ⁻¹³ |
| | A | A^2 | 0,001825 | 0,000526 |
| | В | В | - | - |
| | | \mathbf{B}^2 | - | - |
| | С | С | $3,95 \ge 10^{-14}$ | 4,21 x 10 ⁻¹¹ |
| | | C^2 | $3,26 \ge 10^{-10}$ | 0,003296 |
| | 1L wz.2L | | - | - |
| | 1L wz.3L | | - | 1,61 x 10 ⁻⁹ |
| F | 2L w | z.3L | - | - |
| E | 1L wz | z. 2Q | - | - |
| | 1L wz | z. 3Q | - | - |
| | 2L w2 | z. 3Q | - | - |
| | 1Q w | z. 2L | - | - |
| | 1Q w | z. 3L | 0,000004 | - |
| | 2Q w | z. 3L | - | - |
| | 1Q w/ | z. 2Q | - | - |
| | 1Q w/ | z. 3Q | 0,004660 | 0,008249 |
| | 2Q w/ | z. 3Q | - | - |

Tab. Z.16. Wartości istotności wielkości wejściowych w modelu mieszaniny PET/ABS

| Wielkość | Wielkość wejściowa | | Istotność testu t-Studenta | |
|-----------|--------------------|----------------|----------------------------|-------------------------|
| wyjściowa | | | РЕТ | PP |
| | ٨ | А | 1 x 10 ⁻¹⁸ | 3,97 x 10 ⁻⁷ |
| | A | A^2 | 1 x 10 ⁻¹⁸ | 0,006367 |
| | D | В | - | - |
| | D | B^2 | - | - |
| | C | С | 1 x 10 ⁻¹⁸ | 0,000035 |
| | C | C^2 | $1 \ge 10^{-18}$ | 0,004011 |
| | 1L w | z.2L | - | - |
| | 1L w | z.3L | $1 \ge 10^{-18}$ | 0,002870 |
| Л | 2L w | z.3L | - | - |
| D | 1L wz | z. 2Q | - | - |
| | 1L wz | z. 3Q | $1 \ge 10^{-18}$ | 0,004591 |
| | 2L wz | z. 3Q | - | - |
| | 1Q wz. 2L | | - | - |
| | 1Q wz. 3L | | - | 0,001555 |
| | 2Q wz. 3L | | - | - |
| | 1Q wz. 2Q | | - | - |
| | 1Q wz. 3Q | | - | 2,66 x 10 ⁻⁹ |
| | 2Q wz. 3Q | | - | - |
| | ٨ | А | 4,21 x 10 ⁻¹⁰ | 0,000000 |
| | A | A^2 | 0,002541 | 0,000590 |
| | p | В | - | - |
| | D | \mathbf{B}^2 | - | - |
| | C | С | $4,68 \ge 10^{-14}$ | 0,000000 |
| | C | C^2 | 3,91 x 10 ⁻¹⁴ | 0,000590 |
| | 1L wz.2L | | - | - |
| | 1L wz.3L | | - | 0,000047 |
| F | 2L w | z.3L | - | - |
| E | 1L wz | z. 2Q | - | - |
| | 1L wz | z. 3Q | - | 0,000146 |
| | 2L w2 | z. 3Q | - | - |
| | 1Q w | z. 2L | - | - |
| | 1Q w | z. 3L | 3,79 x 10 ⁻⁶ | 0,000000 |
| | 2Q w | z. 3L | - | - |
| | 1Q w: | z. 2Q | - | - |
| | 1Q w: | z. 3Q | 0,004447 | 0,026298 |
| | 2Q w/ | z. 3Q | - | - |

Tab. Z.17. Wartości istotności wielkości wejściowych w modelu mieszaniny PET/PP

| Wielkość | Wielkość wejściowa | | Istotność testu t-Studenta | |
|-----------|--------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|
| wyjściowa | | | ABS | PE |
| | ٨ | А | - | |
| | A | A^2 | 1,07 x 10 ⁻⁷ | 1,79 x 10 ⁻⁶ |
| | р | В | - | - |
| | D | \mathbf{B}^2 | 0,029754 | - |
| | C | С | 9,14 x 10 ⁻⁷ | - |
| | C | C^2 | 0,000624 | 8,72 x 10 ⁻⁶ |
| | 1L w | z.2L | - | - |
| | 1L w | z.3L | 1,45 x 10 ⁻⁶ | $7,53 \ge 10^{-13}$ |
| σ | 2L w | z.3L | - | - |
| D | 1L w: | z. 2Q | 0,029777 | - |
| | 1L w: | z. 3Q | 0,000918 | 3,17 x 10 ⁻⁸ |
| | 2L w: | z. 3Q | - | - |
| | 1Q wz. 2L | | - | - |
| | 1Q wz. 3L | | - | 4,22 x 10 ⁻⁹ |
| | 2Q wz. 3L | | - | - |
| | 1Q wz. 2Q | | - | - |
| | 1Q wz. 3Q | | - | - |
| | 2Q wz. 3Q | | - | - |
| | ٨ | А | 9,92 x10 ⁻¹³ | 8,95 x 10 ⁻¹⁰ |
| | A | A^2 | 0,000405 | 5,22 x 10 ⁻⁸ |
| | D | В | - | - |
| | В | B^2 | - | 0,004342 |
| | С | С | 5,07 x 10 ⁻¹¹ | - |
| | | C^2 | 0,003622 | 0,005054 |
| | 1L wz.2L | | - | - |
| | 1L wz.3L | | 1,64 x 10 ⁻¹⁰ | 0,000036 |
| Б | 2L w | z.3L | - | 0,034229 |
| E | 1L w: | z. 2Q | - | 0,004370 |
| | 1L w: | z. 3Q | - | - |
| | 2L w: | z. 3Q | - | - |
| | 1Q w | z. 2L | - | - |
| | 1Q w | z. 3L | - | 0,000321 |
| | 2Q w | z. 3L | - | - |
| | 1Q w | z. 2Q | - | - |
| | 1Q w | z. 3Q | 0,010750 | - |
| | 2Q w | z. 3Q | - | - |

Tab. Z.18. Wartości istotności wielkości wejściowych w modelu mieszaniny ABS/PE

| Wielkość | Wielkość wejściowa | | Istotność testu t-Studenta | |
|-----------|--------------------|----------|----------------------------|--------------------------|
| wyjściowa | | | ABS | PP |
| | ٨ | А | | 2,91 x 10 ⁻¹¹ |
| | A | A^2 | $1 \ge 10^{-18}$ | 4,73 x 10 ⁻⁵ |
| | D | В | 0,044626 | - |
| | D | B^2 | - | - |
| | C | С | $1 \ge 10^{-18}$ | - |
| | C | C^2 | - | 0,000161 |
| | 1L w | z.2L | - | - |
| | 1L w | z.3L | $1 \ge 10^{-18}$ | 0,008544 |
| D | 2L w | z.3L | - | - |
| D | 1L w: | z. 2Q | - | - |
| | 1L w: | z. 3Q | $1 \ge 10^{-18}$ | - |
| | 2L w: | z. 3Q | 0,027568 | - |
| | 1Q wz. 2L | | 0,027568 | - |
| | 1Q wz. 3L | | $1 \ge 10^{-18}$ | 4,37 x 10 ⁻⁷ |
| | 2Q w | z. 3L | - | - |
| | 1Q wz. 2Q | | - | - |
| | 1Q wz. 3Q | | $1 \ge 10^{-18}$ | 1,72 x 10 ⁻⁸ |
| | 2Q wz. 3Q | | - | - |
| | ٨ | А | - | 0,000000 |
| | А | A^2 | 0,000463 | 0,000862 |
| | D | В | - | - |
| | В | B^2 | - | - |
| | С | C | - | 0,000000 |
| | | C^2 | 0,003929 | 0,000862 |
| | 1L wz.2L | | - | - |
| | 1L wz.3L | | - | 0,000085 |
| E | 2L w | 2L wz.3L | | - |
| E | 1L w: | z. 2Q | - | - |
| | 1L w: | z. 3Q | - | 0,000205 |
| | 2L wz | z. 3Q | - | - |
| | 1 Q w | z. 2L | - | - |
| | 1Q w | z. 3L | - | 0,000000 |
| | 2Q w | z. 3L | - | - |
| | 1Q w: | z. 2Q | - | - |
| | 1Q w | z. 3Q | 0,011029 | 0,027976 |
| | 2Q w: | z. 3Q | - | - |

Tab. Z.19. Wartości istotności wielkości wejściowych w modelu mieszaniny ABS/PP

| Wielkość | Wielkość wejściowa | | Istotność testu t-Studenta | |
|-----------|--------------------|-------|----------------------------|----------|
| wyjściowa | | | PE | РР |
| | ٨ | Α | 0,000000 | 0,010113 |
| | A | A^2 | 0,000000 | 0,000054 |
| | р | В | - | - |
| | D | B^2 | - | - |
| | C | C | 0,000000 | 0,000000 |
| | C | C^2 | 0,000000 | - |
| | 1L w | z.2L | - | - |
| | 1L w | z.3L | 0,000000 | 0,000021 |
| D | 2L w | z.3L | - | - |
| D | 1L w | z. 2Q | - | - |
| | 1L w | z. 3Q | 0,000000 | 0,000180 |
| | 2L w | z. 3Q | - | - |
| | 1Q wz. 2L | | - | - |
| | 1Q wz. 3L | | 0,000000 | 0,000017 |
| | 2Q wz. 3L | | - | - |
| | 1Q wz. 2Q | | - | - |
| | 1Q wz. 3Q | | 0,000000 | 0,000000 |
| | 2Q w | z. 3Q | - | - |
| | А | А | 0,000000 | 0,000000 |
| | | A^2 | 0,000000 | 0,000781 |
| | В | В | 0,047279 | - |
| | | B^2 | 0,002943 | - |
| | С | С | - | 0,000000 |
| | | C^2 | 0,002444 | 0,000781 |
| | 1L w | z.2L | - | - |
| | 1L wz.3L | | 0,000006 | 0,000059 |
| F | 2L wz.3L | | 0,018069 | - |
| E | 1L wz. 2Q | | 0,002929 | - |
| | 1L w | z. 3Q | - | 0,000165 |
| | 2L w | z. 3Q | - | - |
| | 1Q w | z. 2L | - | - |
| | 1Q w | z. 3L | 0,000123 | 0,000000 |
| | 2Q w | z. 3L | - | - |
| | 1Q w | z. 2Q | - | - |
| | 1Q w | z. 3Q | - | 0,022427 |
| | 2Q w | z. 3Q | - | - |

