

UNIwersytet PRZYRODniczy w LUBLINIE

Wydział Inżynierii Produkcji

Dyscyplina naukowa: inżynieria mechaniczna

Kinga Kraśnicka

*Rozprawa doktorska*

**Optymalizacja procesu separacji zanieczyszczeń w surowcach zielarskich**

*Optimization of the impurity separation process in herbal raw material*

Rozprawa doktorska wykonana w Katedrze Inżynierii i Maszyn Spożywczych

Promotor: dr hab. inż. Jacek Mazur, prof. uczelni

Lublin, 2023

## **Oświadczenie promotora rozprawy doktorskiej**

Oświadczam, że niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego.

Data .....

Podpis promotora .....

## **Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej**

Świadom/a odpowiedzialności prawnej oświadczam, że:

- niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana przez mnie samodzielnie pod kierunkiem Promotora/Promotorów/Promotora pomocniczego\* i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.
- przedstawiona rozprawa doktorska nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia naukowego.
- niniejsza wersja rozprawy doktorskiej jest tożsama z załączoną na płycie CD/pendrive wersją elektroniczną.

Data .....

Podpis autora .....

\* niepotrzebne skreślić

### Zestawienie stosowanych oznaczeń

$v$  – obroty głowicy dyszy separującej [ $\text{obr} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

$n$  – natężenie przepływu strumienia powietrza separującego [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$t$  – czas separacji [s]

$\alpha$  – kąt naturalnego usypu [ $^\circ$ ]

$h$  – wysokość usypanego stożka [mm]

$r_s$  – promień usypanego stożka [mm]

$m_1$  – masa napełnionego naczynia pomiarowego [g]

$m_0$  – masa pustego naczynia pomiarowego [g]

$V_2$  – objętość naczynia pomiarowego po uderzeniu [ $\text{cm}^3$ ]

$V_1$  – objętość naczynia pomiarowego przed uderzeniem [ $\text{cm}^3$ ]

$A_{sr}$  - średnia wartość absorbancji badanego roztworu zawierającego antyoksydant,

$A_0$  - absorbancja roztworu rodnika DPPH (0,95)

$\varepsilon$  - wyznacznik efektywności procesu separacji (zawiera się w przedziale  $\langle 0; 100\% \rangle$ )

Tymianek 200/10/20 – tymianek odseparowany przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $10 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Tymianek 200/10/50 – tymianek odseparowany przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $10 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Tymianek 200/10/70 – tymianek odseparowany przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $10 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Rumianek 200/10/70 – rumianek odseparowany przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $10 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Rumianek 200/30/20 – rumianek odseparowany przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $30 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

- Rumianek 200/30/50 – rumianek odseparowany przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $30\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $50\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
- Rumianek (k+z) 200/30/50 – rumianek kwiat + zanieczyszczenia odseparowany przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $30\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $50\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
- Rumianek (k+z) 200/30/70 – rumianek kwiat + zanieczyszczenia odseparowany przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $30\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $70\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
- Rumianek (k+z) 200/50/20 – rumianek kwiat + zanieczyszczenia odseparowany przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $50\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $20\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
- Rumianek (k+z) 200/50/50 – rumianek kwiat + zanieczyszczenia odseparowany przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $50\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $50\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
- Rumianek (z+p) 200/50/70 – rumianek zanieczyszczenia + piasek odseparowany przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $50\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $70\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
- Konopia 630/10/20 – konopia odseparowana przy wielkości oczek sita  $630\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $10\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $20\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
- Konopia 630/10/50 – konopia odseparowana przy wielkości oczek sita  $630\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $10\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $50\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
- Konopia 630/10/70 – konopia odseparowana przy wielkości oczek sita  $630\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $10\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $70\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
- Konopia 630/30/20 – konopia odseparowana przy wielkości oczek sita  $630\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $30\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $20\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$

Konopia 630/30/50 – konopia odseparowana przy wielkości oczek sita  $630\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $30\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $50\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$

Melisa (pył) 200/10/20 – melisa (pył) odseparowana przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $10\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $20\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$

Melisa (pył) 200/10/50 – melisa (pył) odseparowana przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $10\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $50\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$

Melisa (pył) 200/10/70 – melisa (pył) odseparowana przy wielkości oczek sita  $200\mu\text{m}$ , prędkości obrotowej głowicy  $10\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , natężeniu przepływu strumienia powietrza  $70\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$

# SPIS TREŚCI

1. WSTĘP.....	11
2. PRZEDŁĄD LITERATURY .....	14
2.1. Charakterystyka wybranych surowców zielarskich .....	14
2.1.1. Tymianek .....	14
2.1.2. Rumianek.....	15
2.1.3. Konopia.....	16
2.1.4. Melisa.....	18
2.2. Występowanie zanieczyszczeń surowców zielarskich .....	20
2.3. Normy .....	23
2.4. Metody oceny występowania zanieczyszczeń zielarskich .....	24
2.5. Typowe substancje czynne występujące w ziołach.....	25
2.5.1. Glikozydy .....	26
2.5.2. Glikozydy nasercowe .....	26
2.5.3. Antraglikozydy .....	27
2.5.4. Flawonoidy.....	27
2.5.5. Saponiny (saponozydy) .....	28
2.5.6. Fenole i glikozydy fenolowe .....	28
2.5.7. Kumaryny .....	29
2.5.8. Gorycze.....	29
2.5.9. Kwasy organiczne.....	30
2.5.10. Azulenyl .....	30
2.5.11. Olejki eteryczne.....	30
2.5.12. Węglowodany i śluzy .....	32
2.5.13. Garbniki .....	32
2.5.14. Nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT).....	33
2.5.15. Witaminy .....	33
2.5.16. Inne składniki biologicznie czynne .....	33
2.5.17. Składniki mineralne.....	34
2.6. Czyszczenie materiału ziarnistego .....	35
2.7. Urządzenia rozdzielające.....	36
2.7.1. Czyszczalnie pneumatyczne.....	37
2.7.2. Przesiewacze płaskie .....	38

2.7.3. Przesiewacze obrotowe .....	38
2.7.4. Tryjery.....	39
2.7.5. Separatory tarciove .....	39
2.7.6. Czyszczalnie magnetyczne .....	40
2.7.7. Sortownik stołowy .....	41
2.7.8. Separatory fotoelektryczne .....	41
2.7.9. Separatory elektrostatyczne.....	42
2.7.10. Czyszczalnie złożone .....	42
2.8. Charakterystyka separatora pneumatyczno-sitowego .....	43
2.9. Przykłady metod analitycznych substancji czynnych występujących w ziołach .....	46
2.9.1. Metoda DPPH .....	46
2.9.2. Metoda Folin-Ciocalteu .....	47
3. CEL PRACY I PROBLEM NAUKOWY .....	49
4. MIEJSCE I PRZEDMIOT BADAŃ .....	51
4.1. Przygotowanie mieszanek.....	51
5. METODYKA BADAŃ.....	54
5.1. Analiza sitowa .....	54
5.2. Kąt zsyphu.....	55
5.3. Kąt usyphu .....	55
5.4. Gęstość utrżęsona .....	56
5.5. Zawartość związków fenolowych - metodaFolin-Ciocalteu .....	57
5.6. Potencjał antyoksydacyjny - metoda DPPH.....	60
5.7. Wilgotność .....	62
5.8. Zawartość popiołu.....	63
5.9. Analiza statystyczna.....	64
5.10. Ocena efektywności procesu separacji .....	64
6. WYNIKI.....	66
6.1. Wyniki analizy sitowej .....	66
6.2. Wyniki pomiaru ubytku masy.....	78
6.3. Wyniki pomiaru kąta zsyphu.....	82
6.4. Wyniki pomiaru kąta usyphu .....	92
6.5. Wyniki pomiaru gęstości utrżęsoniej .....	100
6.6. Wyniki pomiaru zawartości związków fenolowych .....	111
6.7. Wyniki pomiaru potencjału antyoksydacyjnego.....	117

6.8. Wyniki pomiaru wilgotności .....	123
6.9. Wyniki pomiaru zawartości popiołu .....	129
6.10. Analiza statystyczna .....	135
6.11. Efektywność procesu separacji .....	151
7. DYSKUSJA.....	154
8. WNIOSKI I PODSUMOWANIE.....	156
9. BIBLIOGRAFIA .....	166
10. SPIS RYSUNKÓW, FOTOGRAFII I TABEL .....	177



## STRESZCZENIE

Rozprawa doktorska składa się z 8 rozdziałów. Pierwszy obejmuje wprowadzenie do tematyki pracy. Część druga stanowi studium literatury, w którym omówiono charakterystykę wybranych surowców zielarskich, występowanie zanieczyszczeń surowców zielarskich, normy jakościowe, metody oceny występowania zanieczyszczeń zielarskich, typowe substancje czynne występujące w ziołach, urządzenia wykorzystywane do czyszczenia materiału ziarnistego oraz przykłady metod analitycznych substancji czynnych występujących w ziołach. W rozdziale trzecim zaprezentowano cel i problem naukowy tej rozprawy. Następnie opisano miejsce i przedmiot badań: stanowisko do badań wraz z aparaturą pomiarową. Materiał do badań stanowił surowiec zielarski (tymianek, rumianek, rumianek kwiat + zanieczyszczenia, rumianek zanieczyszczenia + piasek, konopia, melisa (pył)). Separację zanieczyszczeń przeprowadzono w separatorze pneumatyczno-sitowym RHEWUM LPS 200 MC. W rozdziale piątym przedstawiono plan badań. Badania eksperymentalne miały na celu określenie wpływu procesu separacji pneumatyczno-sitowej na zdolność obniżenia zanieczyszczeń mineralnych i stopień utraty aktywnych substancji tego surowca. Jako czynniki zmiennych decyzyjnych planu badań przyjęto: prędkość obrotową głowicy separującej [v], natężenie przepływu strumienia powietrza [n] oraz czas procesu separacji [t]. W rozdziale szóstym przedstawiono wyniki badań dla surowca zielarskiego przed i po procesie separacji oraz uzyskanych pyłów. Dokonano analizy istotności różnic z wykorzystaniem testu Tukey'a przyjmując poziom istotności  $\alpha=0,05$ . Zależności matematyczne atrybutów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych z ziół uzyskano przeprowadzając estymację (regresja użytkownika z wykorzystaniem najmniejszych kwadratów) metodą Levenberga-Marquardta za pomocą programu Statistica 13 ([www.statsoft.pl](http://www.statsoft.pl)). Dodatkowo wyznaczono w analizowanej grupie doświadczalnej optymalne parametry procesu separacji. Rozdział siódmy stanowi część dyskusyjną, w której otrzymane wyniki porównano z wynikami innych autorów. Ostatnia, ósma część, stanowi wnioski i podsumowanie, stanowiące rozwiązanie postawionych w pracy problemów badawczych. Największą efektywność procesu stwierdzono dla poszczególnych surowców przy następujących parametrach: dla tymianku – 200/10/70/20; rumianku – 200/10/70/60; rumianku k+z – 200/30/70/20; konopi – 630/10/50/20; melisy (pył) – 200/10/50/40.

Słowa kluczowe: zioła, separacja pneumatyczno-sitowa, usuwanie zanieczyszczeń mineralnych, zawartość polifenoli, własności antyoksydacyjne

## ABSTRACT

This thesis consists of eight chapters. The first chapter includes an introduction to the subject on discussion. The second part presents the study of the literature, which discusses the characteristics of selected herbal ingredients, the influence of herbal factors, quality standards, methods of analyzing herbal ingredients, characteristic features of herbal ingredients, devices used to test granular material and analytical methods of acting on ingredients in herbs. The third chapter presents the purpose and scientific problem of this thesis. Then, the place and subject of the research was described: experimental station with measuring appliances. The material for the study was herbal raw material (thyme, chamomile, chamomile flower + impurities, chamomile impurities + sand, hemp, melissa (dust)). The separation of impurities was carried out in the pneumatic sieve separator RHEWUM LPS 200 MC. The fifth chapter presents the research plan. Experimental studies were aimed at determining the impact of the pneumatic-sieve separation process on the ability to reduce mineral impurities and the degree of loss of active substances of this raw material. As the independent variables of the experimental research plan were accepted: rotational speed of the separating head [v], air stream flow rate [n] and separation process time [t]. The sixth chapter presents the results of research on herbal raw material before and after the separation process and the obtained dusts. The significance of differences was analyzed using Tukey's test, assuming the significance level  $\alpha=0.05$ . Mathematical relationships of attributes of effectiveness of removing mineral impurities from herbs were obtained by estimating (user regression using least squares) by using the Levenberg-Marquardt method using the Statistica 13 program ([www.statsoft.pl](http://www.statsoft.pl)). In addition, the most optimal parameters of the separation process were determined in the analyzed experimental group. The seventh chapter is a discussion part in which the obtained results were compared with the results of other authors. The last, eighth part is a conclusion and a summary, which is a solution to the research problems posed in the work. The highest efficiency of the process was found for individual raw materials with the following parameters: thyme - 200/10/70/20; chamomile - 200/10/70/60; chamomile k+z - 200/30/70/20; hemp - 630/10/50/20; melissa (dust) - 200/10/50/40.

Key words: herbs, pneumatic sieve separation, removal of mineral impurities, polyphenol content, antioxidant properties

## 1. WSTĘP

Ostatnimi czasy wśród konsumentów wzrasta zainteresowanie produktami pochodzenia naturalnego, nisko przetworzonymi, bez syntetycznych dodatków, jak również popularne stają się specyfiki, których receptura bazuje na naturalnych komponentach, w tym suszonych surowcach zielarskich i przyprawach. Zioła lecznicze znalazły uznanie konsumentów z całego świata nie tylko dzięki swoim wartościom leczniczym, lecz także aromatycznym i smakowym [Sadowski, Kozłowska-Burdziak 2012].

W przetwórstwie spożywczym stosowane są w celach kulinarnych, głównie jako przyprawy do podkreślenia oraz polepszenia smaku potraw, ziołowe herbaty smakowe czy suplementy diety. W przemyśle farmaceutycznym są źródłem cennych składników wykorzystywanych w postaci suszu, wyciągów w postaci suchej lub ekstraktów płynnych. Surowce zielarskie powszechnie wykorzystywane są w terapiach wspomagających medycynę konwencjonalną. Światowe spożycie ziół i preparatów ziołowych utrzymuje się na wysokim poziomie. Zioła mogą być wykorzystywane w alternatywnych metodach leczenia wielu schorzeń [Ledziom i in. 2011]. Surowce te posiadają właściwości pobudzające łaknienie, przyczyniając się do zwiększania ilości wydzielanego soku żołądkowego, hamowania procesów utleniania w ludzkim organizmie, działają bakterio- i grzybobójczo [Wieczorkiewicz-Górnik, Piątkiewicz. 2001]. Wiele badań poświęconych jest możliwościom wykorzystania ich własności przeciwtleniających i przeciwdrobnoustrojowych w konserwacji i przechowywaniu artykułów spożywczych. Ponadto mogą one służyć do barwienia produktów [Bugno i in. 2006; Burt 2004].