Tab.Z. 20. Wartości istotności wielkości wejściowych w modelu mieszaniny PP/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 0,0000 | 1,6469 | -1,6469 |
| 2 | 0,0753 | -0,8443 | 0,9196 |
| 3 | 0,3097 | 3,5120 | -3,2023 |
| 4 | 0,0000 | 0,8336 | -0,8336 |
| 5 | 0,0412 | -1,6576 | 1,6987 |
| 6 | 0,3304 | 2,6988 | -2,3684 |
| 7 | 0,0000 | -0,3862 | 0,3862 |
| 8 | 0,0731 | -2,8774 | 2,9506 |
| 9 | 0,4861 | 1,4789 | -0,9928 |
| 10 | 18,4207 | 19,8576 | -1,4370 |
| 11 | 18,4207 | 19,8277 | -1,4070 |
| 12 | 18,4207 | 6,1519 | 12,2687 |
| 13 | 18,4207 | 19,4313 | -1,0106 |
| 14 | 18,4207 | 19,4014 | -0,9807 |
| 15 | 4,8444 | 5,7256 | -0,8813 |
| 16 | 18,4207 | 18,7918 | -0,3712 |
| 17 | 18,4207 | 18,7619 | -0,3413 |
| 18 | 3,8226 | 5,0862 | -1,2635 |
| 19 | 18,4207 | 12,0886 | 6,3321 |
| 20 | 18,4207 | 14,5200 | 3,9007 |
| 21 | -18,4207 | -17,1879 | -1,2327 |
| 22 | 4,1997 | 12,0492 | -7,8495 |
| 23 | 3,7409 | 14,4806 | -10,7397 |
| 24 | -18,4207 | -17,2273 | -1,1934 |
| 25 | 18,4207 | 11,9902 | 6,4305 |
| 26 | 18,4207 | 14,4215 | 3,9991 |
| 27 | -18,4207 | -17,2864 | -1,1343 |
| | | Średnia | 2,880 |

Tab. Z.21. Otrzymane reszty dla modelu D_{ABS} separacji mieszaniny ABS/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | 18,4207 | 17,3673 | 1,0534 |
| 2 | 18,4207 | 20,7026 | -2,2819 |
| 3 | 18,4207 | 17,1922 | 1,2285 |
| 4 | 18,4207 | 17,3673 | 1,0534 |
| 5 | 18,4207 | 20,7026 | -2,2819 |
| 6 | 18,4207 | 17,1922 | 1,2285 |
| 7 | 18,4207 | 17,3673 | 1,0534 |
| 8 | 18,4207 | 20,7026 | -2,2819 |
| 9 | 18,4207 | 17,1922 | 1,2285 |
| 10 | 18,4207 | 19,7089 | -1,2882 |
| 11 | 18,4207 | 15,4940 | 2,9266 |
| 12 | 2,6337 | 4,1763 | -1,5426 |
| 13 | 18,4207 | 19,7089 | -1,2882 |
| 14 | 18,4207 | 15,4940 | 2,9266 |
| 15 | 2,6100 | 4,1763 | -1,5663 |
| 16 | 18,4207 | 19,7089 | -1,2882 |
| 17 | 18,4207 | 15,4940 | 2,9266 |
| 18 | 2,3699 | 4,1763 | -1,8064 |
| 19 | 18,4207 | 13,4443 | 4,9764 |
| 20 | 0,4543 | 1,1254 | -0,6711 |
| 21 | -18,4207 | -18,8306 | 0,4099 |
| 22 | 18,4207 | 13,4443 | 4,9764 |
| 23 | 0,4811 | 1,1254 | -0,6443 |
| 24 | -18,4207 | -18,8306 | 0,4099 |
| 25 | 4,1959 | 13,4443 | -9,2484 |
| 26 | 0,5066 | 1,1254 | -0,6188 |
| 27 | -18,4207 | -18,8306 | 0,4099 |
| | | Średnia | 1,986 |

Tab. Z.22. Otrzymane reszty dla modelu $E_{\rm ABS}$ separacji mieszaniny ABS/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | -18,4207 | -13,0793 | -5,3413 |
| 2 | -2,5489 | -8,8542 | 6,3053 |
| 3 | -1,0133 | 1,9284 | -2,9417 |
| 4 | -18,4207 | -12,7198 | -5,7009 |
| 5 | -3,1694 | -9,9375 | 6,768 |
| 6 | -0,9379 | -0,5977 | -0,3402 |
| 7 | -18,4207 | -11,0982 | -7,3224 |
| 8 | -2,579 | -9,7588 | 7,1797 |
| 9 | -0,4684 | -1,8619 | 1,3935 |
| 10 | 18,4207 | 19,4216 | -1,0009 |
| 11 | 18,4207 | 14,5597 | 3,8609 |
| 12 | 18,4207 | 16,2554 | 2,1653 |
| 13 | 18,4207 | 19,1143 | -0,6936 |
| 14 | 18,4207 | 12,8096 | 5,611 |
| 15 | 4,908 | 13,0624 | -8,1544 |
| 16 | 18,4207 | 19,7355 | -1,3149 |
| 17 | 18,4207 | 11,988 | 6,4327 |
| 18 | 3,8918 | 10,7979 | -6,9061 |
| 19 | 18,4207 | 16,8245 | 1,5962 |
| 20 | 18,4207 | 12,1239 | 6,2968 |
| 21 | 18,4207 | 13,9808 | 4,4399 |
| 22 | 4,1846 | 15,8504 | -11,6658 |
| 23 | 4,2074 | 9,7069 | -5,4995 |
| 24 | 4,1623 | 10,1209 | -5,9587 |
| 25 | 18,4207 | 15,4713 | 2,9494 |
| 26 | 18,4207 | 7,885 | 10,5357 |
| 27 | 4,1623 | 6,8562 | -2,6939 |
| | | Średnia | 4,854 |

Tab. Z.23. Otrzymane reszty dla modelu E_{PE} separacji mieszaniny ABS/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | -18,4207 | -21,9302 | 3,5096 |
| 2 | 18,4207 | 22,6321 | -4,2115 |
| 3 | 18,4207 | 16,9166 | 1,5041 |
| 4 | -18,4207 | -21,9302 | 3,5096 |
| 5 | 18,4207 | 22,6321 | -4,2115 |
| 6 | 18,4207 | 16,9166 | 1,5041 |
| 7 | -18,4207 | -21,9302 | 3,5096 |
| 8 | 18,4207 | 22,6321 | -4,2115 |
| 9 | 18,4207 | 16,9166 | 1,5041 |
| 10 | -18,4207 | -13,2213 | -5,1993 |
| 11 | 18,4207 | 12,1815 | 6,2392 |
| 12 | 2,1643 | 4,4484 | -2,2842 |
| 13 | -18,4207 | -13,2213 | -5,1993 |
| 14 | 18,4207 | 12,1815 | 6,2392 |
| 15 | 2,4534 | 4,4484 | -1,9950 |
| 16 | -18,4207 | -13,2213 | -5,1993 |
| 17 | 18,4207 | 12,1815 | 6,2392 |
| 18 | 2,0428 | 4,4484 | -2,4057 |
| 19 | 18,4207 | 10,9336 | 7,4871 |
| 20 | 0,8108 | 2,9323 | -2,1215 |
| 21 | 0,0000 | -0,7269 | 0,7269 |
| 22 | 18,4207 | 10,9336 | 7,4871 |
| 23 | 0,9101 | 2,9323 | -2,0223 |
| 24 | 0,0000 | -0,7269 | 0,7269 |
| 25 | 1,0288 | 10,9336 | -9,9048 |
| 26 | 0,9929 | 2,9323 | -1,9394 |
| 27 | -0,0082 | -0,7269 | 0,7187 |
| | | Średnia | 3,771 |

Tab. Z.24. Otrzymane reszty dla modelu D_{PET} separacji mieszaniny PET/ABS

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | -18,4207 | -23,4275 | 5,0068 |
| 2 | -0,5544 | 2,2158 | -2,7702 |
| 3 | 2,3763 | 4,5217 | -2,1454 |
| 4 | -18,4207 | -23,4275 | 5,0068 |
| 5 | -0,3091 | 2,2158 | -2,5249 |
| 6 | 2,2135 | 4,5217 | -2,3082 |
| 7 | -18,4207 | -23,4275 | 5,0068 |
| 8 | -0,0734 | 2,2158 | -2,2892 |
| 9 | 1,5391 | 4,5217 | -2,9826 |
| 10 | -18,4207 | -11,0032 | -7,4175 |
| 11 | 18,4207 | 14,6754 | 3,7453 |
| 12 | 18,4207 | 14,7485 | 3,6722 |
| 13 | -18,4207 | -11,0032 | -7,4175 |
| 14 | 18,4207 | 14,6754 | 3,7453 |
| 15 | 18,4207 | 14,7485 | 3,6722 |
| 16 | -18,4207 | -11,0032 | -7,4175 |
| 17 | 18,4207 | 14,6754 | 3,7453 |
| 18 | 18,4207 | 14,7485 | 3,6722 |
| 19 | -3,8918 | -6,1137 | 2,2219 |
| 20 | 18,4207 | 19,6379 | -1,2172 |
| 21 | 18,4207 | 15,0738 | 3,3469 |
| 22 | -4,0775 | -6,1137 | 2,0362 |
| 23 | 18,4207 | 19,6379 | -1,2172 |
| 24 | 18,4207 | 15,0738 | 3,3469 |
| 25 | -3,1397 | -6,1137 | 2,974 |
| 26 | 18,4207 | 19,6379 | -1,2172 |
| 27 | 4,7995 | 15,0738 | -10,2743 |
| | | Średnia | 3,793 |

Tab. Z.25. Otrzymane reszty dla modelu E_{PET} separacji mieszaniny PET/ABS

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 2 | 0,4539 | 0,5538 | -0,1000 |
| 3 | 2,4651 | 2,1610 | 0,3041 |
| 4 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 5 | 0,5505 | 0,5538 | -0,0033 |
| 6 | 2,2844 | 2,1610 | 0,1234 |
| 7 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 8 | 0,6571 | 0,5538 | 0,1033 |
| 9 | 1,7335 | 2,1610 | -0,4275 |
| 10 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 11 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 12 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 13 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 14 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 15 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 16 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 17 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 18 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 19 | 0,0202 | 0,0215 | -0,0013 |
| 20 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 21 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 22 | 0,0168 | 0,0215 | -0,0047 |
| 23 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 24 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 25 | 0,0274 | 0,0215 | 0,0060 |
| 26 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 27 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| | | Średnia | 0,040 |

Tab. Z.26. Otrzymane reszty dla modelu D_{ABS} separacji mieszaniny PET/ABS

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 18,4207 | 17,328 | 1,0927 |
| 2 | 18,4207 | 20,7952 | -2,3745 |
| 3 | 18,4207 | 17,1389 | 1,2818 |
| 4 | 18,4207 | 17,328 | 1,0927 |
| 5 | 18,4207 | 20,7952 | -2,3745 |
| 6 | 18,4207 | 17,1389 | 1,2818 |
| 7 | 18,4207 | 17,328 | 1,0927 |
| 8 | 18,4207 | 20,7952 | -2,3745 |
| 9 | 18,4207 | 17,1389 | 1,2818 |
| 10 | 18,4207 | 19,7454 | -1,32467 |
| 11 | 18,4207 | 15,3931 | 3,02754 |
| 12 | 2,0423 | 3,8061 | -1,7638 |
| 13 | 18,4207 | 19,7454 | -1,32467 |
| 14 | 18,4207 | 15,3931 | 3,02754 |
| 15 | 2,3635 | 3,8061 | -1,44261 |
| 16 | 18,4207 | 19,7454 | -1,32467 |
| 17 | 18,4207 | 15,3931 | 3,02754 |
| 18 | 1,9039 | 3,8061 | -1,90218 |
| 19 | 18,4207 | 13,4471 | 4,97355 |
| 20 | 0,2229 | 1,0357 | -0,8128 |
| 21 | -18,4207 | -18,8417 | 0,42106 |
| 22 | 18,4207 | 13,4471 | 4,97355 |
| 23 | 0,3951 | 1,0357 | -0,64066 |
| 24 | -18,4207 | -18,8417 | 0,42106 |
| 25 | 4,1959 | 13,4471 | -9,25119 |
| 26 | 0,5301 | 1,0357 | -0,50565 |
| 27 | -18,4207 | -18,8417 | 0,42106 |
| | | Średnia | 2,031 |

Tab. Z.27. Otrzymane reszty dla modelu E_{ABS} separacji mieszaniny PET/ABS

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | -18,4207 | -24,4344 | 6,0137 |
| 2 | -18,4207 | -4,8844 | -13,5363 |
| 3 | 18,4207 | 11,8942 | 6,5265 |
| 4 | 18,4207 | -24,4344 | 6,0137 |
| 5 | -18,4207 | -4,8844 | -13,5363 |
| 6 | 18,4207 | 11,8942 | 6,5265 |
| 7 | -18,4207 | -24,4344 | 6,0137 |
| 8 | -18,4207 | -4,8844 | -13,5363 |
| 9 | 18,4207 | 11,8942 | 6,5265 |
| 10 | -18,4207 | -12,6081 | -5,8126 |
| 11 | 18,4207 | 3,7776 | 14,6431 |
| 12 | 2,8274 | 9,7110 | -6,8836 |
| 13 | -18,4207 | -12,6081 | -5,8126 |
| 14 | 18,4207 | 3,7776 | 14,6431 |
| 15 | 3,2399 | 9,7110 | -6,4711 |
| 16 | -18,4207 | -12,6081 | -5,8126 |
| 17 | 18,4207 | 3,7776 | 14,6431 |
| 18 | 2,5510 | 9,7110 | -7,1599 |
| 19 | -18,4207 | -2,6939 | -15,7267 |
| 20 | 0,9528 | 7,1278 | -6,1750 |
| 21 | 0,0000 | -2,8831 | 2,8831 |
| 22 | 18,4207 | -2,6939 | 21,1146 |
| 23 | 0,8851 | 7,1278 | -6,2427 |
| 24 | -0,0133 | -2,8831 | 2,8698 |
| 25 | -1,0080 | -2,6939 | 1,6860 |
| 26 | 0,8711 | 7,1278 | -6,2568 |
| 27 | -0,0238 | -2,8831 | 2,8593 |
| | | Średnia | 8,368 |

Tab. Z.28. Otrzymane reszty dla modelu $D_{\mbox{\scriptsize PVC}}$ separacji mieszaniny $\mbox{\scriptsize PVC}/\mbox{\scriptsize ABS}$

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty | |
|-----|---------------|---------------|---------|--|
| 1 | -18,4207 | -21,5110 | 3,0903 | |
| 2 | -18,4207 | -12,2130 | -6,2077 | |
| 3 | -2,5564 | -3,6416 | 1,0852 | |
| 4 | -18,4207 | -21,8281 | 3,4075 | |
| 5 | -18,4207 | -12,7416 | -5,6791 | |
| 6 | -2,2425 | -4,3816 | 2,1391 | |
| 7 | -18,4207 | -22,1453 | 3,7246 | |
| 8 | -18,4207 | -13,2702 | -5,1505 | |
| 9 | -1,5311 | -5,1217 | 3,5906 | |
| 10 | -18,4207 | -13,0554 | -5,3653 | |
| 11 | 18,4207 | 10,5358 | 7,8849 | |
| 12 | 18,4207 | 22,5261 | -4,1054 | |
| 13 | -18,4207 | -13,3726 | -5,0481 | |
| 14 | 18,4207 | 10,0072 | 8,4135 | |
| 15 | 18,4207 | 21,7861 | -3,3654 | |
| 16 | -18,4207 | -13,6898 | -4,7309 | |
| 17 | 18,4207 | 9,4786 | 8,9421 | |
| 18 | 18,4207 | 21,0460 | -2,6253 | |
| 19 | -18,4207 | -10,0556 | -8,3650 | |
| 20 | 18,4207 | 21,6837 | -3,2630 | |
| 21 | 18,4207 | 8,4678 | 9,9529 | |
| 22 | -3,6983 | -10,3728 | 6,6745 | |
| 23 | 18,4207 | 21,1551 | -2,7344 | |
| 24 | 4,3168 | 7,7277 | -3,4109 | |
| 25 | -4,0775 | -10,6900 | 6,6124 | |
| 26 | 18,4207 | 20,6264 | -2,2058 | |
| 27 | 3,7270 | 6,9877 | -3,2607 | |
| | Średnia 4,853 | | | |

Tab. Z.29. Otrzymane reszty dla modelu $E_{\mbox{\scriptsize PVC}}$ separacji mieszaniny $\mbox{\scriptsize PVC}/\mbox{\scriptsize ABS}$

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | 0,0000 | -0,0094 | 0,0094 |
| 2 | 0,0000 | -0,0196 | 0,0196 |
| 3 | 0,0747 | 0,0940 | -0,0192 |
| 4 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 5 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 6 | 0,1009 | 0,1238 | -0,0229 |
| 7 | 0,0000 | 0,0094 | -0,0094 |
| 8 | 0,0000 | 0,0196 | -0,0196 |
| 9 | 0,1958 | 0,1537 | 0,0421 |
| 10 | 0,0000 | 0,0045 | -0,0045 |
| 11 | 18,4207 | 18,4150 | 0,0057 |
| 12 | 18,4207 | 18,4048 | 0,0159 |
| 13 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 14 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 15 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 16 | 0,0000 | -0,0045 | 0,0045 |
| 17 | 18,4207 | 18,4264 | -0,0057 |
| 18 | 18,4207 | 18,4366 | -0,0159 |
| 19 | 0,0000 | 0,0166 | -0,0166 |
| 20 | 18,4207 | 18,4289 | -0,0082 |
| 21 | -18,4207 | -18,4227 | 0,0020 |
| 22 | 0,0245 | -0,0018 | 0,0263 |
| 23 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 24 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 25 | -0,0299 | -0,0203 | -0,0096 |
| 26 | 18,4207 | 18,4124 | 0,0082 |
| 27 | -18,4207 | -18,4187 | -0,0020 |
| | | Średnia | 0,010 |