Zioła lecznicze to ogólne określenie obejmujące surowce, które używane są w profilaktyce medycznej i leczeniu, zróżnicowane pod względem systematycznym, pochodzenia geograficznego czy składu chemicznego. Od tysiącleci ludzkość wykorzystuje je do celów medycznych, a współcześnie wzrasta zainteresowanie wykrywaniem i identyfikacją aktywnych leczniczo substancji pochodzenia roślinnego. Analizuje się rośliny, rozpoczynając od gatunków wykorzystywanych w medycynie tradycyjnej, przez florę użytkową po dziko rosnącą, w kategoriach ich przydatności w wytwarzaniu nowych leków. Główną grupę roślin leczniczych stanowią rośliny

naczyniowe (ponad 90%), pozostałe należą do odrębnych grup systematycznych - grzyby i porosty. Posiadają one ustaloną, gatunkowo właściwą zdolność sorpcji z glebymakro- i mikroelementów. Wiele surowców roślinnych może być źródłem łatwych do przyswojenia pierwiastków [Nowiński 1980].

Pod koniec XX wieku, w oparciu o lekospisy z całego świata wykazano, że w dzisiejszych czasach wykorzystuje się w celach leczniczych ponad 20 000 rodzajów roślin. Rozległe analizy ich składu chemicznego skutkowały wykryciem i identyfikacją wielu nieznanych wcześniej związków chemicznych, które nie występują w przyrodzie poza roślinami, a posiadają działanie farmakologiczne, warunkujące własności lecznicze generujących je gatunków roślin. Należą one do zróżnicowanych grup związków: alkaloidów, flawonoidów i antocyjanów, glikozydów, garbników, żywic, olejków eterycznych, antrazwiązków, kwasów organicznych, związków goryczkowych, cukrowców, tłuszczu, karotenoidów i witamin [Matławska 2005; Samochowiec 2002]. Jednakże niezależnie od korzyści, jakie dostarcza używanie roślin leczniczych i przyprawowych w codziennej diecie czy profilaktyce medycznej, zasadniczym i niezaprzeczalnym faktem jest konieczność utrzymywania surowców zielarskich na najwyższym poziomie czystości mikrobiologicznej [Remiszewski i in. 2006].

Rocznie na świecie wykorzystuje się około 100 000 ton produktów zielarskich, z czego 15-20% przypada Polsce. Należy jednak dodać, że znacząca część materiału eksploatowanego w naszym państwie jest importowana [Janda-Ulfig, Ulfig 2008]. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego z 2011 roku w Polsce zasiew ziół zajmuje około 14 000 hektarów powierzchni, co stanowi 0,14% ogólnej krajowej powierzchni upraw. Źródłem materiału zielarskiego poza uprawami może być także sezonowe zbieractwo ręczne ze stanowisk naturalnych [Sadowski, Kozłowska-Burdziak 2012]. Surowce zebrane ze stanu naturalnego cechuje wysoka zawartość substancji czynnych, takich jak polifenole (w tym flawonoidy, taniny, lignany itp.), alkaloidy, glikozydy olejki eteryczne, saponiny itp. [Śledź, Witrowa-Rajchert 2012].

Wzrastające zapotrzebowanie na produkty zielarskie skutkuje wprowadzaniem do uprawy ziół mniej rozpowszechnionych lub zupełnie nowych gatunków i odmian, będących wydajniejszymi w plonowaniu, charakteryzujących się lepszymi cechami sensorycznymi, a także wyższą aktywnością biologiczną. Przez wzgląd na krótką trwałość świeżych ziół poddaje się je zwykle procesowi suszenia. Dobrą i wygodną metodą ich

konserwowania jest także zamrażanie. Jednakże wyniki analiz wykazują niejednokrotnie wysokie zanieczyszczenie mikrobiologiczne suszonych produktów zielarskich przyprawowych i leczniczych [Remiszewski i in. 2006]. Również w zamrożonych ziołach może utrzymywać się wysoka liczba drobnoustrojów [Wójcik-Stopczyńska, Jadczak. 2007]. Zanieczyszczenie mikroorganizmami ziół świeżych, jak i zakonserwowanych, może się przyczyniać do ich zepsucia, a tym samym do zmiany ich cech sensorycznych i skutkować zagrożeniem zdrowotnym, z powodu możliwości wystąpienia mikroflory patogennej oraz mikotoksyn [Doyle, Erickson 2008; Zagory 1999]. Badania mikrobiologiczne produktów zielarskich obejmują głównie susze, których mikroflora warunkowana jest wieloma czynnikami zarówno o pierwotnym, jak i wtórnym charakterze [Kędzia 2000]. Mniej jest natomiast analiz dotyczących zanieczyszczenia mikrobiologicznego świeżych ziół, w znacznym stopniu zależącego od środowiska uprawy, a które determinuje późniejszą jakość otrzymanych produktów [Johnston i in. 2006].

Z reguły surowiec uprawiany na terenach gospodarstw rolnych, plantacjach ziół, a także zbierane runo leśne są w znacznym stopniu zanieczyszczone wszelkiego rodzaju niepożądanymi materiałami. Charakter i ilość zanieczyszczeń surowców roślinnych zależy przede wszystkim od warunków wzrostu roślin uprawnych, ich pielęgnacji, techniki zbioru, wstępnego czyszczenia, czy sposobu transportu i rodzaju opakowania [Feder i in. 2008]. Podstawowe oczyszczanie mechaniczne opiera się na eliminowaniu z ziół zanieczyszczeń typu piasek, kamienie, patyki, łodygi, plastik, metal czy innych niepożądanych elementów. Zanieczyszczenia mechaniczne i mineralne, pogarszające jakość suszu, nie zostały do tej pory dogłębnie przebadane. Z tego względu tym aspektem należy się zająć z większą uwagą [Grochowicz 1979].

## **2. PRZEDŁĄD LITERATURY**

### **2.1. Charakterystyka wybranych surowców zielarskich**

Surowce zielarskie zdefiniować można jako wszelkie rośliny podzielone, pocięte lub w całości, albo ich części w postaci nieprzetworzonej, świeże lub suszone. Substancje ziołowe określane są przez użytą część rośliny oraz nazwę botaniczną. Ziołowym produktem może być zarówno wyrób, który zawiera jako składnik aktywny jedną albo kilka substancji, jak i połączenie jednej lub kilku substancji z kilkoma preparatami ziołowymi. Preparaty ziołowe pozyskuje się przez poddanie substancji obróbce, m.in. destylacji, frakcjonowaniu, ekstrakcji, fermentacji, koncentracji itp. W Polsce coraz popularniejsze oraz często przetwarzane są takie surowce jak tymianek, rumianek, konopia czy melisa. [Kwapuliński i in. 2005].

#### **2.1.1. Tymianek**

Tymianek, nazywany inaczej tymian, tymianek właściwy, macierzanka tymianek, charakteryzuje się specyficznym, mocnym zapachem oraz lekko pikantnym, gorzkim smakiem. Wywodzi się z obszaru basenu Morza Śródziemnego, jednak współcześnie uprawiany jest również na terenie całego świata, w tym w Polsce. Stosowano go już w czasach starożytnych - Grecy przyrządzali napar z tymianku w przypadku problemów z układem moczowym, w starożytnym Rzymie był składnikiem zdrowotnych kąpiel, natomiast Egipcjanie używali go zarówno w kuchni, jak i do balsamowania zwłok. W skład chemiczny tymianku wchodzi takie związki, jak olejki eteryczne, kwasy polifenolowe, flawonoidy, saponiny, związki garbnikowe, sole mineralne. To dzięki tym substancjom znalazł obecnie szerokie zastosowanie w kuchni, kosmetyce oraz medycynie naturalnej [Buchwald, Szczyglewska 1999; Kaźmierczak, Seidler-Łożykowska 2001]. Zawdzięcza to przede wszystkim silnym właściwościom przeciwzapalnym i przeciwbakteryjnym. Stosowany jest przy dolegliwościach układu pokarmowego oraz moczowego. Wspomaga organizm przy niestrawnościach, zaparciach czy biegunkach. Jako składnik potraw sprzyja ich trawieniu, przyspieszając przemianę materii. Dodatkowo koi ból, wspomaga leczenie schorzeń żołądka, jelit i wątroby. W formie naparów, syropów oraz innych preparatów jest niezastąpiony w trakcie infekcji jamy ustnej, gardła i migdałków. Za sprawą swojego działania rozkurczowego oraz wykrztuśnego jest także korzystny jako specyfik na kaszel. Jako surowiec do produkcji kosmetyków wspomaga utrzymanie zdrowej skóry. Niejednokrotnie znajduje się w składzie różnych preparatów

pielęgnacyjnych np. żeli do twarzy, kremów, maści, szamponów itp. Kosmetyki bogate w tymianek są rekomendowane dla osób zmagających się z cerą tłustą lub trądzikową, przetłuszczającymi się włosami czy łupieżem. Tymianek jest również składnikiem past do zębów, ponieważ wspiera regenerację uszkodzonych dziąseł [Olędzka, Szyszkowska 2000; Witoszyńska, Jendryczko 1994].



Fot. 1. Tymianek

### **2.1.2. Rumianek**

Rumianek pospolity (*Matricariachamomilla L.*) jest niewielką rośliną jednoroczną o dość intensywnym zapachu, powszechną zarówno w Europie, jak i Ameryce Północnej, Azji czy Australii. W Polsce jako chwast polny występuje w ogrodach, na łąkach, polach, miedzach oraz nieużytkach, jednak przez wzgląd na swoje szerokie zastosowanie uprawia się go także na plantacjach. Posiada kilka charakterystycznych dla siebie cech morfologicznych, takich jak pierzastosieczne liście, czy koszyczki składające się z podłużnych, białych płatków zewnętrznych oraz rurkowatych żółtych kwiatów wewnętrznych [Legutowska, Kolakowska 2004]. Roślina ta towarzyszyła ludziom od zarania dziejów – wzmianki o niej można znaleźć już w pismach ojców medycyny Hipokratesa i Galena. Główną substancją leczniczą rumianku jest lotny olejek, wyizolowany po raz pierwszy w XV wieku, więc stosowany jest w lecznictwie już od 500 lat. Ciemnoniebieski kolor olejku może zaskakiwać, ponieważ większość olejków eterycznych ma żółtawy odcień. Większość olejku eterycznego bogatego w witaminy i minerały pozyskiwana jest z kwiatów, dlatego też są one najcenniejsze. W kwiatach poza flawonoidami i substancjami przeciwalergicznymi znajdują się również fenolokwasy,

fitosterole, spiroeter, poliacetyleny, cholina, garbniki katechinowe, związki kumarynowe oraz śluzowe czy sole mineralne [Zielińska-Pisklak, Szeleszczuk 2013].

Rumianek, dzięki tak bogatemu składowi, posiada wiele własności leczniczych, takich jak m.in. właściwości dezodorujące, przeciwzapalne, przyspieszające gojenie ran, rozkurczające mięśnie gładkie, przeciwbakteryjne czy stymulujące przemianę materii w skórze. Jest skuteczny także na skurcze oraz zapalenie żołądka czy jelit. Można go stosować zarówno przy zapaleniu skóry i błon śluzowych, jak i w przypadku bakteryjnych schorzeń jamy ustnej. Właściwości przeciwbakteryjne i przeciwgrzybiczne tej rośliny wynikają z zawartości chamazulenu oraz bisabololu, wspomagających hamowanie rozwoju bakterii oraz grzybów. Dzięki temu rumianek działa pozytywnie jako okład czy jeden ze składników maści na trudno gojące się rany, owrzodzenia, oparzenia słoneczne i oparzenia termiczne pierwszego oraz drugiego stopnia. Dobroczynny wpływ rumianku na ludzki organizm docenił również przemysł kosmetyczny, czerpiący z niego garściami. Olejek rumiankowy stosuje się przy produkcji: mydeł, kremów, maseczek, balsamów, płynów do kąpieli (zwłaszcza tych dedykowanych dzieciom i osobom o wrażliwej skórze), szamponów oraz odżywek do włosów (szczególnie blond, ponieważ wspomaga utrzymywanie naturalnej jasnej barwy), czy past do zębów [Grys i in. 2014].



Fot. 2. Rumianek

### **2.1.3. Konopia**

Konopia siewna (*Cannabissativa* L.) jest gatunkiem jednorodnej rośliny zielnej z rodziny konopiowatych. W naturalnych warunkach występuje w górach Tienszan, Altaj, a także w Afganistanie i na Zakaukaziu, jednak jako roślina uprawna została



rozpowszechniona w również w innych częściach świata. Charakteryzuje się rozgałęzioną łodygą, zwykle osiagającą 1,5m wysokości, dorastając czasem do 2,5-3,5m. Posiada naprzeciwległe, krótkoogonkowe, dłoniastosieczne liście o piłkowanym brzegu i zaostrowym wierzchołku. Jej okres wegetacji jest bardzo krótki i wynosi 3-4miesiące [Burczyk i in. 2009].

Wyróżnić można trzy podstawowe kierunki ich uprawy i wykorzystania: na włókno, paździerz i nasiona. Wytwarza się z nich wiele różnych produktów z różnych dziedzin – w kuchni wykorzystywane są jako olej konopny, czy nasiona jako dodatek do sałatek, w farmacji i kosmetyce tworzy się z nich leki, suplementy diety, opatrunki. Ponadto są surowcem wykorzystywanym w przemyśle celulozowo-papierniczym, włókienniczym, budownictwie oraz w produkcji elementów konstrukcyjnych. Konopia siewna posiada bardzo wysokie właściwości fitoremediacyjne, dzięki czemu nadaje się do oczyszczania gleb zdegradowanych przez przemysł, jak również hamuje nadmierny rozwój chwastów czy chorób i szkodników roślin [Kaniewski i in. 2000].

Nasiona konopne zawierają około 20-25% białka i 28-35% oleju będącego bogatym źródłem niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowe. Są także źródłem witaminy E, witaminy K, żelaza, wapnia, fosforu, cynku i magnezu. Witamina E, jako silny przeciwutleniacz, chroni kwasy omega-3 przed utlenianiem, zachowując ich prozdrowotne właściwości. Poza tym ma pozytywny wpływ na elastyczność naczyń krwionośnych, dzięki czemu poprawia krążenie, obniża prawdopodobieństwo wystąpienia miażdżycy czy choroby niedokrwiennej serca. Natomiast cynk wspomaga układ odpornościowy oraz zapewnia zdrowy wygląd skóry, włosów i paznokci. Olej konopny także ma korzystny skład – zawiera znaczną ilość kwasu linolowego i  $\alpha$ -linolenowego oraz do 4% kwasu  $\gamma$ -linolenowego (GLA), będącego cennym składnikiem nowoczesnych diet [Dorna i in 2010; Zimniewska 2006].

Osoba chcąc zajmować się uprawą konopi musi uzyskać zezwolenie z urzędu gminy lub miasta w zależności od położenia plantacji. Podstawowym aktem prawnym regulującym warunki legalnej uprawy konopi w Polsce jest ustawa z 29 lipca 2005 r. o przeciwdziałaniu narkomanii (DzU z 2005 r., nr 179, poz. 1485 z późniejszymi zmianami) oraz przy uprawie na nasiona – ustawa o nasiennictwie z 9 listopada 2012 r. (DzU. 2012, poz. 1512 z późniejszymi zmianami).