Tab. Z.30. Otrzymane reszty dla modelu D_{ABS} separacji mieszaniny PVC/ABS

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 18,4207 | 17,3884 | 1,0323 |
| 2 | 18,4207 | 20,6730 | -2,2524 |
| 3 | 18,4207 | 17,2006 | 1,2201 |
| 4 | 18,4207 | 17,3884 | 1,0323 |
| 5 | 18,4207 | 20,6730 | -2,2524 |
| 6 | 18,4207 | 17,2006 | 1,2201 |
| 7 | 18,4207 | 17,3884 | 1,0323 |
| 8 | 18,4207 | 20,6730 | -2,2524 |
| 9 | 18,4207 | 17,2006 | 1,2201 |
| 10 | 18,4207 | 19,6579 | -1,2372 |
| 11 | 18,4207 | 15,5707 | 2,8500 |
| 12 | 2,7664 | 4,4248 | -1,6584 |
| 13 | 18,4207 | 19,6579 | -1,2372 |
| 14 | 18,4207 | 15,5707 | 2,8500 |
| 15 | 3,2000 | 4,4248 | -1,2249 |
| 16 | 18,4207 | 19,6579 | -1,2372 |
| 17 | 18,4207 | 15,5707 | 2,8500 |
| 18 | 2,4698 | 4,4248 | -1,9550 |
| 19 | 18,4207 | 13,0887 | 5,3319 |
| 20 | 0,4656 | 0,9801 | -0,5146 |
| 21 | -18,4207 | -18,8134 | 0,3927 |
| 22 | 18,4207 | 13,0887 | 5,3319 |
| 23 | 0,3530 | 0,9801 | -0,6272 |
| 24 | -18,4207 | -18,8134 | 0,3927 |
| 25 | 3,0396 | 13,0887 | -10,0491 |
| 26 | 0,3289 | 0,9801 | -0,6512 |
| 27 | -18,4207 | -18,8134 | 0,3927 |
| | | Średnia | 2,011 |

Tab. Z.31. Otrzymane reszty dla modelu $\mathrm{E}_{\mathrm{ABS}}$ separacji mieszaniny PVC/ABS

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | 0,0000 | -3,5053 | 3,5053 |
| 2 | 0,0536 | 7,0605 | -7,0069 |
| 3 | 0,3643 | -3,1149 | 3,4792 |
| 4 | 0,0000 | -3,5053 | 3,5053 |
| 5 | 0,0445 | 7,0605 | -7,0160 |
| 6 | 0,3474 | -3,1149 | 3,4623 |
| 7 | 0,0000 | -3,5053 | 3,5053 |
| 8 | 0,0518 | 7,0605 | -7,0087 |
| 9 | 0,4594 | -3,1149 | 3,5743 |
| 10 | 18,4207 | 20,5238 | -2,1032 |
| 11 | 18,4207 | 14,2143 | 4,2063 |
| 12 | -18,4207 | -16,3175 | -2,1032 |
| 13 | 18,4207 | 20,5238 | -2,1032 |
| 14 | 18,4207 | 14,2143 | 4,2063 |
| 15 | -18,4207 | -16,3175 | -2,1032 |
| 16 | 18,4207 | 20,5238 | -2,1032 |
| 17 | 18,4207 | 14,2143 | 4,2063 |
| 18 | -18,4207 | -16,3175 | -2,1032 |
| 19 | 18,4207 | 13,6961 | 4,7246 |
| 20 | -18,4207 | -17,1835 | -1,2372 |
| 21 | -18,4207 | -12,8856 | -5,5351 |
| 22 | 6,1026 | 13,6961 | -7,5935 |
| 23 | -18,4207 | -17,1835 | -1,2372 |
| 24 | -18,4207 | -12,8856 | -5,5351 |
| 25 | 18,4207 | 13,6961 | 4,7246 |
| 26 | -18,4207 | -17,1835 | -1,2372 |
| 27 | 0,0404 | -12,8856 | 12,9260 |
| | | Średnia | 4,150 |

Tab. Z.32. Otrzymane reszty dla modelu $D_{\mbox{\scriptsize PP}}$ separacji mieszaniny $\mbox{\scriptsize PP/PE}$

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 2 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 3 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 4 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 5 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 6 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 7 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 8 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 9 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 10 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 11 | -0,8378 | -0,5661 | -0,2717 |
| 12 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 13 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 14 | -0,5451 | -0,5661 | 0,0209 |
| 15 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 16 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 17 | -0,3153 | -0,5661 | 0,2508 |
| 18 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 19 | 2,4089 | 3,0190 | -0,6101 |
| 20 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 21 | -18,4207 | -13,6363 | -4,7844 |
| 22 | 3,4258 | 3,0190 | 0,4068 |
| 23 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 24 | -18,4207 | -13,6363 | -4,7844 |
| 25 | 3,2223 | 3,0190 | 0,2034 |
| 26 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 27 | -4,0674 | -13,6363 | 9,5688 |
| | | Średnia | 0,771 |

Tab. Z.33. Otrzymane reszty dla modelu $E_{\mbox{\scriptsize PP}}$ separacji mieszaniny $\mbox{\scriptsize PP/PE}$

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|---------------|-----------|---------------|---------|
| 1 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 2 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 3 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 4 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 5 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 6 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 7 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 8 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 9 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 10 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 11 | 0,3595 | 0,4549 | -0,0954 |
| 12 | 0,0000 | -0,0076 | 0,0076 |
| 13 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 14 | 0,4573 | 0,4549 | 0,0024 |
| 15 | -0,0082 | -0,0076 | -0,0006 |
| 16 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 17 | 0,5479 | 0,4549 | 0,0930 |
| 18 | -0,0146 | -0,0076 | -0,0070 |
| 19 | 2,4950 | 3,0707 | -0,5757 |
| 20 | 0,0000 | -0,0023 | 0,0023 |
| 21 | 0,0000 | -0,0046 | 0,0046 |
| 22 | 3,4556 | 3,0707 | 0,3849 |
| 23 | -0,0070 | -0,0023 | -0,0047 |
| 24 | -0,0146 | -0,0046 | -0,0100 |
| 25 | 3,2614 | 3,0707 | 0,1908 |
| 26 | 0,0000 | -0,0023 | 0,0023 |
| 27 | 0,0007 | -0,0046 | 0,0053 |
| Średnia 0,051 | | | |

Tab. Z.34. Otrzymane reszty dla modelu D_{PE} separacji mieszaniny PP/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | -18,4207 | -10,9402 | -7,4805 |
| 2 | -2,8997 | -7,0450 | 4,14529 |
| 3 | -0,8220 | 2,6071 | -3,42911 |
| 4 | -18,4207 | -15,7440 | -2,67667 |
| 5 | -3,0905 | -12,3520 | 9,2615 |
| 6 | -0,8784 | -3,2031 | 2,32463 |
| 7 | -18,4207 | -11,3908 | -7,02991 |
| 8 | -2,9340 | -8,5019 | 5,56798 |
| 9 | -0,5394 | 0,1438 | -0,68321 |
| 10 | 18,4207 | 21,9231 | -3,50246 |
| 11 | 18,4207 | 16,4506 | 1,97006 |
| 12 | 18,4207 | 16,7351 | 1,68562 |
| 13 | 18,4207 | 16,4458 | 1,97484 |
| 14 | 18,4207 | 10,4702 | 7,95053 |
| 15 | 4,7995 | 10,2514 | -5,45193 |
| 16 | 18,4207 | 19,7889 | -1,36819 |
| 17 | 18,4207 | 13,3100 | 5,11066 |
| 18 | 4,2190 | 12,5881 | -8,36913 |
| 19 | 18,4207 | 19,8305 | -1,40981 |
| 20 | 18,4207 | 14,2980 | 4,12269 |
| 21 | 18,4207 | 14,5225 | 3,89823 |
| 22 | 6,1324 | 13,6797 | -7,54732 |
| 23 | 4,9548 | 7,6441 | -2,68923 |
| 24 | 4,2190 | 7,3653 | -3,14635 |
| 25 | 18,4207 | 16,0125 | 2,40815 |
| 26 | 18,4207 | 9,4737 | 8,94698 |
| 27 | 4,1085 | 8,6918 | -4,58333 |
| | | Średnia | 4,398 |

Tab. Z.35. Otrzymane reszty dla modelu E_{PE} separacji mieszaniny PP/PE
| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 0,0000 | 11,1350 | -11,1350 |
| 2 | 0,0494 | -6,5493 | 6,5986 |
| 3 | 0,1990 | 0,1325 | 0,0665 |
| 4 | 0,0000 | 11,1350 | -11,1350 |
| 5 | 0,0573 | -6,5493 | 6,6065 |
| 6 | 0,1787 | 0,1325 | 0,0462 |
| 7 | 0,0000 | 11,1350 | -11,1350 |
| 8 | 0,0471 | -6,5493 | 6,5964 |
| 9 | 0,1922 | 0,1325 | 0,0597 |
| 10 | 18,4207 | 6,3068 | 12,1139 |
| 11 | -18,4207 | -17,4070 | -1,0137 |
| 12 | -18,4207 | -13,9531 | -4,4676 |
| 13 | 18,4207 | 6,3068 | 12,1139 |
| 14 | -18,4207 | -17,4070 | -1,0137 |
| 15 | -18,4207 | -13,9531 | -4,4676 |
| 16 | 18,4207 | 6,3068 | 12,1139 |
| 17 | -18,4207 | -17,4070 | -1,0137 |
| 18 | -18,4207 | -13,9531 | -4,4676 |
| 19 | 18,4207 | 14,8164 | 3,6043 |
| 20 | -18,4207 | -12,8338 | -5,5869 |
| 21 | -18,4207 | -10,5145 | -7,9062 |
| 22 | 4,6713 | 14,8164 | -10,1451 |
| 23 | -18,4207 | -12,8338 | -5,5869 |
| 24 | 0,0852 | -10,5145 | 10,5996 |
| 25 | 18,4207 | 14,8164 | 3,6043 |
| 26 | -18,4207 | -12,8338 | -5,5869 |
| 27 | 0,0225 | -10,5145 | 10,5369 |
| | | Średnia | 6,271 |

Tab. Z.36. Otrzymane reszty dla modelu D_{PVC} separacji mieszaniny PVC/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 18,4207 | 21,5467 | -3,12599 |
| 2 | 18,4207 | 12,1676 | 6,25308 |
| 3 | 1,9413 | 3,1259 | -1,18451 |
| 4 | 18,4207 | 21,8596 | -3,43892 |
| 5 | 18,4207 | 12,6891 | 5,73153 |
| 6 | 1,5073 | 3,8560 | -2,34868 |
| 7 | 18,4207 | 22,1725 | -3,75185 |
| 8 | 18,4207 | 13,2107 | 5,20999 |
| 9 | 1,2415 | 4,5862 | -3,34464 |
| 10 | 18,4207 | 13,0131 | 5,40762 |
| 11 | -18,4207 | -10,4511 | -7,96961 |
| 12 | -18,4207 | -22,5473 | 4,12663 |
| 13 | 18,4207 | 13,3260 | 5,09469 |
| 14 | -18,4207 | -9,9295 | -8,49116 |
| 15 | -18,4207 | -21,8171 | 3,39646 |
| 16 | 18,4207 | 13,6389 | 4,78177 |
| 17 | -18,4207 | -9,4080 | -9,0127 |
| 18 | -18,4207 | -21,0870 | 2,6663 |
| 19 | 18,4207 | 9,9395 | 8,48123 |
| 20 | -18,4207 | -21,7019 | 3,28117 |
| 21 | -18,4207 | -8,5274 | -9,89325 |
| 22 | 3,2178 | 10,2524 | -7,03454 |
| 23 | -18,4207 | -21,1803 | 2,75963 |
| 24 | -4,0981 | -7,7973 | 3,69919 |
| 25 | 4,1513 | 10,5653 | -6,41401 |
| 26 | -18,4207 | -20,6588 | 2,23808 |
| 27 | -4,1846 | -7,0671 | 2,88251 |
| | | Średnia | 4,890 |

Tab. Z.37. Otrzymane reszty dla modelu E_{PVC} separacji mieszaniny PVC/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|---------|-----------|---------------|----------|
| 1 | -18,4207 | -13,1182 | -5,3025 |
| 2 | -2,9837 | -8,8810 | 5,8973 |
| 3 | -0,9280 | 1,8718 | -2,7998 |
| 4 | -18,4207 | -12,7962 | -5,6245 |
| 5 | -2,8311 | -9,9497 | 7,1186 |
| 6 | -0,7753 | -0,5877 | -0,1876 |
| 7 | -18,4207 | -11,2700 | -7,1507 |
| 8 | -3,0320 | -9,8143 | 6,7823 |
| 9 | -0,5761 | -1,8430 | 1,2669 |
| 10 | 18,4207 | 19,4535 | -1,0328 |
| 11 | 18,4207 | 14,5872 | 3,8335 |
| 12 | 18,4207 | 16,2364 | 2,1843 |
| 13 | 18,4207 | 19,1233 | -0,7026 |
| 14 | 18,4207 | 12,8662 | 5,5545 |
| 15 | 4,7015 | 13,1246 | -8,4231 |
| 16 | 18,4207 | 19,6710 | -1,2503 |
| 17 | 18,4207 | 12,0231 | 6,3976 |
| 18 | 4,3297 | 10,8908 | -6,5611 |
| 19 | 18,4207 | 17,0545 | 1,3662 |
| 20 | 18,4207 | 12,2514 | 6,1693 |
| 21 | 18,4207 | 13,9638 | 4,4569 |
| 22 | 4,7015 | 16,0720 | -11,3705 |
| 23 | 4,9080 | 9,8781 | -4,9701 |
| 24 | 4,1846 | 10,1997 | -6,0151 |
| 25 | 18,4207 | 15,6412 | 2,7794 |
| 26 | 18,4207 | 8,0566 | 10,3641 |
| 27 | 4,2074 | 6,9875 | -2,7801 |
| Średnia | | | 4,753 |

Tab. Z.38. Otrzymane reszty dla modelu E_{PE} separacji mieszaniny PVC/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 0,0000 | 2,2225 | -2,2225 |
| 2 | -0,4440 | -3,2157 | 2,7717 |
| 3 | -2,1784 | -0,8282 | -1,3501 |
| 4 | 0,0000 | 2,2225 | -2,2225 |
| 5 | -0,5378 | -3,2157 | 2,6780 |
| 6 | -1,9962 | -0,8282 | -1,1679 |
| 7 | 0,0000 | 2,2225 | -2,2225 |
| 8 | -0,6644 | -3,2157 | 2,5514 |
| 9 | -1,1677 | -0,8282 | -0,3394 |
| 10 | 18,4207 | 13,9757 | 4,4450 |
| 11 | -18,4207 | -13,0867 | -5,3340 |
| 12 | -18,4207 | -20,3257 | 1,9050 |
| 13 | 18,4207 | 13,9757 | 4,4450 |
| 14 | -18,4207 | -13,0867 | -5,3340 |
| 15 | -18,4207 | -20,3257 | 1,9050 |
| 16 | 18,4207 | 13,9757 | 4,4450 |
| 17 | -18,4207 | -13,0867 | -5,3340 |
| 18 | -18,4207 | -20,3257 | 1,9050 |
| 19 | 18,4207 | 15,8862 | 2,5345 |
| 20 | -18,4207 | -21,0877 | 2,6670 |
| 21 | -18,4207 | -11,6215 | -6,7992 |
| 22 | 4,1498 | 15,8862 | -11,7365 |
| 23 | -18,4207 | -21,0877 | 2,6670 |
| 24 | -18,4207 | -11,6215 | -6,7992 |
| 25 | 18,4207 | 15,8862 | 2,5345 |
| 26 | -18,4207 | -21,0877 | 2,6670 |
| 27 | -0,8807 | -11,6215 | 10,7408 |
| | | Średnia | 3,768 |

Tab. Z.39. Otrzymane reszty dla modelu D_{PET} separacji mieszaniny PET/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 18,4207 | 20,1913 | -1,77061 |
| 2 | 0,5016 | -2,7147 | 3,21626 |
| 3 | -2,4244 | -0,8606 | -1,56378 |
| 4 | 18,4207 | 20,1913 | -1,77061 |
| 5 | 0,2108 | -2,7147 | 2,92545 |
| 6 | -2,2103 | -0,8606 | -1,34966 |
| 7 | 18,4207 | 20,1913 | -1,77061 |
| 8 | -0,0033 | -2,7147 | 2,71134 |
| 9 | -1,4884 | -0,8606 | -0,62778 |
| 10 | 18,4207 | 15,7976 | 2,62312 |
| 11 | -18,4207 | -14,0488 | -4,37187 |
| 12 | -18,4207 | -20,1694 | 1,74875 |
| 13 | 18,4207 | 15,7976 | 2,62312 |
| 14 | -18,4207 | -14,0488 | -4,37187 |
| 15 | -18,4207 | -20,1694 | 1,74875 |
| 16 | 18,4207 | 15,7976 | 2,62312 |
| 17 | -18,4207 | -14,0488 | -4,37187 |
| 18 | -18,4207 | -20,1694 | 1,74875 |
| 19 | 4,1734 | 4,8878 | -0,71438 |
| 20 | -18,4207 | -19,8415 | 1,42086 |
| 21 | -18,4207 | -13,2274 | -5,1933 |
| 22 | 4,0574 | 4,8878 | -0,83036 |
| 23 | -18,4207 | -19,8415 | 1,42086 |
| 24 | -18,4207 | -13,2274 | -5,1933 |
| 25 | 3,875 | 4,8878 | -1,0128 |
| 26 | -18,4207 | -19,8415 | 1,42086 |
| 27 | -4,5458 | -13,2274 | 8,68156 |
| | | Średnia | 2,586 |