Fot. 3. Konopia

#### 2.1.4. Melisa

Melisa lekarska (*Melissa officinalis* L.) jest gatunkiem wieloletniej rośliny z rodziny jasnotowatych (*Lamiaceae*), wywodzącej się najprawdopodobniej z rejonów basenu śródziemnomorskiego. Obecnie została szeroko rozpowszechniona na terenie całego świata, ze względu na swoje zdolności adaptacyjne do różnych warunków klimatycznych – spotkać ją można w strefach umiarkowanych Europy, Ameryki Północnej czy Azji. Jest zarówno rośliną uprawną, jak również porastającą dzikie siedliska. Pochodzenie nazwy melisy lekarskiej związane jest z intensywnie słodko-cytrynowym zapachem jej kwiatów i liści, słynących z przyciągania pszczoł i motyli (grec. *melissophyllon*, oznaczające „liść miodu”). Może dorastać nawet do 1 m wysokości, posiada sercowo-jajowate liście porastające cienkie, silnie rozgałęzione łodygi w całości pokryte włoskami [Dobros 2017; Lewandowski 1997].

Medyczne zastosowanie melisy lekarskiej znane jest już od ponad 2000 lat - starożytni Rzymianie i Grecy pili ją, by koić swoje nerwy. Stosowano ją także przy ukąszeniach owadów, bólach głowy czy zaćmie. Starożytni zażywali kąpiele zdrowotnych w melisie, by odświeżyć ciało i umysł. Dopiero w X wieku trafiła do Europy, kiedy to wraz z Arabami przywędrowała do Hiszpanii. W medycynie ludowej używano jej do regulacji miesiączki, w stanach nadmiernej pobudliwości płciowej, a także jako skuteczny środek na wymioty dla ciężarnych kobiet. Stosowano ją także zewnętrznie, w formie okładów, na wrzody i bóle reumatyczne. Głównymi aktywnymi składnikami melisy są związki lotne (neral, geranial, geraniol, citronellal), triterpeny (kwas oleanolowy, kwas ursolowy), fenole (kwas rozmarynowy, kwas kawowy), luteolina, naringina,

hesperydyna, garbniki, gorycze oraz śluzy. Bogaty skład chemiczny melisy pozwala na stosowanie jej w leczeniu wielu różnych schorzeń [Moradkhanii in. 2010].

Występujący w melisie kwas rozmarynowy posiada silne właściwości wspomagające leczenie niektórych zakażeń wirusowych, takich jak związanych z przeziębieniem adenowirusów, wirusa zapalenia wątroby typu B, wirusa opryszczki typu 1 (HSV-1) oraz niektórych przypadków opryszczki narządów płciowych. Dodatkowo stymuluje aktywność GABA (kwas gamma-aminomasłowy) w mózgu, którego aktywacja wpływa hamująco na neurony, w związku z czym pojawia się działanie zmniejszające napięcie nerwowe, uspokajające, relaksujące i przeciwłękowe. Istnieje również coraz więcej dowodów, że melisa lekarska może pomóc w leczeniu rozstroju żołądka (objawów niestrawności), zespołu jelita drażliwego, czy refluksu. Poza kwasem rozmarynowym zawiera także cytral, linalol i beta-kariofilen, które posiadają właściwości przeciwskurczowe (spazmolityczne) oraz przeciwgazowe (wiatropędne) - olejki lotne, znane jako „terpeny”, rozluźniają mięśnie, łagodzą objawy wzdęć i nadmiaru gazów w przewodzie pokarmowym. Melisa pomaga w problemach z wątrobą i woreczkiem żółciowym, zwiększając produkcję żółci. Ponadto może zwiększać aktywność acetylocholino, która pomaga zwalczać niektóre deficyty pamięci wywołanymi chorobą Alzheimera - wstępne badania wykazują, że zawarty w ekstrakcie z melisy cytral posiada właściwości hamujące aktywność cholinoesterazy (mechanizm stosowany w lekach w przypadku łagodnego lub umiarkowanego zaawansowania choroby Alzheimera). Powoduje to poprawę funkcji poznawczych oraz spowolnienie zmian neurodegeneracyjnych. Wspomniany wcześniej kwas rozmarynowy także wywiera działanie neuroprotektcyjne, które pomaga chronić komórki mózgu i potencjalnie spowalniać ich starzenie się. Melisa zawiera również silne przeciwutleniacze, takie jak eugenol, które przechwytyują wolne rodniki, zanim będą mogły atakować komórki mózgowe [Bahtiyarca, Bagdat 2006; Moradkhanii in. 2010].

Pierwsze zastosowanie melisy w celach kosmetycznych sięga XIV wieku, kiedy to królowa Węgier używała jej, aby odświeżyć cerę oraz spłycić zmarszczki. Współczesne badania dowodzą, że ekstrakt z melisy wspomaga zwalczanie wolnych rodników, odpowiedzialnych za starzenie się organizmu. Ponadto melisa zawiera składniki lotne, w tym kwas rozmarynowy, kwas kawowy oraz kwas p-kumarynowy, wspierające naturalną regenerację organizmu. Dzięki swojemu świeżemu, cytrynowemu zapachowi, dobrze sprawdza się także w kuchni - jako dodatek do drobiu, ryb i warzyw, jak również

w farszach, sałatkach, czy napojach. W tym celu najlepiej zastosować świeże liście, ponieważ proces suszenia powoduje stratę praktycznie całego smaku tych ziół [Verma, Pratap 2015].



Fot. 4. Melisa

## **2.2. Występowanie zanieczyszczeń surowców zielarskich**

Przyczyn zanieczyszczenia surowców zielarskich jest wiele. Mogą to być np. zanieczyszczenia biologiczne, takie jak fragmenty innych roślin, w tym chwastów czy samosiewów, jak również chemiczne, w tym związki metali ciężkich lub pozostałości po środkach ochrony roślin. Do zanieczyszczenia surowca roślinnego dochodzi poprzez skażenie gleby, wody czy powietrza. Zanieczyszczenie może pochodzić także z aparatury przemysłowej lub z procesów technologicznych – katalizatory [Markowska, Libudzisz 2003; Seńczuk 1990].

Zarówno zioła, jak i uzyskane z nich przyprawy są narażone na zanieczyszczenie w drodze pierwotnego skażenia przez drobnoustroje zamieszkujące glebę, a także poprzez skażone powietrze, wodę, czy odchody zwierząt. Zróżnicowana mikroflora gleby jest podstawowym źródłem zanieczyszczenia roślin. Gleba jest bogata w bakterie gram-dodatnie z rodzaju *Streptococcus*, *Proteus*, *Corynebacterium* oraz *Rhodococcus*, jak również przetrwalnikowe bakterie z rodzaju *Bacillus*, głównie *B. cereus*, *B. pumillus*, *B. subtilis* oraz *B. licheniformis* czy przetrwalnikowe beztlenowe z rodzaju *Clostridium*, promieniowce i pleśnie np. *Alternaria*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium*. Dodatkowo glebę zasiedlają także pałeczki *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Alcaligenes*, jak również bakterie *Agrobacterium*, *Mycobacterium* i *Xantomonas* [Libudzisz, Kowal 2000; Kunicka-

Styczyńska, Śmigielski 2011]. Wielokrotnie czynnikiem warunkującym skażenie roślin jest woda, ponieważ poprzez glebę i powietrze mogą się do niej dostać bakterie przetrwalnikowe z rodzaju *Bacillus*, czy grzyby drożdżopodobne (*Cryptococcus*, *Candida*, *Rhodotorula*, *Debaromyces*) czy grzyby pleśniowe (*Cladosporium*, *Mucor*, *Penicillium*) [Remiszewski i in. 2006]. Z kolei mikroflora powietrza jest zmienna ze względu na uwarunkowana strefy klimatycznej, porę roku, glebę, nasłonecznienie, a także ilość opadów. Dodatkowo na skład mikroflory w powietrzu wpływa bliskość terenów przemysłowych - działanie promieni ultrafioletowych oraz wysuszenie powietrza wpływa na żywotność drobnoustrojów w powietrzu [Żakowska, Stobińska 2000].

Zasadniczym czynnikiem mającym wpływ na skażenie produktu zielarskiego jest także działalność człowieka, ponieważ zanieczyszczenie mineralne może nastąpić w trakcie niewłaściwego (niezbyt „czystego”) zbioru, braku przestrzegania zasad higieny w trakcie przetwarzania zebranego surowca, a nawet nieodpowiednie dobranie metody transportu, składowania lub suszenia. Powoduje to pogorszenie się jakości surowca (osadzanie się kurzu, pyłów, ziemi na surowcu) oraz zwiększone ryzyko zakażenia organizmami [Kumirska i in. 2000].

Człowiek przyczynia się do skażenia ziół oraz przypraw bakteriami chorobotwórczymi niespotykanymi w naturalnych warunkach (lub są spotykane sporadycznie) w roślinach. O krzyżowym zanieczyszczeniu odchodami zwierząt, a nawet ludzi świadczy występowanie bakterii *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Enterococcus faecalis*, *Listeria monocytogenes* oraz *Yersinia enterocolitica* [Borowy, Kubiak 2010; Janda, Ulfing 2005].

Do zakażenia ziół i przypraw dużą ilością mikroorganizmów przyczynia się często niewłaściwa obróbka surowca. Nieprawidłowości w procesie suszenia, takie jak nieodpowiedni czas przetrzymywania go w niskiej temperaturze, jak również składowanie niedosuszonego surowego materiału zielarskiego ułożonego w zbyt grube warstwy, może powodować rozwój pleśni. Na szybkość ich rozwoju ma wpływ także temperatura, wilgotność, stopień naświetlenia oraz odczyn środowiska [Kędzia 2000]. Wadliwy proces zbioru, przetwarzania i magazynowania prowadzi do zakażenia surowca *Staphylococcus aureus*, który spożyty w zbyt dużych ilościach powoduje zatrucia pokarmowe przebiegające podobnie jak zatrucie *Escherichia coli* [Horabik 2001; Vitullo i in. 2011].

Należy wziąć pod uwagę, że surowce zielarskie oraz przyprawy posiadają rodzimą mikroflorę, do której zaliczyć można bakterie gram-dodatnie oraz gram-ujemne. Najliczniej reprezentującą pierwszą grupę bakterii są laseczki przetrwalnikowe z rodzaju *Bacillus*, w tym *B. mesentericus* i *B. megaterium*. W obrębie tej grupy mikroorganizmów, w ziołach i przyprawach występują także promieniowce *Actinomyces*, *Micromonospora* oraz *Streptomyces*. Z kolei z bakterii gram-ujemnych najpowszechniejszymi są *Chromobacterium*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Aerobacter*, *Spirillum*, *Alcaligenes* i *Enterobacter*. Prócz bakterii surowce zielarskie w swojej rodzimej mikroflorze mogą posiadać również grzyby pleśniowe z rodzajów: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Rhizopus* oraz *Penicillium* [Dutkiewicz i in. 2001; Kunicka-Styczyńska, Śmigielski 2011].

Niezależnie od źródła zanieczyszczenia drobnoustrojami chorobotwórczymi, skażone zioła i przyprawy mogą powodować negatywne skutki uboczne u konsumentów. Szczególnie narażone na ich działanie są dzieci, osoby starsze oraz osłabione. Jest to o tyle istotne, ponieważ zioła czy przyprawy często dodawane są do potrawy już po jej ugotowaniu, więc nie podlegają obróbce termicznej. Część mikroorganizmów nawet po długotrwałym magazynowaniu wysuszonego surowca i niskiej aktywności wodnej może przetrwać i skutkować zatruciem pokarmowym (np. *Salmonella*). Jeszcze większym niebezpieczeństwem są mykotoksyny, które są produktem wtórnym metabolizmu grzybów pleśniowych [Janda-Ulfig, Ulfig 2008; Sagoo 2009]. Te metabolity mogą powodować skutki chorobotwórcze o przewlekłym charakterze, podoстрыm lub ostrym, jak również wykazują działanie terato- i kancerogenne. Ponadto mogą przyczyniać się do obniżenia odporności, uszkodzenia wątroby, martwicy mózgu, zaburzeń płodności, a nawet przyspieszać rozwój choroby nowotworowej przelyku, wątroby, nerek, żołądka, dwunastnicy czy okrężnicy. Ostre zatrucia pokarmowe mykotoksynami zdarzają się rzadko, jednak może wystąpić niebezpieczeństwo długotrwałego działania małych dawek tych toksyn na organizm [Juszczak 2008; Pokrzywa i in. 2007].

Obecność zanieczyszczeń może negatywnie wpływać na właściwości fizykochemiczne surowca zielarskiego, powodując obniżenie własności leczniczych, niepożądane reakcje chemiczne oraz biologiczne, a tym samym stwarzając zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka. Aby temu zapobiec opracowane zostały normy określające ich maksymalne dopuszczalne stężenia. Obecnie badacze dysponują coraz większą ilością metod badań ilościowych i jakościowych substancji chemicznych, skutkiem czego

wymagania prawne określające czystość oraz jakość surowców zielarskich stają się bardziej restrykcyjne. Do kwalifikacji materiału roślinnego stosuje się wymagania stawiane przez Farmakopeę Polską i Europejską [Kwapuliński i in. 2005].

### **2.3. Normy**

W Polsce plantatorzy mają obowiązek stosowania się do restrykcji ustanowionych przez Farmakopea Polska. Analizy jakościowe wyznaczające poziom czystości i przydatności surowców zielarskich do celów leczniczych, muszą być przeprowadzane jedynie w laboratoriach urzędowych i referencyjnych, wymienionych w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi. To rozporządzenie określa również zakres realizowanych badań laboratoryjnych. W oparciu o takie badania firma farmakologiczna, która skupuje surowiec, uzyskuje pełną dokumentację dotyczącą składu materiału roślinnego [Farmakopea Polska VII. 2006].

Wyniki analiz jakościowych decydują o możliwości potencjalnego zastosowania danego surowca roślinnego i jego dalszego przetworzenia. W Polsce obowiązują normy prawne krajowe, jak również unijne, a także zalecenia WHO. Głównym źródłem zasad określających sposób pobierania próbek, metodykę badań oraz kontrolę zanieczyszczeń w składnikach używanych w celach farmaceutycznych, jest Farmakopea Polska i Europejska. Przed przystąpieniem do Unii Europejskiej w Polsce obowiązywało Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 13 stycznia 2003 r. w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dozwolonych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających w przetwarzaniu albo na powierzchni żywności. Po 2004 roku zaczęły obowiązywać m.in. Rozporządzenie Komisji (WE) NR 1881/2006 oraz Rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1933. Surowce roślinne, które nie spełniają wymagań wyżej wymienionych rozporządzeń nie mogą zostać wprowadzone do obrotu na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej.