Tab. Z.40. Otrzymane reszty dla modelu $\mathrm{E}_{\mathrm{PET}}$ separacji mieszaniny PET/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 2 | -2,5654 | -2,4984 | -0,0670 |
| 3 | -1,1822 | -1,0237 | -0,1585 |
| 4 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 5 | -2,1147 | -2,4984 | 0,3837 |
| 6 | -1,1961 | -1,0237 | -0,1723 |
| 7 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 8 | -2,8151 | -2,4984 | -0,3167 |
| 9 | -0,6929 | -1,0237 | 0,3308 |
| 10 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 11 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 12 | 0,0000 | -0,0023 | 0,0023 |
| 13 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 14 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 15 | 0,0000 | -0,0023 | 0,0023 |
| 16 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 17 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 18 | -0,0070 | -0,0023 | -0,0047 |
| 19 | 4,1887 | 4,0477 | 0,1410 |
| 20 | 0,0000 | -0,0041 | 0,0041 |
| 21 | 0,0000 | -0,0074 | 0,0074 |
| 22 | 4,0589 | 4,0477 | 0,0112 |
| 23 | -0,0124 | -0,0041 | -0,0083 |
| 24 | -0,0070 | -0,0074 | 0,0004 |
| 25 | 3,8955 | 4,0477 | -0,1522 |
| 26 | 0,0000 | -0,0041 | 0,0041 |
| 27 | -0,0151 | -0,0074 | -0,0077 |
| | | Średnia | 0,066 |

Tab. Z.41. Otrzymane reszty dla modelu D_{PE} separacji mieszaniny PET/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | -18,4207 | -8,9342 | -9,4865 |
| 2 | -3,5110 | -7,1246 | 3,6136 |
| 3 | -0,9362 | -5,3150 | 4,3787 |
| 4 | -18,4207 | -9,2468 | -9,1739 |
| 5 | -2,8633 | -7,4371 | 4,5739 |
| 6 | -0,9820 | -5,6275 | 4,6455 |
| 7 | -18,4207 | -9,7156 | -8,7051 |
| 8 | -3,4761 | -7,9059 | 4,4298 |
| 9 | -0,3722 | -6,0963 | 5,7240 |
| 10 | 18,4207 | 16,1728 | 2,2479 |
| 11 | 18,4207 | 18,1399 | 0,2808 |
| 12 | 18,4207 | 20,1070 | -1,6863 |
| 13 | 18,4207 | 15,1310 | 3,2897 |
| 14 | 18,4207 | 17,0981 | 1,3226 |
| 15 | 18,4207 | 19,0652 | -0,6445 |
| 16 | 18,4207 | 13,5684 | 4,8523 |
| 17 | 18,4207 | 15,5354 | 2,8852 |
| 18 | 4,9548 | 17,5025 | -12,5477 |
| 19 | 18,4207 | 17,7708 | 0,6499 |
| 20 | 18,4207 | 14,2043 | 4,2164 |
| 21 | 18,4207 | 10,6378 | 7,7829 |
| 22 | 4,1513 | 15,9997 | -11,8484 |
| 23 | 4,3830 | 12,4332 | -8,0502 |
| 24 | 4,9548 | 8,8667 | -3,9119 |
| 25 | 18,4207 | 13,3432 | 5,0775 |
| 26 | 18,4207 | 9,7767 | 8,6440 |
| 27 | 3,6500 | 6,2102 | -2,5602 |
| | | Średnia | 5,083 |

Tab. Z.42. Otrzymane reszty dla modelu E_{PE} separacji mieszaniny PET/PE

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | 0,0000 | 1,8750 | -1,8750 |
| 2 | 0,0000 | -0,8004 | 0,8004 |
| 3 | 0,0000 | 0,0910 | -0,0910 |
| 4 | 0,0000 | 1,8495 | -1,8495 |
| 5 | 0,0000 | -0,8205 | 0,8205 |
| 6 | 0,0000 | 0,0789 | -0,0789 |
| 7 | 0,0000 | 1,8240 | -1,8240 |
| 8 | 0,0000 | -0,8407 | 0,8407 |
| 9 | 0,0000 | 0,0668 | -0,0668 |
| 10 | 0,0000 | -5,3575 | 5,3575 |
| 11 | 1,2682 | 6,7577 | -5,4895 |
| 12 | 18,4207 | 16,5536 | 1,8671 |
| 13 | 0,0000 | -5,3823 | 5,3823 |
| 14 | 1,1026 | 6,7383 | -5,6357 |
| 15 | 18,4207 | 16,5422 | 1,8785 |
| 16 | 0,0000 | -5,4071 | 5,4071 |
| 17 | 0,9857 | 6,7188 | -5,7331 |
| 18 | 18,4207 | 16,5308 | 1,8899 |
| 19 | 0,0626 | 1,8592 | -1,7967 |
| 20 | 18,4207 | 16,5198 | 1,9009 |
| 21 | -18,4207 | -17,7632 | -0,6575 |
| 22 | 0,0151 | 1,8359 | -1,8208 |
| 23 | 18,4207 | 16,5018 | 1,9189 |
| 24 | -18,4207 | -17,7731 | -0,6475 |
| 25 | 0,0156 | 1,8125 | -1,7969 |
| 26 | 18,4207 | 16,4838 | 1,9369 |
| 27 | -18,4207 | -17,7831 | -0,6376 |
| | | Średnia | 2,222 |

Tab. Z.43. Otrzymane reszty dla modelu D_{ABS} separacji mieszaniny ABS/PP

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 18,4207 | 17,3593 | 1,06135 |
| 2 | 18,4207 | 20,7225 | -2,30185 |
| 3 | 18,4207 | 17,1802 | 1,2405 |
| 4 | 18,4207 | 17,3593 | 1,06135 |
| 5 | 18,4207 | 20,7225 | -2,30185 |
| 6 | 18,4207 | 17,1802 | 1,2405 |
| 7 | 18,4207 | 17,3593 | 1,06135 |
| 8 | 18,4207 | 20,7225 | -2,30185 |
| 9 | 18,4207 | 17,1802 | 1,2405 |
| 10 | 18,4207 | 19,7144 | -1,29368 |
| 11 | 18,4207 | 15,4750 | 2,94567 |
| 12 | 2,498 | 4,1098 | -1,61179 |
| 13 | 18,4207 | 19,7144 | -1,29368 |
| 14 | 18,4207 | 15,4750 | 2,94567 |
| 15 | 2,6744 | 4,1098 | -1,43535 |
| 16 | 18,4207 | 19,7144 | -1,29368 |
| 17 | 18,4207 | 15,4750 | 2,94567 |
| 18 | 2,2009 | 4,1098 | -1,90883 |
| 19 | 18,4207 | 13,3844 | 5,03633 |
| 20 | 0,2683 | 1,0679 | -0,7996 |
| 21 | -18,4207 | -18,8322 | 0,41149 |
| 22 | 18,4207 | 13,3844 | 5,03633 |
| 23 | 0,4096 | 1,0679 | -0,65823 |
| 24 | -18,4207 | -18,8322 | 0,41149 |
| 25 | 4,0087 | 13,3844 | -9,37566 |
| 26 | 0,5942 | 1,0679 | -0,47364 |
| 27 | -18,4207 | -18,8322 | 0,41149 |
| | | Średnia | 1,803 |

Tab. Z.44. Otrzymane reszty dla modelu $\mathrm{E}_{\mathrm{ABS}}$ separacji mieszaniny ABS/PP

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | -18,4207 | -18,0925 | -0,3282 |
| 2 | -18,4207 | -16,2719 | -2,1488 |
| 3 | -18,4207 | -20,8976 | 2,4769 |
| 4 | -18,4207 | -18,0925 | -0,3282 |
| 5 | -18,4207 | -16,2719 | -2,1488 |
| 6 | -18,4207 | -20,8976 | 2,4769 |
| 7 | -18,4207 | -18,0925 | -0,3282 |
| 8 | -18,4207 | -16,2719 | -2,1488 |
| 9 | -18,4207 | -20,8976 | 2,4769 |
| 10 | -18,4207 | -11,4889 | -6,9318 |
| 11 | 18,4207 | 2,8741 | 15,5466 |
| 12 | 2,5770 | 11,1562 | -8,5792 |
| 13 | -18,4207 | -11,4889 | -6,9318 |
| 14 | 18,4207 | 2,8741 | 15,5466 |
| 15 | 2,7411 | 11,1562 | -8,4151 |
| 16 | -18,4207 | -11,4889 | -6,9318 |
| 17 | 18,4207 | 2,8741 | 15,5466 |
| 18 | 2,3059 | 11,1562 | -8,8503 |
| 19 | 18,4207 | 10,0768 | 8,3438 |
| 20 | 0,8362 | 6,2421 | -5,4059 |
| 21 | 0,0000 | -2,9144 | 2,9144 |
| 22 | 18,4207 | 10,0768 | 8,3438 |
| 23 | 0,9188 | 6,2421 | -5,3233 |
| 24 | 0,0000 | -2,9144 | 2,9144 |
| 25 | 0,6154 | 10,0768 | -9,4614 |
| 26 | 1,0338 | 6,2421 | -5,2084 |
| 27 | -0,0318 | -2,9144 | 2,8826 |
| | | Średnia | 5,887 |

Tab. Z.45. Otrzymane reszty dla modelu $D_{\mbox{\scriptsize PP}}$ separacji mieszaniny ABS/PP

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 2 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 3 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 4 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 5 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 6 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 7 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 8 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 9 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 10 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 11 | 0,9379 | 0,7186 | 0,2193 |
| 12 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 13 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 14 | 0,6992 | 0,7186 | -0,0194 |
| 15 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 16 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 17 | 0,5187 | 0,7186 | -0,1999 |
| 18 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 19 | -2,7398 | -3,4340 | 0,6942 |
| 20 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 21 | 18,4207 | 13,4242 | 4,9965 |
| 22 | -4,1846 | -3,4340 | -0,7506 |
| 23 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 24 | 18,4207 | 13,4242 | 4,9965 |
| 25 | -3,3777 | -3,4340 | 0,0563 |
| 26 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 27 | 3,4312 | 13,4242 | -9,9930 |
| | | Średnia | 0,812 |

Tab. Z.46. Otrzymane reszty dla modelu $E_{\mbox{\scriptsize PP}}$ separacji mieszaniny ABS/PP

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | -18,4207 | -18,4497 | 0,0290 |
| 2 | 18,4207 | 18,4966 | -0,0759 |
| 3 | 18,4207 | 18,3737 | 0,0469 |
| 4 | -18,4207 | -18,4497 | 0,0290 |
| 5 | 18,4207 | 18,4966 | -0,0759 |
| 6 | 18,4207 | 18,3737 | 0,0469 |
| 7 | -18,4207 | -18,4497 | 0,0290 |
| 8 | 18,4207 | 18,4966 | -0,0759 |
| 9 | 18,4207 | 18,3737 | 0,0469 |
| 10 | -18,4207 | -18,3627 | -0,0580 |
| 11 | 0,3016 | 0,2158 | 0,0857 |
| 12 | 0,0000 | 0,0939 | -0,0939 |
| 13 | -18,4207 | -18,3627 | -0,0580 |
| 14 | 0,3619 | 0,2158 | 0,1461 |
| 15 | 0,0000 | 0,0939 | -0,0939 |
| 16 | -18,4207 | -18,3627 | -0,0580 |
| 17 | 0,4395 | 0,2158 | 0,2237 |
| 18 | 0,0000 | 0,0939 | -0,0939 |
| 19 | -0,9353 | -0,1349 | -0,8003 |
| 20 | 0,0000 | 0,0759 | -0,0759 |
| 21 | 0,0000 | -0,0451 | 0,0451 |
| 22 | 0,7343 | -0,1349 | 0,8692 |
| 23 | 0,0000 | 0,0759 | -0,0759 |
| 24 | 0,0000 | -0,0451 | 0,0451 |
| 25 | -0,1169 | -0,1349 | 0,0180 |
| 26 | 0,0000 | 0,0759 | -0,0759 |
| 27 | 0,0054 | -0,0451 | 0,0505 |
| | | Średnia | 0,127 |

Tab. Z.47. Otrzymane reszty dla modelu D_{PET} separacji mieszaniny PET/PP

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | -18,4207 | -23,4342 | 5,0135 |
| 2 | -0,4152 | 2,3897 | -2,8049 |
| 3 | 2,8122 | 4,7551 | -1,9428 |
| 4 | -18,4207 | -23,4342 | 5,0135 |
| 5 | -0,1416 | 2,3897 | -2,5313 |
| 6 | 2,4401 | 4,7551 | -2,315 |
| 7 | -18,4207 | -23,4342 | 5,0135 |
| 8 | 0,1008 | 2,3897 | -2,2889 |
| 9 | 1,5975 | 4,7551 | -3,1576 |
| 10 | -18,4207 | -10,9933 | -7,4274 |
| 11 | 18,4207 | 14,6552 | 3,7655 |
| 12 | 18,4207 | 14,7588 | 3,6619 |
| 13 | -18,4207 | -10,9933 | -7,4274 |
| 14 | 18,4207 | 14,6552 | 3,7655 |
| 15 | 18,4207 | 14,7588 | 3,6619 |
| 16 | -18,4207 | -10,9933 | -7,4274 |
| 17 | 18,4207 | 14,6552 | 3,7655 |
| 18 | 18,4207 | 14,7588 | 3,6619 |
| 19 | -3,4312 | -5,6398 | 2,2086 |
| 20 | 18,4207 | 19,6445 | -1,2238 |
| 21 | 18,4207 | 15,0504 | 3,3702 |
| 22 | -3,1439 | -5,6398 | 2,4959 |
| 23 | 18,4207 | 19,6445 | -1,2238 |
| 24 | 18,4207 | 15,0504 | 3,3702 |
| 25 | -3,1026 | -5,6398 | 2,5372 |
| 26 | 18,4207 | 19,6445 | -1,2238 |
| 27 | 4,7396 | 15,0504 | -10,3109 |
| | | Średnia | 3,800 |

Tab. Z.48. Otrzymane reszty dla modelu $\mathrm{E}_{\mathrm{PET}}$ separacji mieszaniny PET/PP

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 2 | 0,5069 | 0,6255 | -0,1186 |
| 3 | 2,8706 | 2,3920 | 0,4786 |
| 4 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 5 | 0,6249 | 0,6255 | -0,0007 |
| 6 | 2,5236 | 2,3920 | 0,1316 |
| 7 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 8 | 0,7448 | 0,6255 | 0,1193 |
| 9 | 1,7818 | 2,3920 | -0,6102 |
| 10 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 11 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 12 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 13 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 14 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 15 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 16 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 17 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 18 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 19 | -0,0514 | -0,0116 | -0,0398 |
| 20 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 21 | -18,4207 | -12,1206 | -6,3001 |
| 22 | 0,0222 | -0,0116 | 0,0338 |
| 23 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 24 | -18,4207 | -12,1206 | -6,3001 |
| 25 | -0,0056 | -0,0116 | 0,0060 |
| 26 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 27 | 0,4796 | -12,1206 | 12,6002 |
| | | Średnia | 0,990 |

Tab. Z.49. Otrzymane reszty dla modelu $D_{\mbox{\scriptsize PP}}$ separacji mieszaniny PET/PP

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 2 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 3 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 4 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 5 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 6 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 7 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 8 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 9 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 10 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 11 | -1,0442 | -0,8228 | -0,2215 |
| 12 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 13 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 14 | -0,8299 | -0,8228 | -0,0071 |
| 15 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 16 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 17 | -0,5942 | -0,8228 | 0,2286 |
| 18 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 19 | 2,4446 | 3,1084 | -0,6637 |
| 20 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 21 | -18,4207 | -13,6987 | -4,7220 |
| 22 | 3,9004 | 3,1084 | 0,7920 |
| 23 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 24 | -18,4207 | -13,6987 | -4,7220 |
| 25 | 2,9801 | 3,1084 | -0,1283 |
| 26 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 27 | -4,2546 | -13,6987 | 9,4441 |
| | | Średnia | 0,775 |

Tab. Z.50. Otrzymane reszty dla modelu $E_{\mbox{\scriptsize PP}}$ separacji mieszaniny PET/PP

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 18,4207 | 21,5380 | -3,11732 |
| 2 | 18,4207 | 12,2080 | 6,21271 |
| 3 | 2,2009 | 3,4560 | -1,25509 |
| 4 | 18,4207 | 21,8432 | -3,42247 |
| 5 | 18,4207 | 12,7166 | 5,70412 |
| 6 | 2,0605 | 4,1680 | -2,10759 |
| 7 | 18,4207 | 22,1483 | -3,72762 |
| 8 | 18,4207 | 13,2251 | 5,19554 |
| 9 | 1,3978 | 4,8801 | -3,48227 |
| 10 | 18,4207 | 13,0452 | 5,37548 |
| 11 | -18,4207 | -10,4787 | -7,94197 |
| 12 | -18,4207 | -22,5129 | 4,09224 |
| 13 | 18,4207 | 13,3503 | 5,07033 |
| 14 | -18,4207 | -9,9701 | -8,45055 |
| 15 | -18,4207 | -21,8009 | 3,38022 |
| 16 | 18,4207 | 13,6555 | 4,76518 |
| 17 | -18,4207 | -9,4615 | -8,95914 |
| 18 | -18,4207 | -21,0889 | 2,6682 |
| 19 | 18,4207 | 10,1662 | 8,25444 |
| 20 | -18,4207 | -21,6757 | 3,25501 |
| 21 | -18,4207 | -8,7845 | -9,63615 |
| 22 | 4,0878 | 10,4714 | -6,38364 |
| 23 | -18,4207 | -21,1671 | 2,74643 |
| 24 | -4,908 | -8,0725 | 3,16454 |
| 25 | 3,9622 | 10,7765 | -6,81437 |
| 26 | -18,4207 | -20,6585 | 2,23784 |
| 27 | -4,1846 | -7,3605 | 3,1759 |
| | | Średnia | 4,837 |

Tab. Z.51. Otrzymane reszty dla modelu E_{PVC} separacji mieszaniny PVC/PET

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | -18,4207 | -15,5962 | -2,8245 |
| 2 | 18,4207 | 16,6211 | 1,7995 |
| 3 | 2,2211 | 1,9791 | 0,2420 |
| 4 | -18,4207 | -15,5962 | -2,8245 |
| 5 | 18,4207 | 16,6211 | 1,7995 |
| 6 | 2,0763 | 1,9791 | 0,0973 |
| 7 | -18,4207 | -15,5962 | -2,8245 |
| 8 | 18,4207 | 16,6211 | 1,7995 |
| 9 | 1,4151 | 1,9791 | -0,5640 |
| 10 | -18,4207 | -21,5747 | 3,1540 |
| 11 | 0,0000 | 0,6051 | -0,6051 |
| 12 | 0,0000 | 0,9195 | -0,9195 |
| 13 | -18,4207 | -21,5747 | 3,1540 |
| 14 | 0,0000 | 0,6051 | -0,6051 |
| 15 | 0,0000 | 0,9195 | -0,9195 |
| 16 | -18,4207 | -21,5747 | 3,1540 |
| 17 | 0,0000 | 0,6051 | -0,6051 |
| 18 | 0,0000 | 0,9195 | -0,9195 |
| 19 | 18,4207 | 6,5082 | 11,9125 |
| 20 | 0,0000 | 1,1945 | -1,1945 |
| 21 | 0,0000 | -0,9904 | 0,9904 |
| 22 | 0,0299 | 6,5082 | -6,4783 |
| 23 | 0,0000 | 1,1945 | -1,1945 |
| 24 | 0,0074 | -0,9904 | 0,9978 |
| 25 | 0,0855 | 6,5082 | -6,4227 |
| 26 | 0,0000 | 1,1945 | -1,1945 |
| 27 | 0,0046 | -0,9904 | 0,9950 |
| | | Średnia | 2,229 |