Ważnym źródłem informacji na temat rodzajów i właściwości ziół mogą być monografie ogólne oraz szczegółowe, ponieważ ich zawartość może okazać się pomocna przy uzyskiwaniu surowców odpowiedniej jakości. Kryteria opierają się na przesłankach naukowych, technicznych i związanych z procesem dopuszczenia produktu do obrotu. Monografie szczegółowe i ogólne dopełniają się - w szczegółowych prezentowane są wskaźniki akceptacji zanieczyszczeń, natomiast ogólne obejmują potrzeby identyfikacji,

kwalifikacji oraz wskazania wszystkich potencjalnych zanieczyszczeń organicznych, które mogą wystąpić w substancjach czynnych. Wspierając się publikacjami naukowymi opisującymi wpływ danych związków na ludzki organizm oraz ich zawartość w produktach pochodzenia roślinnego, jak również porównując zawartość pierwiastków śladowych do zalecanego dziennego spożycia surowca i zapotrzebowania na mikroelementy, mamy możliwość oceny potencjalnych możliwości wykorzystania danej rośliny w medycynie [Farmakopea Polska VII. 2006].

#### **2.4. Metody oceny występowania zanieczyszczeń zielarskich**

Podstawowymi analizami prowadzonymi w celu oceny wartości surowca zielarskiego są badania zawartości popiołu, wody (wilgotności), zanieczyszczeń organicznych np. części innych roślin oraz mineralnych. Pomiary składają się na wstępną charakterystykę czystości surowca [Steinka 2011]. W Farmakopea Polska zostały opisane metody oznaczania czystości surowca oraz podane wymogi zawartości popiołu i wilgotności, oddzielnie dla każdego surowca. Podstawowym elementem prawidłowo przeprowadzonego badania ilościowego i jakościowego jest odpowiednie pobranie, a następnie przygotowanie próbek do analizy. Przygotowana próbka powinna charakteryzować się średnią jakością analizowanego surowca zielarskiego. Dlatego też powinno się ocenić, czy dana seria jest jednorodna. W momencie, gdy seria może zostać uznana za jednorodną, należy przyjąć ilość losowo wybranych naczyń. W przypadku serii niejednorodnej należy ją podzielić na podgrupy, z których zostanie pobrana próba reprezentatywną dla jednorodnej serii do dalszych badań i postępować tak, jak z próbą jednorodną. Analizowaną próbkę należy pobrać z każdego naczynia z dolnej, centralnej lub górnej części w taki sposób, aby otrzymać reprezentatywną próbkę. [Farmakopea Polska VIII. 2008; Kwiatek, Korol 2004].

Końcowe przygotowanie prób do badań polega na ich sproszkowaniu, dokładnym wymieszaniu i połączeniu. Proces ten opisany jest przez Farmakopeę Polską VIII. Stosowane na rynku lecznicze surowce roślinne przeważnie są w postaci suszu, np. herbatki ziołowe. Postać wysuszona produktu leczniczego zawiera, w zależności od rośliny, określoną ilość wody, zazwyczaj w granicach 5% do 12%. Wilgoć zawarta w surowcu może mieć negatywny wpływ na działanie lecznicze zioła. Nadmiar wody sprzyja rozwojowi pleśni czy grzybów. W efekcie zioła tracą walory smakowe, zapachowe, może także dojść do zmiany barwy. Najważniejszym efektem zawilgocenia surowca jest aktywacja enzymów, które mogą katalizować niekorzystne procesy takie jak



hydroliza estrów, glikozydów czy polimeryzacja. W efekcie zioła mogą stracić właściwości lecznicze. Z kolei przesuszenie surowca też nie jest korzystne z uwagi na transport czy pakowanie. Może dochodzić do nadmiernego kruszenia produktu. Metody oznaczania zawartości wilgoci (wody) można podzielić ze względu na rodzaj surowca. W surowcach zawierających substancje lotne takie jak olejki eteryczne, zawartość wody oznacza się metodą destylacji azeotropowej, wykorzystującej rozpuszczalniki organiczne o gęstości różnej od wody. Najczęściej stosuje się toluen lub ksylen. W przypadku surowców nie olejkowych, zalecaną metodą określającą zawartość wody, jest metoda wagowa. Polega ona na oznaczaniu straty masy surowca roślinnego (wcześniej przesianego przez sito 0,28mm) po jego wysuszeniu w 105°C [Kabelitz 2002, Klimek i in. 2011]. Całkowita zawartość popiołu powstałego po wyprażeniu surowca zależy od wielu czynników, w tym zanieczyszczenia roślin piaskami, pyłami czy obecności soli mineralnych. Zawartość graniczna popiołu całkowitego dla danego surowca roślinnego podana jest w monografiach szczegółowych. W Farmakopei Polskiej możemy spotkać się z określeniem popiołu siarczanowego, który jest pozostałością po wyprażeniu surowca roślinnego w obecności kwasu siarkowego. Przykładowa graniczna zawartość popiołu całkowitego dla ziela dziurawca (*HypericiHerba*) 7%, dla liści melisy (*Melissaefolium*) 12%, dla kwiatu rumianku (*MatricariaeFlos*) 13%, dla liści mięty pieprzowej (*MethaePiperitaefolium*) 15% [Farmakopea Polska VIII. 2008]. Oznaczenie zawartości popiołu wykonujemy w tyglu kwarcowym lub platynowym. Początkowo surowiec roślinny należy wysuszyć w 100-105°C przez 1 godzinę, a następnie wyprażyć do stałej masy w piecu muflowym w temperaturze 600 ± 25°C [Klimek i in. 2011].

## **2.5. Typowe substancje czynne występujące w ziołach**

Aby prawidłowo stosować zioła i inne przetwory istotne znaczenie odgrywa wiedza na temat ich składników biologicznie czynnych, wywierających wpływ na ludzki organizm. Są one produktami swoistego metabolizmu roślin, charakterystycznymi dla danego gatunku i mogą stanowić zarówno produkty metabolizmu podstawowego (np. białka, cukry, skrobia), jak również tzw. metabolizmu specjalnego, który w wyniku specjalnych procesów biosyntezy zachodzących w roślinie może powodować wytwarzanie substancji o szczególnych właściwościach leczniczych. Produkty uzyskane na skutek podstawowego metabolizmu mają przede wszystkim znaczenie odżywcze dla rośliny oraz człowieka (białka, węglowodany, tłuszcze), podczas gdy uzyskiwane w przemianach

specjalnego metabolizmu substancje posiadają znaczenie lecznicze [Borowska 2003; Dutkiewicz, Górny 2002].

Alkaloidy są związkami o charakterze zasadowym, zawierającymi w swoich cząsteczkach azot. Niektóre z nich mogą posiadać skomplikowaną budowę chemiczną, nierzadko występując w połączeniu z kwasami organicznymi. Większość cechuje słaba rozpuszczalność w wodzie. Alkaloidy najczęściej występują w nasionach oraz zbiorniczkach wydzielniczych roślin. Ich obecność powoduje gorzki smak rośliny, chroniąc ją w ten sposób przed spożyciem przez zwierzęta [Aoshima i in. 2007].

Alkaloidy posiadają działanie przeciwbólowe, przeciwbakteryjne, pobudzające ośrodkowy układ nerwowy (OUN), jak również psychotropowe, nasenne, odurzające, miejscowo znieczulające czy zwężające naczynia krwionośne. W małych dawkach mają właściwości lecznicze, w dużych są toksyczne. Najlepszym przykładem alkaloidów wykorzystywanym w lecznictwie jest morfina pozyskana z opium, czyli z mlecza maku lekarskiego. Morfina stosowana jest jako silny środek przeciwbólowy, jednak ma silne działanie narkotyczne, dlatego częste jej stosowanie może się przyczyniać uzależnienia. Innym przykładem tych substancji wykorzystywanych w ziołolecznictwie mogą być alkaloidy wyizolowane z czosnku neapolitańskiego, charakteryzujące się stosunkowo wysoką aktywnością przeciwgrzybiczną [Sparg i in. 2004].

### **2.5.1. Glikozydy**

Nazwa glikozydy obejmuje najczęściej bezazotowe substancje roślinne, najczęściej stanowiące połączenie cukrów prostych (glukozy) z fragmentem nie cukrowym (aglikonem) [Asbell 1995].

### **2.5.2. Glikozydy nasercowe**

Substancje te zostały wyróżnione z grupy glikozydów ze względu na swoje znaczenie w produkcji leków nasercowych. Zawierają w części cukrowej bardzo specyficzne cukry, których obecność ma właśnie działanie nasercowe - wzmaga siłę skurczów serca przy jednoczesnym zmniejszeniu ich częstotliwości. Efekt ten zależy jednak od charakteru glikozydu, a także jego dawki. Przedawkowanie może skutkować, nierzadko bardzo poważnym, toksycznym dla organizmu efektem [Asbell 1995].

### **2.5.3. Antraglikozydy**

Antraglikozydy są grupą składników roślin leczniczych obejmującą substancje pochodne antrachinonu, znajdującą się w stosunkowo niewielkiej liczbie gatunkach roślin. Mają ogromne znaczenie lecznicze ze względu na swoje działanie przeczyszczające, poprawiające pracę jelita grubego, nie są jednak pozbawione działań niepożądanych. W zależności od charakteru antraglikozydu, stopnia jego utlenienia, a także surowca roślinnego użytego do produkcji leku, działanie to może być gwałtownie, słabo przeczyszczające lub jedynie rozwalniające. W domowych warunkach powinny być podawane tylko i wyłącznie doraźnie, przez krótki okres czasu, a o dalszym ich przyjmowaniu powinien zdecydować lekarz. Ponadto nie powinny być przyjmowane przez kobiety ciężarne i karmiące [Smolarz, Wegiera 2004].

### **2.5.4. Flawonoidy**

Flawonoidy to grupa substancji powszechnych wśród roślin leczniczych. Możemy je znaleźć w większości ziół, w większej lub mniejszej ilości, mających duży wpływ na ich działanie. Mogą mieć zarówno charakter glikozydów – w tym przypadku na ogół są dobrze rozpuszczalne w wodzie i łatwej przenikają do naparów, jak również tworzyć substancje organiczne bez części cukrowej – wtedy ulegają rozpuszczeniu w rozpuszczalnikach organicznych, takich jak np. alkohol [Moon i in. 2006].

Flawonoidy i antocyjany są składnikami barwników soku komórkowego roślin barwy żółtej, mogą być jednak bezbarwne lub pomarańczowe. Nieco odrębną podgrupą flawonoidów, pod względem budowy chemicznej, są antocyjany –niebieskie, fioletowe lub czerwone barwniki niektórych roślin (np. czarnych jagód czy czarnego bzu). Flawonoidy często wpływają na barwę kwiatów i owoców, jednak ich obecność w liściach i łodygach jest maskowany przez zielono zabarwiony chlorofil. Najbardziej cenionym flawonoidem jest rutyna, stosowana przy produkcji leków uszczelniający naczynia krwionośne, a także jako czynnik witaminowy, określany witaminą P. Oprócz rutyny znaleźć można inne flawonoidy charakteryzujące się tego typu działaniem np. hesperydyna czy diosmina. Są jednak słabo wchłaniane przez przewód pokarmowy, dlatego uzupełnia się je odpowiednimi lekami roślinnymi, stanowiącymi naturalny środek chroniący naczynia [Havsteen 2002].

Ważną własnością bioflawonoidów jest ich działanie przeciwutleniające (antyoksydacyjne) oraz zdolność neutralizacji wolnych rodników, przyczyniających się do różnych schorzeń układu krążenia, metabolicznych oraz procesów nowotworowych. Mają także wpływ na zapobieganie agregacji płytek krwi, jak również hamowanie aktywności enzymów biorących udział w mechanizmie powstawania nadciśnienia tętniczego. Poznano także inne właściwości farmakologiczne niektórych flawonoidów m.in. działanie przeciwzapalne oraz moczopędne, uzależnione od ich struktury chemicznej i stopnia wchłaniania w przewodzie pokarmowym. Podstawową zaletą tych substancji jest ich praktyczna nietoksyczność [Dang i in. 2001, Young 2005].

### **2.5.5. Saponiny (saponozydy)**

Saponiny są grupą substancji o charakterze glikozydów triterpenowych lub steroidowych. Jedną z ich cech charakterystycznych jest tworzenie pieniających roztworów wodnych, występujących na skutek możliwości ograniczania napięcia powierzchniowego. Istotną własnością wielu, choć nie wszystkich saponin jest zjawisko wywoływania hemolizy czerwonych krwinek (tj. erytrocytów), możliwość wiązania się ze sterolami, w tym z cholesterolem, występującym, niekiedy w nadmiarze, w płynach ustrojowych ludzkiego organizmu. Niektóre saponiny w tym escyna uzyskiwana z nasion kasztanowca, wpływają na przepuszczalność naczyń krwionośnych, uszczelniając je. Dotyczy to w szczególności naczyń żylnych, dlatego stosowane są, w formie izolowanej lub w postaci przetworów, przy żylakach odbytu, goleni itp. Saponiny słabo wchłaniają się z układu pokarmowego, ponadto drażnią błonę śluzową żołądka, wywołując efekt wykrztuśny, polegający na ułatwionym oddzieleniu się wydzieliny i usuwaniu śluzu z oskrzeli, dlatego też zioła w nie bogate często są składnikami leków wykrztuśnych. Z innych właściwości biologicznych saponin możemy wyróżnić m.in. działanie przeciwgrzybiczne i przeciwzapalne [Price 1987].

### **2.5.6. Fenole i glikozydy fenolowe**

Są substancjami o budowie fenolowej, występującymi w roślinach leczniczych w różnym charakterze - czasem jako proste fenole wchodzące w skład olejków eterycznych (tymol w olejku tymiankowym), częściej jako fenolokwasy i glikozydy fenolowe, które mają szczególne znaczenie w ziołolecznictwie m.in. otrzymywany w stanie czystym glikozyd salicyna, będący pochodną kwasu salicylowego - prototyp

uzyskanej w późniejszych latach syntetycznie aspiryny, zawarty w korze wierzbowej. Charakteryzuje się działaniem przeciwbólowym i przeciwzapalnym wykorzystywanym w chorobach reumatycznych. Pochodne kwasu salicylowego znaleźć można w ziele fiołka trójbarwnego, czy kwiatach wiązówki. Glikozydem fenolowym jest także arbutyna, wykorzystywana w dezynfekcji dróg moczowych. Zawarta jest m.in. w liściach borówki brusznicy oraz mącznicy lekarskiej [Aherne, O'Brien 2002].

Liczne fenolokwasy (np. kwas rozmarynowy, kawowy) a także ich glikozydy i pochodne (kwas chlorogenowy) występują powszechnie w roślinach leczniczych. Ostatnio odkryto także ich działanie przeciwwirusowe, bakteriostatyczne, czy przeciwmiażdżycowe. Proste fenole mają zazwyczaj działanie odkażające, bakteriobójcze i są stosowane są przede wszystkim zewnętrznie, najczęściej w postaci olejków eterycznych (np. goździkowy, tymiankowy). Inne przykłady fenoli to resweratrol, gwajakol, rezorcyna, eugenol, pirogalol, pirokatechina, hydrochinon [Yao i in. 2004].