Tab. Z.52. Otrzymane reszty dla modelu D_{PET} separacji mieszaniny PVC/PET

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | -18,4207 | -20,1913 | 1,7706 |
| 2 | -0,5016 | 2,7147 | -3,2163 |
| 3 | 2,4244 | 0,8606 | 1,5638 |
| 4 | -18,4207 | -20,1913 | 1,7706 |
| 5 | -0,2108 | 2,7147 | -2,9255 |
| 6 | 2,2103 | 0,8606 | 1,3497 |
| 7 | -18,4207 | -20,1913 | 1,7706 |
| 8 | 0,0033 | 2,7147 | -2,7113 |
| 9 | 1,4884 | 0,8606 | 0,6278 |
| 10 | -18,4207 | -15,7976 | -2,6231 |
| 11 | 18,4207 | 14,0488 | 4,3719 |
| 12 | 18,4207 | 20,1694 | -1,7488 |
| 13 | -18,4207 | -15,7976 | -2,6231 |
| 14 | 18,4207 | 14,0488 | 4,3719 |
| 15 | 18,4207 | 20,1694 | -1,7488 |
| 16 | -18,4207 | -15,7976 | -2,6231 |
| 17 | 18,4207 | 14,0488 | 4,3719 |
| 18 | 18,4207 | 20,1694 | -1,7488 |
| 19 | -4,1734 | -4,8878 | 0,7144 |
| 20 | 18,4207 | 19,8415 | -1,4209 |
| 21 | 18,4207 | 13,2274 | 5,1933 |
| 22 | -4,0574 | -4,8878 | 0,8304 |
| 23 | 18,4207 | 19,8415 | -1,4209 |
| 24 | 18,4207 | 13,2274 | 5,1933 |
| 25 | -3,8750 | -4,8878 | 1,0128 |
| 26 | 18,4207 | 19,8415 | -1,4209 |
| 27 | 4,5458 | 13,2274 | -8,6816 |
| | | Średnia | 2,586 |

Tab. Z.53. Otrzymane reszty dla modelu E_{PET} separacji mieszaniny PVC/PET

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 0,0000 | 6,3947 | -6,3947 |
| 2 | 0,0000 | -7,2216 | 7,2216 |
| 3 | -0,0816 | 0,6729 | -0,7545 |
| 4 | 0,0000 | 6,3947 | -6,3947 |
| 5 | 0,0000 | -7,2216 | 7,2216 |
| 6 | -0,1408 | 0,6729 | -0,8137 |
| 7 | 0,0000 | 6,3947 | -6,3947 |
| 8 | 0,0000 | -7,2216 | 7,2216 |
| 9 | -0,2397 | 0,6729 | -0,9126 |
| 10 | 0,0000 | -4,1284 | 4,1284 |
| 11 | -18,4207 | -18,4123 | -0,0084 |
| 12 | -18,4207 | -14,3006 | -4,1200 |
| 13 | 0,0000 | -4,1284 | 4,1284 |
| 14 | -18,4207 | -18,4123 | -0,0084 |
| 15 | -18,4207 | -14,3006 | -4,1200 |
| 16 | 0,0000 | -4,1284 | 4,1284 |
| 17 | -18,4207 | -18,4123 | -0,0084 |
| 18 | -18,4207 | -14,3006 | -4,1200 |
| 19 | 0,0754 | -2,2466 | 2,3220 |
| 20 | -18,4207 | -11,2075 | -7,2132 |
| 21 | -18,4207 | -4,8880 | -13,5327 |
| 22 | -0,0027 | -2,2466 | 2,2438 |
| 23 | -18,4207 | -11,2075 | -7,2132 |
| 24 | 18,4207 | -4,8880 | 23,3087 |
| 25 | -0,0137 | -2,2466 | 2,2329 |
| 26 | -18,4207 | -11,2075 | -7,2132 |
| 27 | 0,1769 | -4,8880 | 5,0649 |
| | | Średnia | 5,128 |

Tab. Z.54. Otrzymane reszty dla modelu D_{PVC} separacji mieszaniny PVC/PP

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | 18,4207 | 21,5678 | -3,1471 |
| 2 | 18,4207 | 12,2351 | 6,1856 |
| 3 | 2,4652 | 3,5147 | -1,0495 |
| 4 | 18,4207 | 21,8499 | -3,4292 |
| 5 | 18,4207 | 12,7053 | 5,7154 |
| 6 | 1,8892 | 4,1729 | -2,2837 |
| 7 | 18,4207 | 22,1320 | -3,7114 |
| 8 | 18,4207 | 13,1755 | 5,2452 |
| 9 | 1,3059 | 4,8312 | -3,5253 |
| 10 | 18,4207 | 13,0582 | 5,3625 |
| 11 | -18,4207 | -10,4236 | -7,9971 |
| 12 | -18,4207 | -22,4658 | 4,0452 |
| 13 | 18,4207 | 13,3403 | 5,0804 |
| 14 | -18,4207 | -9,9534 | -8,4673 |
| 15 | -18,4207 | -21,8076 | 3,3869 |
| 16 | 18,4207 | 13,6224 | 4,7982 |
| 17 | -18,4207 | -9,4832 | -8,9374 |
| 18 | -18,4207 | -21,1493 | 2,7286 |
| 19 | 18,4207 | 9,7708 | 8,6499 |
| 20 | -18,4207 | -21,6427 | 3,222 |
| 21 | -18,4207 | -8,4017 | -10,019 |
| 22 | 3,7639 | 10,0529 | -6,2889 |
| 23 | -18,4207 | -21,1725 | 2,7519 |
| 24 | -4,1404 | -7,7434 | 3,603 |
| 25 | 3,0207 | 10,3350 | -7,3143 |
| 26 | -18,4207 | -20,7024 | 2,2817 |
| 27 | -3,9713 | -7,0851 | 3,1138 |
| | | Średnia | 4,902 |

Tab. Z.55. Otrzymane reszty dla modelu E_{PVC} separacji mieszaniny PVC/PP

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | -18,4207 | -22,8223 | 4,4016 |
| 2 | -18,4207 | -18,4454 | 0,0247 |
| 3 | -18,4207 | -14,0852 | -4,3355 |
| 4 | -18,4207 | -22,8223 | 4,4016 |
| 5 | -18,4207 | -18,4454 | 0,0247 |
| 6 | -18,4207 | -14,0852 | -4,3355 |
| 7 | -18,4207 | -22,8223 | 4,4016 |
| 8 | -18,4207 | -18,4454 | 0,0247 |
| 9 | -18,4207 | -14,0852 | -4,3355 |
| 10 | -18,4207 | -8,9323 | -9,4884 |
| 11 | -0,3496 | -6,1600 | 5,8104 |
| 12 | 0,0000 | -3,5732 | 3,5732 |
| 13 | -18,4207 | -8,9323 | -9,4884 |
| 14 | -0,4359 | -6,1600 | 5,7241 |
| 15 | 0,0000 | -3,5732 | 3,5732 |
| 16 | -18,4207 | -8,9323 | -9,4884 |
| 17 | -0,4943 | -6,1600 | 5,6657 |
| 18 | 0,0000 | -3,5732 | 3,5732 |
| 19 | 18,4207 | 2,7066 | 15,7140 |
| 20 | 0,0000 | 2,1464 | -2,1464 |
| 21 | 0,0000 | 1,0499 | -1,0499 |
| 22 | -0,1252 | 2,7066 | -2,8318 |
| 23 | 0,0000 | 2,1464 | -2,1464 |
| 24 | 0,0158 | 1,0499 | -1,0341 |
| 25 | -0,3329 | 2,7066 | -3,0395 |
| 26 | 0,0000 | 2,1464 | -2,1464 |
| 27 | 0,0031 | 1,0499 | -1,0469 |
| | | Średnia | 4,216 |

Tab. Z.56. Otrzymane reszty dla modelu $D_{\mbox{\scriptsize PP}}$ separacji mieszaniny PVC/PP

| Lp. | Zmierzone | Aproksymowane | Reszty |
|-----|-----------|---------------|---------|
| 1 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 2 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 3 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 4 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 5 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 6 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 7 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 8 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 9 | -18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 10 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 11 | 0,8712 | 0,6410 | 0,2302 |
| 12 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 13 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 14 | 0,6044 | 0,6410 | -0,0366 |
| 15 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 16 | -18,4207 | -18,4207 | 0,0000 |
| 17 | 0,4473 | 0,6410 | -0,1937 |
| 18 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 19 | -2,5464 | -3,2685 | 0,7221 |
| 20 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 21 | 18,4207 | 13,6642 | 4,7565 |
| 22 | -3,8918 | -3,2685 | -0,6233 |
| 23 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 24 | 18,4207 | 13,6642 | 4,7565 |
| 25 | -3,3673 | -3,2685 | -0,0988 |
| 26 | 18,4207 | 18,4207 | 0,0000 |
| 27 | 4,1513 | 13,6642 | -9,5129 |
| | | Średnia | 0,773 |

Tab. Z.57. Otrzymane reszty dla modelu $E_{\mbox{\scriptsize PP}}$ separacji mieszaniny PVC/PP