### **2.5.7. Kumaryny**

Są substancjami występującymi w roślinach leczniczych jako wolne aglikony lub w postaci związanej glikozydowo. Podstawę stanowi silnie wonna kumaryna. Właściwości biologiczne substancji kumarynowych uzależnione są od budowy chemicznej – wyróżnić można takie o działaniu chroniącym przed nadmiernym promieniowaniem słonecznym (eskulina w korze kasztanowca), jak też uczulającym na światło (np. furanokumaryny występujące w niektórych gatunkach roślin, np. w liściach selera, czy olejku eterycznym ruty ogrodowej. Z kolei piranokumaryny, zawarte m.in. owocach aminka egipskiego cechują własności rozkurczowe, rozszerzające naczynia nerkowe i wieńcowe serca. Na ogół substancje te nie są całkowicie pozbawione pewnej toksyczności, dlatego należy zachować ostrożność w trakcie ich stosowania. Pochodne kumaryny mają także właściwości przeciwzkrzepowe [Malinowska, Bielawska 2013].

### **2.5.8. Gorycze**

Gorycze są bezazotowymi związkami, najczęściej o charakterze glikozydowym, których gorzki smak powoduje wzmożone wydzielanie śliny, kwasu solnego, soku trzustkowego i jelitowego. Charakteryzują się działaniem ściągającym, rozkurczowym oraz przeciwzapalnym. Wspomagają pracę układu trawiennego, pęcherzyka żółciowego oraz wątroby, a także stymulują wydzielanie soku żołądkowego. Należy je stosować

w niewielkich dawkach, ponieważ w dużych ilościach wywołuje odwrotny od zamierzonego efekt. W celu uzyskania najlepszego efektu zioła i ich produkty zawierające gorycze powinny być przyjmowane około godziny przed jedzeniem [Sadowska 2003].

### **2.5.9. Kwasy organiczne**

Kwasy organiczne są związkami węgla zawierającymi grupę karboksylową. Powstają na skutek przemian w organizmach zwierzęcych i roślinnych. Największe ich ilości zgromadzone są w korzeniach, łodygach, liściach, owocach i nasionach roślin, a ich ilość w owocach zmniejsza się wraz z ich dojrzewaniem. W przyrodzie najczęściej spotykane kwasy organiczne to kwas cytrynowy, jabłkowy, octowy, mrówkowy, salicylowy, walerianowy i izowalerianowy. Uczestniczą one w przemianie materii, wzmagając wydzielanie śliny, soku żołądkowego i trzustkowego, wspomagając trawienie i zwiększając apetyt. Ponadto kwasy organiczne niszczą bakterie występujące w przewodzie pokarmowym i przeciwdziałają nadmiernej fermentacji w jelitach [Jakóbiec, Bocheński 2005; Nagy 1997].

### **2.5.10. Azuleny**

Azuleny, czyli węglowodory, mają działanie przeciwzapalne, przeciwuczuleniowe, hamujące rozwój niektórych rodzajów bakterii (w tym gronkowców), pobudzają właściwości żerne białych ciałek krwi, zmniejszają obrzęki i przyspieszają gojenie się ran. Najbardziej znanym azulenem jest cham azulen, który występuje w rumianku, piołunie czy krwawniku [Burt 2004].

### **2.5.11. Olejki eteryczne**

Olejki eteryczne są lotnymi składnikami wielu roślin leczniczych. Na ogół charakteryzują się silnym zapachem, są lżejsze od wody i nie rozpuszczają się w niej. Są lotne, zwłaszcza z parą wodną, co trzeba mieć na uwadze przy przechowywaniu ziół zawierających olejki oraz w trakcie przyrządzania naparów. Pod względem budowy chemicznej są mieszaninami substancji terpenowych lub fenolowych. Nadają roślinom specyficzny aromat, dlatego nierzadko wykorzystywane są jako przyprawy, np. tymianek, majeranek, kolendra, kminek, cząber. W większości przypadków olejki eteryczne ujawniają swoją obecność dopiero po roztarciu lub rozdrobnieniu tkanek rośliny np. liści lub rozgnieceniu owoców np. kolendry, czy kminku – jest to uzależnione od ich lokalizacji

w organach roślinnych. Znane są również olejki lotne tzw. gorczyczne, które zawierają siarkę o specyficznym, bardzo silnym zapachu, w tym np. w korzeniach chrzanu czy nasionach gorzycy czarnej. Do surowców olejkowych należy wiele wykorzystywanych w lecznictwie ziół np. bardzo powszechne w użyciu są liście szalwii lekarskiej, melisy, mięty pieprzowej, kwiatostany rumianku i wiele innych. Wykorzystywane są także same olejki, otrzymywane przemysłowo z surowców roślinnych poprzez destylację z parą wodną – np. olejek tymiankowy, lawendowy, miętowy, szalwiowy, kolendrowy, kminkowy, anyżowy, jodłowy, sosnowy, kopru włoskiego, terpentynowy, jak również roślin egzotycznych: olejki goździkowy, eukaliptusowy [Bakkali i in. 2008; Marzec i in. 2010].

Olejki eteryczne zazwyczaj silnie podrażniają skórę oraz błony śluzowe. Sposób działania uzależniony od właściwości składników olejku. Część z nich ma działanie wykrztuśne (olejek sosnowy, z kopru włoskiego, anyżowy), przeciwzapalne (np. olejek rumiankowy, który zawiera składniki przeciwzapalne, w tym m.in. chamazule), przeciwbakteryjne (olejek szalwiowy, olejek tymiankowy ze składnikiem fenolowym – tymolem), uspokajające (olejek lawendowy, walerianowy), silnie drażniące skórę (olejek gorzycy czarnej), czy żółciopędne (olejek mięty pieprzowej). Poza tym znane są także inne ich właściwości - przede wszystkim profilaktyczno-leczniczy wpływ olejków znajdujących się w ziołach przyprawowych na procesy trawienne oraz metaboliczne (przemiany materii), takich jak olejek majerankowy, czy kminkowy. Z tego powodu zioła są często stosowane jako przyprawy poprawiające smak potraw, jak również leków. Ponadto olejki eteryczne wykorzystywane są w inhalacji (inaczej terapii wziewnej), wykazującej znaczną skuteczność np. przy chorobach jamy nosowo-gardłowej. W tym celu zazwyczaj stosowane są mieszaniny składające się z kilku olejków lub gotowe preparaty fabryczne. Niektóre znalazły zastosowanie w kosmetyce (w tym olejek lawendowy, czy miętowy). W ostatnich czasach znaleziono także nowe zastosowanie olejków eterycznych i ich kompozycji przy tzw. aromaterapii, formy terapii mającej różne zastosowania m.in. w formie inhalacji, masażu (relaksuje, poprawia samopoczucie oraz krążenie krwi), kąpieeli (składniki olejku wnikają do organizmu zarówno drogami oddechowymi, jak i poprzez skórę), okładów i kompresów (przy problemach skórnych, bólach głowy, mięśni, nerwobólów, bólach miesiączkowych, skręceniach, obrzękach) [Iscan i in. 2004; Stevensen 1998].

### **2.5.12. Węglowodany i śluzy**

Śluzy należą do wielocukrów (polisacharydów), tworzących z wodą roztwory koloidalne, ciągliwe, zazwyczaj bez zapachu i smaku. W lecznictwie wykorzystywana jest ich swoista właściwość pęcznienia w kontakcie z wodą - część surowców roślinnych stanowi składnik leków łagodnie przeczyszczających (np. nasiona lnu, babki płesznika, agar-agar). Niektóre surowce śluzowe stosowane są w środkach przeciwzapalnych, zapobiegawczych, osłaniających oraz zmiękczających, jednak jest to jedynie działanie miejscowe, ponieważ śluzy nie wchłaniają się z przewodu pokarmowego [Heck i in. 2000].

Cukry proste (takie jak glukoza, czy fruktoza) należą do podstawowych składników wielu roślin leczniczych, zawartych głównie w owocach. Związkom polisacharydowym przypisuje się działanie immunoregulujące. Kwas alginowy, będący wielocukrem o kwaśnym charakterze, występuje w glonie morskim – morskazynie i jest źródłem organicznie związanego jodu. Często jest składnikiem tzw. preparatów ziołowych odchudzających. Inny wielocukier- inulina (polimer fruktozy) - jest surowcem zapasowym w korzeniach roślin z rodziny złożonych, np. topinamburu (słonecznika bulwiastego) i może być stosowany przez osoby cierpiące na cukrzycę. Natomiast skrobia (ryżowa, pszeniczna) jest częstym składnikiem przysypiek leczniczych i pudrów [Ernst 2000].

### **2.5.13. Garbniki**

Garbniki są grupą substancji wielofenolowych posiadających złożony skład chemiczny. Główną cechą biologiczną tychże związków jest ich zdolność do ścinania (koagulowania) białka (stąd nazwa - efekt garbujący), jak również erytrocytów. To właśnie tej zdolności zawdzięczają swój ściągający wpływ na błony śluzowe, co w szczególnych sytuacjach jest równoznaczne z efektem przeciwzapalnym. Zioła zawierające garbniki mogą być stosowane zarówno wewnętrznie (głównie w stanach zapalnych przewodu pokarmowego i biegunkach), jak i zewnętrznie (jako środki przeciwzapalne przy stanach zapalnych skóry i błon śluzowych, np. gardła, krtani. Nie są wchłaniane z przewodu pokarmowego, jednak dzięki tworzeniu połączenia z alkaloidami i solami metali ciężkich mogą być stosowane przy zatruciach tymi substancjami [Lamer-Zarawska 2007].



### **2.5.14. Nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT)**

Nienasycone kwasy tłuszczowe odgrywają ważną rolę w różnych procesach metabolicznych i są niezbędne dla organizmu człowieka. Oleje oraz odnośne preparaty zawierające te kwasy są wykorzystywane w walce z licznymi chorobami, jak np. miażdżyca, cukrzyca, w chorobach infekcyjnych, alergicznych, czy przewlekłych chorobach skóry. Wśród wszystkich NNKT występujących w olejach szczególne znaczenie ma kwas gamma-linolenowy, który obficie występuje w nasionach ogórecznika (*Boragoofficinalis*), nasionach i olejku wiesiołka (*Oenothera*), jak również w olejach rybich (tranie) [Achremowicz, Szary-Sworst 2005; Niewiadomski 1993].

### **2.5.15. Witaminy**

W roślinach leczniczych i użytkowych występują praktycznie wszystkie witaminy, zarówno te łatwo rozpuszczalne w tłuszczach (A, D, E, K), jak i w wodzie (B, C) - na ogół jednak, z wyjątkiem witaminy C, w małych ilościach. Witamina C jest szczególnie ważna, a jej roślinnymi źródłami są m.in. owoce cytrusowe, rokitnika, dzikiej róży, porzeczek, papryki, liście pietruszki, czy ziemniaki – jej zaletami są m.in. pomoc w zapobieganiu przeziębieniom i grypie poprzez wzmacnianie układu odpornościowego, ochrona komórek przed stresem oksydacyjnym, działanie przeciwzapalne, wpływ na utrzymanie dobrego nastroju, a także zdrowej skóry i kości. Inna witamina - P, zwana także czynnikiem witaminowym, zawiera uszczelniające naczynia włosowate flawonoidy [Pietruszka, Brzozowska 2002].

### **2.5.16. Inne składniki biologicznie czynne**

Część składników organicznych roślin odgrywa ważną rolę jako składnik biologicznie czynny. Zaliczyć można do nich m.in.:

- związki terpenowe, a w szczególności laktony seskwiterpenowe – działające przeciwzapalnie (znaleźć je można w naparze rumianku, arniki górskiej, krwawnika), a także przeciw-migrenowo (liście maruny); w tej grupie wciąż odkrywane są nowe właściwości biologiczne, w tym aktywność diterpenów i tri terpenów
- peptydy,
- białka,
- fosfolipidy (np. lecytyna soi),

- olejki czosnkowe,
- kwasy organiczne (cytrynowy, jabłkowy, winowy),
- enzymy itp. [Śledź, Witrowa-Rajchert 2012].

### **2.5.17. Składniki mineralne**

Ziołowe surowce lecznicze zawierają ważny dla zdrowia ludzkiego zespół składników mineralnych, w których skład wchodzi m.in. makroelementy (żelazo, cynk, miedź, mangan, selen, kobalt). Większość tych biopierwiastków możemy znaleźć w naszym pożywieniu, a ich niedobór objawia się w postaci różnych dolegliwości (brak apetytu – zbyt mała ilość cynku) i chorób (anemia, inaczej niedokrwistość - spowodowana niedoborem żelaza) [Pietruszka, Brzozowska 2002]. Wśród wielu makro i mikroelementów znajdujących się w ziołach powinniśmy zwrócić szczególną uwagę na:

- potas (K) – jony potasu oraz ich stosunek ilościowy do jonów sodu (Na) mają wpływ na procesy metaboliczne i enzymatyczne, w tym np. na przewodnictwo nerwowe. Ich niedobory spowodowane m.in. stosowaniem leków moczopędnych bywają przyczyną osłabienia oraz skurczów mięśni, jak również niemiarowości rytmu serca. Uzupełnianie potasu wskazane jest w trakcie stosowania leków nasercowych,
- magnez (Mg) – jest czynnikiem istotnie wpływającym na równowagę wapniowo-magnezową, powstawanie białek, reakcje alergiczne, czy schorzenia ośrodkowego układu nerwowego np. stwardnienia rozsianego,
- krzem (Si) – jest elementem ultrastruktury tkanki łącznej, uelastycznia ściany naczyń, ma działanie przeciwzapalne i zablizniające. Zwiększone zapotrzebowanie na ten pierwiastek występuje m.in. przy złamaniach kości, czy miażdżycy,
- żelazo (Fe) – wchodzi w skład czerwonego barwnika krwi (hemu). Jego niedobór może być przyczyną anemii (niedokrwistości),
- selen (Se) – jest uważany za ważny mikroelement wspomagający działanie magnezu,
- jod (J) – bierze udział w regulacji czynności tarczycy (gruczołu tarczowego). Niedobór jodu sprzyja niedoczynności tarczycy [Benedycki i in. 2001; Szponar i in. 2004].

Pozostałe mikro- i makroelementy (w tym miedź, mangan, fosfor), choć odgrywają pewną rolę w naszym organizmie, zostały pominięte ze względu na ich znikomą zawartość w ziołach [Pietruszka, Brzozowska 2002].

## 2.6. Czyszczenie materiału ziarnistego

Procesem czyszczenia nazywamy oddzielanie zbędnych oraz szkodliwych zanieczyszczeń z materiału użytkowego.

Sortowanie polega na podziale materiału na grupy ze względu na przydatność użytkową. W zależności od nadanego parametru użytkowego możliwe jest rozdzielanie plonów wszystkich gatunków roślin rolnych [Kośmicki i in. 1993].

Zarówno proces czyszczenia, jak i sortowania określamy mianem separacji, czyli rozdzielania składników mieszaniny i może być stosowana do materiałów o różnym stanie skupienia - wyróżnia się więc separację:

- fazy stałej od cieczy,
- fazy stałej od gazu,
- fazę stałą od fazy stałej o odmiennych cechach fizycznych [Wójcicki 1969].

Fazę stałą od cieczy rozdziela się poprzez sedimentację, flotację, wirówki, filtry, hydrocyklony, przesiewacze, prasy, mikro- i ultrafiltrację, natomiast do separacji fazy stałej i gazowej wykorzystywane są takie urządzenia pneumatyczne jak: wialnie, młynki, cyklony, osadniki, rzutniki oraz kolumny pneumatyczne. Do oddzielania pyłów od powietrza stosowane są cyklony i filtry.

Rozdzielanie fazy stałej od fazy stałej, które obejmuje mieszaniny o odmiennej granulacji, takie jak ziarno zbóż, nasiona różnych gatunków roślin uprawnych oraz inne pochodne produkty posiadające frakcje o znacznym stopniu rozdrobnienia, następuje poprzez wykorzystanie urządzeń i maszyn wykorzystujących określoną cechę lub właściwość mieszaniny, takie jak właściwości geometryczne, aerodynamiczne, masowe, powierzchniowe, elektryczne, optyczne i hydrodynamiczne, tarcie, sprężystość oraz inne cechy wytrzymałościowe. Znajomość fizycznych właściwości materiału ziarnistego jest wykorzystywana do procesów rozdzielczych, które obejmują czyszczenie oraz sortowanie surowca, jak również w innych procesach wstępnych i podstawowych przemysłu rolno-spożywczego [Kaleta, Wojdalski 2008; Krygier i in. 2000].

Mieszaniny podlegające procesowi czyszczenia zawierają między innymi takie składniki, jak:

- nasiona gatunku głównego,

- nasiona innych roślin uprawnych, które obniżają lub dyskwalifikują jakość surowca podstawowego,
- nasiona chwastów,
- zanieczyszczenia mineralne (piasek, drobne kamienie),
- zanieczyszczenia organiczne (części liści, łodyg lub korzeni) [Wójcicki 1958].

Z takiej mieszanki wydzielamy frakcję nasion surowca podstawowych o czystości wymaganej przez normy. Proces ten wykorzystuje cechy rozdzielcze, które obejmują cechy fizyczne, mechaniczne oraz fizyko-mechaniczne – zaliczyć do nich możemy:

- a. cechy aerodynamiczne (prędkość krytyczna, współczynnik lotności i oporu),
- b. cechy geometryczne (kształt, wymiary, powierzchnia),
- c. ciężar właściwy,
- d. współczynnik tarcia (wewnętrzny i zewnętrzny),
- e. teksturę (chropowata, gładka, pośrednia),
- f. właściwości mechaniczne (sprężystość, twardość),
- g. właściwości elektryczne (oddziaływanie pól elektromagnetycznych na fizyczne własności nasion),
- h. właściwości optyczne (przebarwienie nasion wychwytywane przez fotokomórki) [Dmitrewski i in. 1981;Kuczewski 1978].

## **2.7. Urządzenia rozdzielające**

Urządzenia rozdzielające wykorzystują jedną lub kilka cech surowca, jako podstawę rozdziału. Wyróżniamy urządzenia proste, takie jak:

- a. pneumatyczne,
- b. sitowe,
- c. tryjery,
- d. grawitacyjne,
- e. tarciove,
- f. oparte na teksturze powierzchni nasion,
- g. oparte na zespole cech mechanicznych,
- h. elektrostatyczne,
- i. fotoelektryczne,

oraz złożone:

- a. pneumatyczno-sitowe,
- b. pneumatyczno-sitowe z tryjerami,
- c. tarciowo-pneumatyczne.

Kolejnym kryterium podziału jest geometryczna postać elementów roboczych. W tym przypadku urządzenia rozdzielacze dzielimy na:

- a. bębny i cylindry (tryjery, bębny tarciove, elektrostatyczne magnetyczne, tryjery, sita cylindryczne),
- b. stożki ścięte (stożkowe czyszczalnie pneumatyczne, wirówki),
- c. płaszczyzny całkowite i perforowane,
- d. komory o różnym kształcie powierzchni poprzecznego przekroju,
- e. tarcze (tarcza rozdzielająca, tryjer tarczowy),
- f. spirale (zmijka) [Łaszczyk i in. 1979].

### **2.7.1. Czyszczalnie pneumatyczne**

Czyszczalnie pneumatyczne, które w procesie separacji wykorzystują strumień powietrza oraz własności aerodynamiczne masy, dzielimy według systemu obiegu powietrza na czyszczalnie z obiegiem otwartym oraz zamkniętym [Maj, Kuranc 2014].

W czyszczalni z obiegiem otwartym mieszanina wprowadzana jest przez dozownik do kanału roboczego, w którym przepływa strumień powietrza. Porywa ono wszystkie zanieczyszczenia lżejsze od surowca podstawowego i transportuje je do siatkowego osadnika, gdzie zostają oddzielone od powietrza. Zanieczyszczenia opadają na dolną część osadnika, skąd są wydalone przez zawór, natomiast oczyszczony strumień powietrza przechodzi przez wentylator jest do atmosfery. W przypadku czyszczalni z obiegiem zamkniętym powietrze z zanieczyszczeniami skierowane do osadnika jest oczyszczane na filtrze siatkowym i kierowane w stronę komory roboczej do następnego wykorzystania, tworząc w ten sposób obieg zamknięty.

Czyszczalnie pneumatyczne mogą mieć kanały robocze ustawione pionowo lub ukośnie [Grochowicz 1994].

### **2.7.2. Przesiewacze płaskie**

Przesiewacze płaskie w procesie sortowania wykorzystują geometryczne cechy nasion i zanieczyszczeń, określane zwykle trzema wymiarami, z których szerokość (wymiar pośredni) oraz grubość (wymiar najmniejszy) wykorzystywane są do przesiewania na sitach mających otwory o różnych kształtach. Ponadto warunkami skutecznego przesiewania są określony ruch mieszaniny na sitach, właściwa regulacja otworów sit oraz grubości lub szerokości nasion [Li i in. 2003; Sztaba 1993].

W przesiewaczach płaskich materiał ziarnisty doprowadzany jest równomierną warstwą na ruchome, pochylone pod odpowiednim kątem, sito i przemieszcza się wzdłuż niego. W trakcie procesu separacji ziarno, które ma wymiary mniejsze od otworów sita, przechodzi przez nie i opada, podczas gdy nasiona o większych wymiarach pozostają na sicie i zsuwają się zgodnie ze spadkiem. Przesiewanie na jednym sicie pozwala więc na rozdzielanie surowca na dwie frakcje - dolną (nasiona mniejsze) oraz górną (nasiona większe). Proces rozdzielania według grubości przeprowadza się na sitach o podłużnych otworach, natomiast według szerokości - na sitach z otworami okrągłymi lub kwadratowymi. Jednak ze względu na to, że materiał wejściowy zawiera zazwyczaj więcej niż jedną liczbę frakcji oraz zanieczyszczenia, w procesie rozdzielania zazwyczaj wykorzystuje się co najmniej dwa sita [Tylek 2003].

### **2.7.3. Przesiewacze obrotowe**

Przesiewacze obrotowe zbudowane są z cylindrycznych bębnowych sit umieszczonych w różnych płaszczyznach, które wykorzystują ruch obrotowy o różnych prędkościach. Na podstawie kryterium przestrzennego usytuowania sit, wyodrębnić możemy przesiewacze obrotowe z poziomą oraz pionową osią obrotu [Modrzewski i in. 2017].

Najczęściej stosowanym przesiewaczem z osią obrotu poziomą jest sito cylindryczne, które stanowi perforowaną, tkaną lub plecioną pobocznice walca, obracającego się wraz z wałem napędowym. Przez wlot mieszanina wprowadzana jest do cylindra, gdzie przesuwa się w głąb niego poosiowo w wyniku wzajemnego nacisku ziarna, ruchu obrotowego oraz pochylenia pod niewielkim kątem. Równocześnie, na skutek siły tarcia, surowiec wynoszony jest przez obracający się cylinder na wysokość, na której kąt nachylenia jego pobocznicy będzie większy od kąta tarcia, wtedy ziarno

spada na spód aby rozpocząć swój ruch od początku. Cykle wznoszenia i opadania mieszaniny trwają dopóki ziarno nie opuści cylindra przez otwory w sicie lub wylot. W trakcie przemieszczania masy przez cylinder jest ona intensywnie mieszana, by zwiększyć prawdopodobieństwo przesiania różnych frakcji ziarna przez otwory [Byszewski, Haman 1977].

#### **2.7.4. Tryjery**

Podstawową cechą wykorzystywaną w tryjerach do procesu rozdzielczego jest długość lub kształt nasion, pozwalając tym samym na uzyskanie dwóch frakcji – np. nasion długich, pozostających na dnie cylindra tryjera oraz krótkich, kierowanych do rynienki usytuowanej we wnętrzu cylindra. Elementem roboczym tryjera jest pobocznica walca posiadająca na wewnętrznej stronie wgłębienia (komórki) o różnej wielkości i kształtach. Wymiary wgłębień zależą od gatunku rozdzielanych nasion – dobiera się je w taki sposób, by mieściły się w nich jedynie nasiona pośrednie i krótkie, które następnie kierowane są do rynienki [Konopka 2006]. Ze względu na budowę elementu roboczego tryjery możemy dzielić na:

- a. cylindryczne - proces rozdzielczy odbywa się wewnątrz obracającego się cylindra,
- b. bębnowe - proces rozdzielczy odbywa się na zewnętrznej stronie obracającego się bębna,
- c. łopatkowe lub skrzydełkowe - proces rozdzielczy realizowany jest przez odpowiednio ukształtowane skrzydełka,
- d. tarczowe - proces rozdzielczy realizowany jest poprzez szereg kołowych tarcz z wgłębieniami,
- e. taśmowe - proces rozdzielczy odbywa się na taśmie z wgłębieniami,
- f. cylindryczne ze skrzydełkami,
- g. szpilkowe - proces rozdzielczy odbywa się w cylindrze zaopatrzonym w szpilki, dzięki którym odpowiednie nasiona są nabijane i wynoszone [Grochowicz 1971].

#### **2.7.5. Separatory tarciove**

Cechą rozdzielczą wykorzystywaną w separatorach tarciowych jest rodzaj tarcia i związany z nim współczynnik tarcia zewnętrznego oraz kształt i tekstura nasion, wpływające na charakter ruchu nasion. Maszyny wykorzystujące te cechy to między innymi żmijki, płótniarki, rozdzielacze obrotowe oraz stoły kaskadowe.

W zmiłkach mieszanina ziarnista wprowadzana jest do wnętrza urządzenia za pomocą kosza zasypowego, a następnie poprzez wylot spada na stożkowy rozdzielacz, który służy do równomiernego rozdzielenia nasion. Z rozdzielacza surowiec opada na pochylnie wewnętrzne stanowiące 3-5 ślimacznic nawiniętych na maszt (stalowa rura pochylona pod kątem 45°). Pod pochylnięmi wewnętrznymi usytuowana jest pochylnia zewnętrzna z kołnierzem. Mieszanina spadająca na pochylnie wewnętrzne przesuwa się po nich w dół. Wraz ze zwiększaniem się prędkości surowca po linii spiralnej oddala się on od zmiłki na skutek działania siły odśrodkowej. Nasiona o kształtach kulistych tudzież zbliżonych do kulistego będą oddalały się szybciej niż nasiona płaskie lub podłużne. Na skutek zwiększenia prędkości przesuwania się nasion kulistych zwiększa się oddziałująca na nie siła odśrodkowa, co prowadzi do przesunięcia ich ku krawędziom pochylni wewnętrznych, a ostatecznie do wypadnięcia na pochylnię zewnętrzną, zaopatrzoną w kołnierz zapobiegający wypadnięciu surowca z toru. Pochylnię wewnętrzną nasiona kierowane są do wylotu wyposażonego w regulowaną przegrodę, która dzieli surowiec na dwie frakcje - częścią położoną bliżej osi zmiłki odprowadzane są nasiona toczące się bliżej środka, w tym głównie nasiona podłużne. Natomiast drugą częścią wylotu (położonego dalej od osi zmiłki) odprowadzane są duże, okrągłe nasiona. Zmiłka rozdziela więc mieszaninę na nasiona kuliste i podłużne, a przyczyną takiego rozdziału jest różnica prędkości ruchu nasion i współczynników tarcia. Na podobnej zasadzie działa płótniarka [Łaszczyk i in. 1979].

### **2.7.6. Czyszczalnie magnetyczne**

Czyszczalnie magnetyczne wykorzystują jedynie ferromagnetyczne własności materiału, a więc są zdolne wydzielić zanieczyszczenia metaliczne ferromagnetyczne od materiału głównego, niewykazującego tych właściwości [Grochowicz 1966]. Rozdzielenie następuje w polu magnetycznym, a sam proces obejmuje dwa rodzaje operacji:

1. Wydzielanie z mieszaniny ziarnistej cząstek, które po zmieszaniu z proszkiem ferromagnetycznym zatrzymują go na swojej powierzchni w ilości, która wystarczy do wydzielenia ich w polu magnetycznym.
2. Wydzielanie zanieczyszczeń ferromagnetycznych w procesach obróbki pozbiorowej lub przetwórstwa zbóż [Mieszkalski, Anders 1999].

W pierwszym przypadku własności ferromagnetyczne nabywane są poprzez oklejanie surowca specjalnym proszkiem magnetycznym. Cecha ta jest cechą wtórną



w stosunku do tekstury cząstki i jej higroskopijności. Z kolei w drugim przypadku własności ferromagnetyczne są fizyczną właściwością materiału.

Proces czyszczenia magnetycznego zachodzi w trzech etapach:

1. mieszanie nasion z proszkiem ferromagnetycznym,
2. przejście nasion z mieszalnika do strefy działania pola magnetycznego,
3. oddzielenie zanieczyszczeń od surowca w polu magnetycznym [Tylek 2003].

### **2.7.7. Sortownik stołowy**

W sortowniku stołowym proces rozdzielający mieszaninę ziarnistą od zanieczyszczeń następuje poprzez wykorzystanie różnic w ciężarze właściwym i sprężystości jej składników. W ten sposób można wydzielić nasiona główne od nasion skielkowanych oraz tych porażonych chorobami.

Podział nasion w sortowniku stołowym odbywa się poprzez umieszczenie mieszaniny na środku lekko nachylonego stołu, wyposażonego w zygzakowato przebiegające ścianki. Następnie stół jest wstrząsany w kierunku poprzecznym, dzięki czemu w kanałach utworzonych przez ścianki surowiec układa się w warstwy w zależności od ciężaru właściwego - nasiona cięższe opadną w dół, natomiast lżejsze ułożą się na wierzchu. Ciężkie nasiona tworzą warstwę na spodzie, dlatego ruch nadawany im przez stół będzie hamowany przez surowiec lżejszy, leżący nad nimi. Z kolei ruch nasion lżejszych ogranicza jedynie ich wzajemne tarcie. W efekcie różnic w ruchu mieszaniny, nasiona cięższe przesuwać się powoli w dół, natomiast lżejsze, uderzając o ściany przegród, zostają odrzucane od nich z siłą większą niż siła ciężkości na nie działająca i drogą zygzakowatą kierują się w górę stołu. Nachylenie stołu, częstotliwość wstrząsów i ich siłę dobiera się według gatunku i składu rozdzielanej mieszaniny [Byszewski, Haman 1977].

### **2.7.8. Separatory fotoelektryczne**

Rozdzielanie mieszaniny w czyszczalni fotoelektrycznej odbywa się na zasadzie odchylenia torów surowca wcześniej naładowanego ładunkiem elektrycznym uzależnionego od ich koloru [Konopka i in. 2000].

W tych urządzeniach nasiona podawane są poprzez dozownik wibracyjny na podajnik taśmowy, który kieruje je do komory sortującej równomiernym strumieniem. W komorze wszystkie nasiona są "ogłądane" przez dwie fotokomórki, na tle wzorca o jasnym kolorze. W przypadku wystąpienia różnicy kolorów nasiona otrzymują dodatni ładunek elektryczny poprzez igłę elektryzującą. Następnie surowiec przemieszcza się pomiędzy dwoma elektrodami. W polu elektrycznym płyt dochodzi do odchylenia toru (przyciągnięcia) nasion naelektryzowanych dodatnio, natomiast nasiona bez ładunku spadają pionowo. Wylot rozdzielony jest nastawną przegrodą na dwie części [Choszcz i in. 2003].

W miejsce odchylenia toru elektrostatycznego może być zastosowane sprężone powietrze, które dyszą w postaci cienkiego strumienia wydmuchuje nasiona o barwie innej niż wzorcowa [Tylek 2003].

### **2.7.9. Separatory elektrostatyczne**

W procesach rozdzielczych wykorzystać można właściwości elektryczne materiałów ziarnistych takie jak przyjmowanie lub oddawanie ładunków elektrycznych, przewodnictwo, przenikalność dielektryczna, czy zdolność do polaryzacji [Cieśla 2013]. W praktyce korzysta się z trzech sposobów elektryzowania cząstek:

1. elektryzowanie w wyniku tarcia wewnętrznego i zewnętrznego,
2. elektryzowanie w wyniku zetknięcia cząstek z elektrodą,
3. elektryzowanie w polu elektrycznym wyładowań ulotowych.

Cząstki naelektryzowane dodatnio lub ujemnie zostają rozdzielone poprzez wprowadzenie ich między elektrody oraz odchylenie ich z toru swobodnego spadku (odpychanie i przyciąganie) [Tylek 2003].

### **2.7.10. Czyszczałnie złożone**

Czyszczałnie złożone są urządzeniami czyszczącymi wykorzystującymi do separacji więcej niż jedną cechę lub właściwość mieszaniny. W zależności od przyjętych właściwości masy ziarnistej i kolejności ich wykorzystania możemy wyróżnić:

- a. rozdzielacze pneumatyczno-sitowe,
- b. rozdzielacze pneumatyczno-sitowe z tryjerami [Grochowicz 1994].

## 2.8. Charakterystyka separatora pneumatyczno-sitowego

W produkcji spożywczej separacja przeprowadzana jest dla szerokiej gamy surowców, takich jak zioła, ziarna zbóż, czy nasiona roślin. O wadze tego problemu w polskim przemyśle spożywczym i rolnictwie może świadczyć konieczność sortowania i czyszczenia każdego roku kilkudziesięciu milionów ton samego ziarna zbóż oraz różnorodnych surowców spożywczych. Proces separacji zazwyczaj przeprowadzany jest wieloetapowo – pierwszy raz ziarno zbóż separuje się w kombajnie, kolejny w maszynach czyszczących, a niektóre w różnych, późniejszych procesach technologicznego przetwarzania [Uhl, Lamp 1966; Panasiewicz i in. 2008].

Biorąc pod uwagę fakt, że procesy rozdzielcze stosowane są do nasion co najmniej kilkuset gatunków roślin (zarówno nasion gatunków podstawowych, jak również chwastów), łatwo zrozumieć pojawiające się przy tym trudności. Dlatego też należy przywiązywać szczególną uwagę przy doborze urządzeń wykorzystywanych w procesach rozdzielczych, jak również przy wyborze optymalnych parametrów procesów, które powinny być dostosowane do konkretnych materiałów. W związku z tym proces separacji i czyszczenia najczęściej oparty jest na wykorzystaniu właściwości aerodynamicznych surowca, jego kształtu lub struktury powierzchni, w celu oddzielenia zanieczyszczeń od materiału pożądanego [Oszczak 2006, Sobczak 2009].

W rolnictwie i przemyśle spożywczym najczęściej spotykanym rodzajem separacji jest separacja sitowa. Cechuje ją duża dokładność czyszczenia, wydajność oraz szeroki wybór w zakresie zastosowanych materiałów. W takich separatorach podstawowy element roboczy stanowią sita, wykonujące określony ruch. Rozdzielają one cząstki według trzech wymiarów – długości, szerokości i grubości. Na podstawie wybranej cechy rozdzielczej dobrana zostaje konstrukcja, kształt oraz wymiary otworów sita. Graniczne wartości przedziałów klasowych, rozdzielających materiał, określone są przez wymiary otworów w sitach. [Yang i in. 1990] W analizach badawczych, po wyznaczeniu masy materiału zatrzymanego na poszczególnych sitach, wyniki przedstawione zostają w postaci histogramu. W oparciu o krzywe rozkładu czyszczonego surowca można określić możliwości rozdzielenia materiału według danej cechy, a także dokonać oceny wielkości strat w stosunku do oddzielonych zanieczyszczeń. Podobne zależności istnieją w czasie procesu czyszczenia i separacji nasion [Mieszkalski, Anders 1999].

Separacja pneumatyczna, obok sitowej, stanowi najczęstszą metodę czyszczenia wykorzystywaną w przemyśle spożywczym. W tym przypadku rozdział przebiega przy użyciu strumienia powietrza, będącego czynnikiem wywołującym różnicę w aerodynamicznych cechach cząstek mieszanin ziarnistych. Dzięki zastosowaniu jednego lub kilku strumieni powietrza możliwe jest dokonanie podziału surowca pod względem geometrycznym, gęstościowym, masowym czy jakościowym [Grochowicz 1989].

W porównaniu z innymi metodami separacji, pneumatyczne charakteryzują się wieloma zaletami, wśród których wyróżnić można:

- niezapylenie powietrza,
- umożliwianie jednoczesnego sortowania i czyszczenia surowca,
- emitowanie niewielkiego poziomu hałasu;
- nieuszkodzanie surowca;
- brak wpływu na zmianę cech fizycznych i biologicznych surowca w procesie separacji,
- umożliwienie bezstopniowej regulacji parametrów separacji,
- duża wydajność przy małych gabarytach i niskim poborze mocy [Tylek, Walczyk 2002].

Pneumatyczny podział mieszanin zachodzi przeważnie pod kątem  $90^\circ$  względem płaszczyzny poziomej (mamy wtedy do czynienia ze strumieniem powietrza pionowym) lub w zakresie od  $0^\circ$  do  $90^\circ$  (ukośny ruch powietrza). Najbardziej stosowanym rozwiązaniem jest wykorzystanie strumienia poziomego – w tym przypadku cięższe cząstki przełamują opór powietrza i spadają na dno, natomiast lżejsze są porywane ku górze. Działanie separatora o ukośnym strumieniu powietrza przebiega poprzez odchylenie trajektorii opadających cząstek mieszaniny – różne własności aerodynamiczne wywołują zmianę toru lotu poszczególnych ziaren, a w rezultacie podział na frakcje [Kramkowski 1997]. Jednym z głównych kryteriów podziału separatorów pneumatycznych jest usytuowanie wentylatorów wytwarzających strumień powietrza, które określa budowę oraz metodę podziału mieszaniny. Separatory możemy podzielić na:

- podciśnieniowe (aspiratory), które działają na zasadzie zasysania powietrza do komory roboczej przez wentylator umieszczony za nią,
- nadciśnieniowe, w tym przypadku strumień powietrza jest włączany do komory roboczej przez wentylator umieszczony na początku układu

- kombinowane - użycie dwóch wentylatorów (przed oraz za komorą roboczą) daje możliwość pracy zarówno w warunkach podciśnienia, jak i nadciśnienia [Grochowicz 1994].

Decydujący wpływ na proces separacji pneumatycznej mają:

- charakterystyka materiału wejściowego (skład separowanego surowca, rodzaj oraz ilość zanieczyszczeń – skuteczność procesu jest tym większa, im większe różnice występują w prędkościach krytycznych (przy których materiał przechodzi w stan fluidalny – zawieszenia) surowca podstawowego i zanieczyszczeń,
- obciążenie kanału roboczego – podanie większej ilości surowca w jednostce czasu w tych samych warunkach zmniejsza skuteczność procesu,
- równomierność i prędkość strumienia powietrza,
- czas, w którym przebywa mieszanina wejściowa w strumieniu powietrza,
- wymiary kanału pneumatycznego.

Podział samodzielnych czyszczalni pneumatycznych następuje według systemu obiegu powietrza i wyróżnia się takie z otwartym (powietrze dostarczane jest z otoczenia po czym, po przejściu przez układ, jest oddawane do atmosfery) oraz zamkniętym (strumień powietrza krąży w obiegu zamkniętym, przez co zanieczyszczenia i pyły nie wydostają się do otoczenia) [Grochowicz 1994].

Zastosowanie jedynie sita lub tylko pneumatyki sprawia, że efekt czyszczenia jest mało skuteczny. Dlatego, w celu dokładniejszego oczyszczenia nasion i ziaren wykorzystuje się oba typy separacji jednocześnie. Wówczas sita, najczęściej wyposażone w napęd wibracyjny, zostają wyposażone w system przedmuchiwania strumieniem powietrza. W czyszczalniach uniwersalnych głównym czynnikiem sortującym są sita, natomiast układ pneumatyczny pełni funkcję pomocniczą - porywa zanieczyszczenia lekkie i oczyszcza zbyt obciążone sito. Takie rozwiązanie jest szeroko stosowane również w kombajnach zbożowych [Feder i in. 2002; Kęska i in. 2005].

Na podstawie przebiegu procesu separacji, rozdzielacze pneumatyczno-sitowe możemy podzielić na:

- separatory z niezależnym układem pneumatycznym i sitowym
- separatory z układem sitowym przedmuchiwany strumieniem powietrza.

Natomiast jeżeli za kryterium przyjmiemy sposób łączenia i kolejność oddziaływania na surowiec sit i strumienia powietrza uzyskamy podział:

- sito-kanal pneumatyczny,
- sito-kanal pneumatyczny-sito,
- kanal pneumatyczny-sito,
- kanal pneumatyczny-sito-kanal pneumatyczny,
- kanal pneumatyczny-kanal pneumatyczny-sito,
- sito-sito-kanal pneumatyczny [Grochowicz 1994].

Badania laboratoryjne dowodzą, że dzięki optymalnemu doborowi częstotliwości drgań sita oraz prędkości strumienia powietrza możliwe jest uzyskanie dużo większej wydajności procesu separacji [Feder i in. 2002; Kęska i in. 2005].

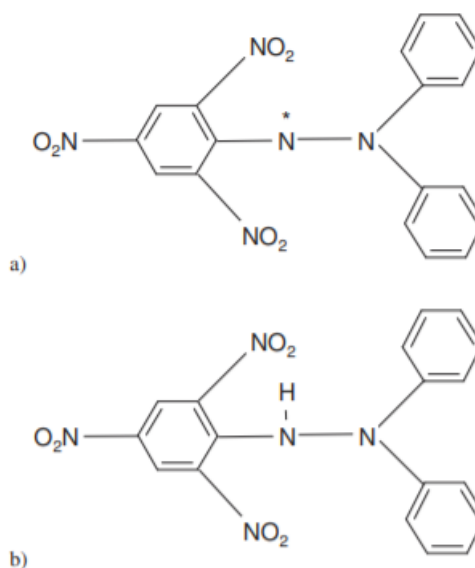
Separatory sitowe, pneumatyczne oraz kombinowane są szeroko stosowane np. w przemyśle, leśnictwie i rolnictwie – zazwyczaj do oczyszczania ziaren zbóż z zanieczyszczeń lub uszkodzonych nasion, które obniżają jakość oraz wydajność materiału. Na skalę przemysłową stosowane są czyszczalnie uniwersalne, ze względu na ich wydajność w tonach na godzinę, natomiast w indywidualnych gospodarstwach rolnych stosowany jest młynek – maszyna wykorzystująca ukośny strumień powietrza do zmiany trajektorii lotu cząsteczek o zróżnicowanych masach oraz prędkościach krytycznych, które prowadzą do podziału surowca na frakcje. W procesie oczyszczania nasion krzewów, drzew oraz warzyw główną rolę odgrywają rozdzielacze o strumieniu powietrza pionowym - zróżnicowanie pod względem masy, kształtu, budowy i właściwości aerodynamicznych wpływa na ciągły postęp oraz udoskonalanie urządzeń czyszczących przez konstruktorów. Skutkiem tego jest spory wybór rozwiązań technicznych (różne kształty komór rozdzielczych i osadczych, sposobów podawania i odbioru surowca oraz zanieczyszczeń) zarówno w celu zwiększenia wydajności, jakości procesu separacji, jak i zmniejszenia szkodliwego wpływu zanieczyszczeń na środowisko oraz ludzi [Choszcz i in. 2008; Sobczak i in. 2011].

## **2.9. Przykłady metod analitycznych substancji czynnych występujących w ziołach**

### **2.9.1. Metoda DPPH**

W analizach nad skutecznością antyoksydantów korzysta się z ich zdolności do dezaktywacji wolnych rodników. Jedną z najczęściej używanych metod jest badanie z wykorzystaniem odczynnika DPPH (1,1-difenylo-2-pikrylohydrazyl), stabilnego wolnego rodnika, który posiada niesparowany elektron na jednym z atomów azotu

tworzących mostek azotowy (rys. 1a). W trakcie reakcji z substancją mogącą oddać atom wodoru, formuje strukturę zredukowaną DPPH (rys. 1b) [Rice-Evans i in. 1996].



Rys. 1. DHHP: a) wolny rodnik, b) forma zredukowana [Rice-Evans i in. 1996]

Reakcja ta charakteryzuje się zmianą barwy z ciemnofioletowej (DPPH•) na żółtą (DPPH-H). Spektrofotometryczny pomiar zaniku ciemnofioletowej barwy przeprowadzany jest przy długości fali  $\lambda=516$  nm. Wskaźnikiem mocy antyoksydacyjnej jest różnica między absorbancją roztworu DPPH• z antyoksydantem przed i po reakcji. Zmniejszenie absorbancji jest proporcjonalne do ilości, pozostającej w roztworze, formy utlenionej DPPH [Wojdyło i in. 2007].

### 2.9.2. Metoda Folin-Ciocalteu

W piśmiennictwie można znaleźć wiele informacji, które dotyczą określania całkowitej zawartości związków fenolowych w rozmaitych rodzajach próbek. Najszerzej przedstawiona i jednocześnie najczęściej wykorzystywana jest metoda Folin-Ciocalteu. Występujące w próbce związki fenolowe podlegają utlenieniu, podczas gdy sole kwasów fosfowolframowego oraz fosfomolibdenowego, będące komponentami odczynnika Folina zostają zredukowane w środowisku zasadowym – powstaje produkt reakcji o niebieskiej barwie, dzięki czemu możliwe jest oznaczenie ich zawartości na spektrofotometrze. Metoda ta korzysta ze zdolności polifenoli do barwnej reakcji z odczynnikiem Folina, a absorbancja, która mierzona jest przy długości fali  $\lambda=756$ nm, jest proporcjonalna do

całkowitej ilości związków fenolowych w analizowanej próbce [Ball 2001; Stanciu i in. 2010].



### 3. CEL PRACY I PROBLEM NAUKOWY

Surowce zielarskie ze względu na ich różnorodność są stosunkowo trudnym surowcem do przeprowadzania wielu procesów technologicznych. Dodatkowo wymagają dość wysokiego stopnia oczyszczenia z niepożądanych dodatków mogących wpływać na jego końcowe oddziaływanie na organizm konsumenta. Należy także pamiętać o dużej różnorodności tych surowców wywoływanych występowaniem zróżnicowanych warunków środowiskowych i klimatycznych podczas uprawy czy zbioru.

Głównymi celami rozprawy są:

- ocena skuteczności separacji pneumatyczno-sitowej surowców zielarskich,
- opracowanie modeli matematycznych parametrów wpływających na proces separacji pneumatyczno-sitowej surowców zielarskich,
- określenie optymalnych wartości przy analizowanych parametrach procesu separacji.

Cele użytkowe rozprawy obejmują określenie warunków prowadzenia separacji pneumatyczno-sitowej prowadzanej w celu obniżenia ilości zanieczyszczeń mineralnych w surowcach ziołowych.

Badania będą realizowane zgodnie z planem eksperymentu. Jako zmienne wejściowe procesu separacji przyjęto:

- rodzaj sita (wielkość otworów),
- prędkość obrotową głowicy separującej,
- natężenie przepływu strumienia powietrza wykorzystanego do separacji,
- czas procesu separacji.

Biorąc pod uwagę powyższe w pracy podjęto się rozwiązania następujących problemów naukowych:

1. Jaki jest wpływ parametrów procesu podczas separacji pneumatyczno-sitowej na analizowanym urządzeniu na zdolność obniżenia zanieczyszczeń mineralnych i stopień utraty aktywnych substancji z tego surowca uwzględniając następujące czynniki:
  - prędkość obrotowa głowicy separującej,
  - natężenie przepływu strumienia powietrza wykorzystanego do separacji,

- czas procesu separacji.
2. Określenie efektywności zrealizowanego procesu separacji na analizowanym urządzeniu i zrealizowanych parametrach przy uwzględnieniu zmian substancji aktywnych i mineralnych.

## 4. MIEJSCE I PRZEDMIOT BADAŃ

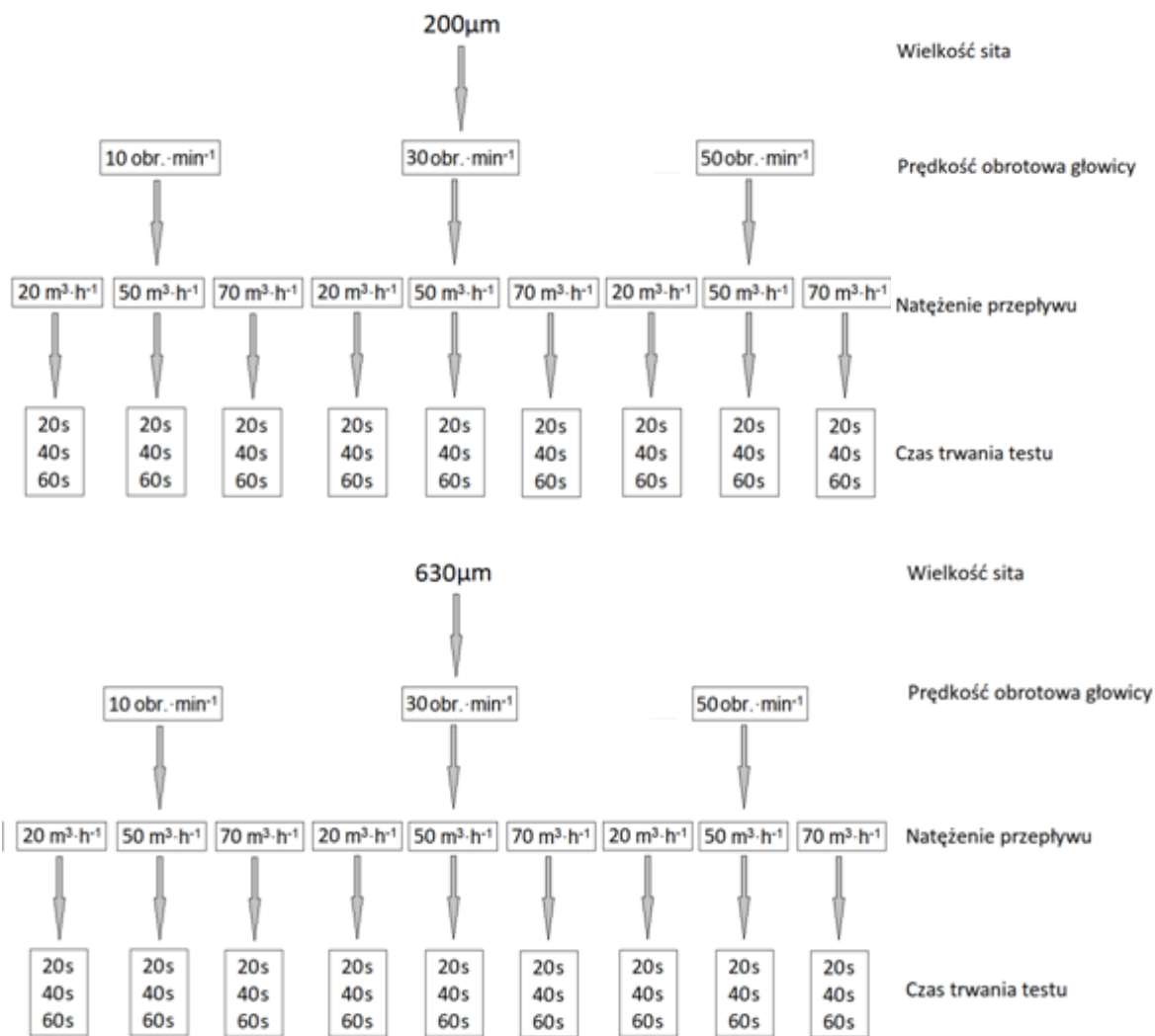
Badania procesu separacji pneumatyczno-sitowej surowców zielarskich oraz pomiary ich właściwości fizycznych, mechanicznych i chemicznych przeprowadzono w laboratoriach Katedry Inżynierii i Maszyn Spożywczych Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w latach 2018-2022. W trakcie badań korzystano także z pomocy aparaturowej i wykonawczej Katedry Podstaw Techniki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w celu oznaczenia zawartości polifenoli i potencjału antyoksydacyjnego oraz Zakładu Towaroznawstwa i Przetwórstwa Surowców Zwierzęcych Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w celu oznaczenia wilgotności i zawartości popiołu.

### 4.1. Przygotowanie mieszanek

Przed przystąpieniem do badań, mających na celu obniżenie zawartości zanieczyszczeń ze szczególnym naciskiem na zanieczyszczenia mineralne (piasek, ziemia itp.) część posiadanych surowców poddano procesowi separacji przy użyciu separatora pneumatyczno-sitowego i oddzielono zawarte w nim pyły. Proces realizowano na laboratoryjnym stanowisku do separacji pneumatyczno-sitowej RHEWUM LPS 200 MC (fot. 5).

Parametry separacji:

- Dwie wielkości sita (sito tkane o otworach kwadratowych) – wielkość została dobrana po analizie wstępnej ze względu na typową wielkość cząstek zanieczyszczeń mineralnych i możliwość ich odseparowania (sita o oczkach 200 i 630 $\mu\text{m}$ );
- Trzy prędkości obrotowe głowicy separatora pneumatyczno sitowego (o obrotach 10, 30 i 50 obr.  $\cdot\text{min}^{-1}$ );
- Trzy natężenia przepływu strumienia powietrza separującego (przy przepływie 20, 50 i 70  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ );
- Trzy czasy realizacji procesu (20, 40 i 60s);



Rys. 2. Schemat przebiegu i parametry badań procesu separacji pneumatyczno-sitowej

W wyniku przeprowadzonych badań wstępnych przyjęto rozmiar sita 200µm dla tymianku, rumianku, rumianku kwiat + zanieczyszczenia, rumianku zanieczyszczenia +piasek i pyłu z melisy oraz 630µm dla konopi.

W ten sposób powstało 59 próbek materiału roślinnego – 6 próbek nieodseparowanych (testowych) i 53 próbki poddane procesowi separacji - w tym 7 z wykorzystaniem tymianku, 7 z rumianku, 11 z rumianku kwiat + zanieczyszczenia, 4 z rumianku zanieczyszczenia + piasek, 15 z konopi oraz 9 z melisy (pył).

Melisa (pył) oraz rumianek (zanieczyszczenia + piasek) wykorzystana w badaniach pochodziły z przemysłowej produkcji będąc odpadem po wstępnym odseparowaniu surowca w zakładach zielarskich. Mimo tego, analizując wyniki przeprowadzonych badań

możemy stwierdzić, że znajdowało się w nim sporo materiału biologicznego, który można byłoby wykorzystać np. w celach kosmetycznych.

Ocenę czystości nasion przeprowadzono stosując separację złożoną, czyli pneumatyczno-sitową. Ogólnie można stwierdzić, że wzrost średnicy otworów sit powoduje zwiększenie czystości materiału, przy jednoczesnym wzroście strat.



Fot. 5. Laboratoryjny separator pneumatyczno sitkowy RHEWUM LPS 200 MC

## 5. METODYKA BADAŃ

Badania właściwości fizycznych i użytkowych ziół przeprowadzono zgodnie z zaleceniami obowiązujących polskich oraz międzynarodowych norm.

### 5.1. Analiza sitowa

Analizę sitową przeprowadzono metodą na sucho, zgodnie z PN-ISO 2591-1. Na wstrząsarce ustawiono sita od najmniejszego do największego (o oczkach 2; 1; 0,5; 0,25; 0,2 mm), od góry szczelnie nakryto. Na dole wstrząsarki umieszczono denko. Wstrząsano przy częstotliwości 50Hz przez 4 minuty. Po zakończonym procesie przesiewania, omiatając powierzchnię sit oraz obrzeże miękką szczoteczką, zważono poszczególne frakcje zgromadzone na sitach z dokładnością  $\pm 0,1g$ .

Analiza sitowa pozwoli scharakteryzować surowiec przeznaczony do separacji, przy założeniu że występujące w surowcu zanieczyszczenia mineralne cechują się mniejszym wymiarem cząstek. Znajomość tego parametru pozwoli dobrać jeden z parametrów stosowanej separacji złożonej – rozmiar oczek sita co pozwoli zmniejszyć ilość analizowanych próbek.

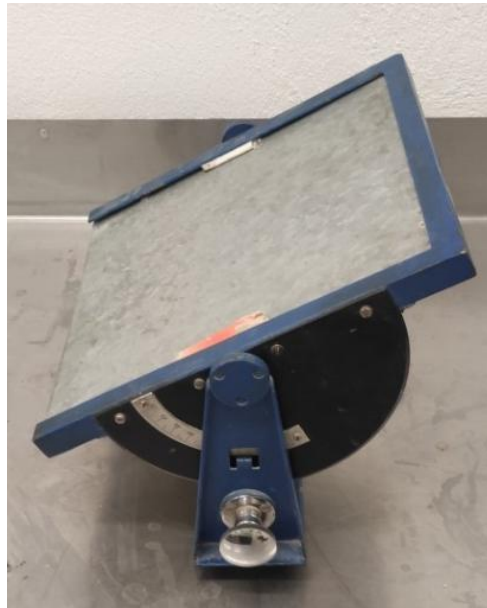


Fot. 6. Urządzenie do analizy sitowej typ Retsch AS 200

## 5.2. Kąt zsyphu

Badanie polegające na sprawdzeniu minimalnego kąta, jaki powinien tworzyć się między płaszczyzną a poziomą podstawą, przy której rozpoczyna się zsyphywanie materiału, przy czym płaszczyzna z surowcem zajmuje początkowo położenie poziome i równoległe do podstawy. Badanie wykonano w 3 powtórzeniach na płaszczyźnie metalowej według normy PN-65/Z-04004.

Znajomość wartości tego parametru będzie służyła do od oceny surowca przed i po separacji oraz zanieczyszczeń, zakładając że zanieczyszczenia mineralne charakteryzują się wyższymi wartościami kąta zsyphu po metalu w stosunku do materiału zielarskiemu.



Fot. 7. Urządzenie do pomiaru kąta zsyphu

## 5.3. Kąt usyphu

Kąt usyphu określono wykonując pomiar promienia usypanego stożka oraz wyznaczając w 3 powtórzeniach według normy PN-65/Z-04005 uzyskaną wysokość. Wartość kąta usyphu obliczono ze wzoru:

$$\alpha = \frac{\arctg h}{r_s}$$

Gdzie:

$\alpha$  – kąt naturalnego usyphu [°],

$h$  – wysokość usypanego stożka [mm],

$r_s$  – promień usypanego stożka [mm].

Znajomość wartości tego parametru będzie służyła do oceny surowca przed i po separacji oraz zanieczyszczeń, zakładając że zanieczyszczenia mineralne charakteryzują się niższymi wartościami kąta usypu w stosunku do materiału zielarskiego.



Fot. 8. Urządzenie do pomiaru kąta usypu

#### 5.4. Gęstość utrżeszona

Zastosowano aparat składający się z układu napędowego i cylindra z podziałką, do którego wsypano badany materiał. Po wsypaniu surowca cylinder wprowadzono w ruch drgający. Po serii wstrząsów (częstotliwość drgań  $250 \text{ cykli} \cdot \text{min}^{-1}$ , czas 2 minuty) odczytano poziom surowca w cylindrze i znajdując jego masę obliczono gęstość w stanie utrżeszonym.

$$p = \frac{m_1 - m_0}{V_1 - V_2}$$

gdzie:

$m_1$  – masa napełnionego naczynia pomiarowego [g]

$m_0$  – masa pustego naczynia pomiarowego [g]

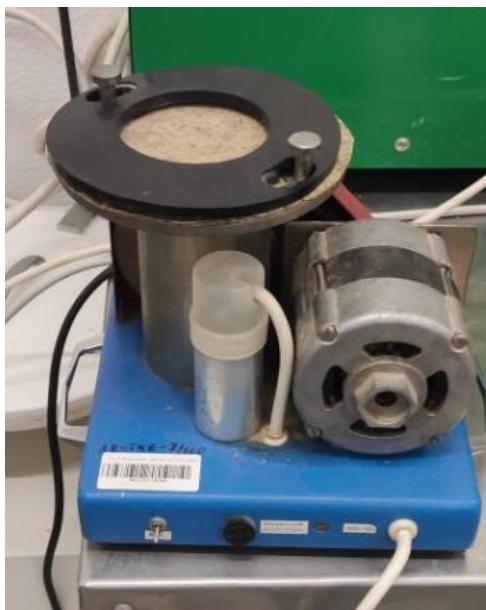
$V_2$  – objętość naczynia pomiarowego po utrżeszeniu [ $\text{cm}^3$ ]

$V_1$  – objętość naczynia pomiarowego przed utrżeszeniem [ $\text{cm}^3$ ]

Badanie wykonano w 3 powtórzeniach według normy PN – 65/Z-04003.



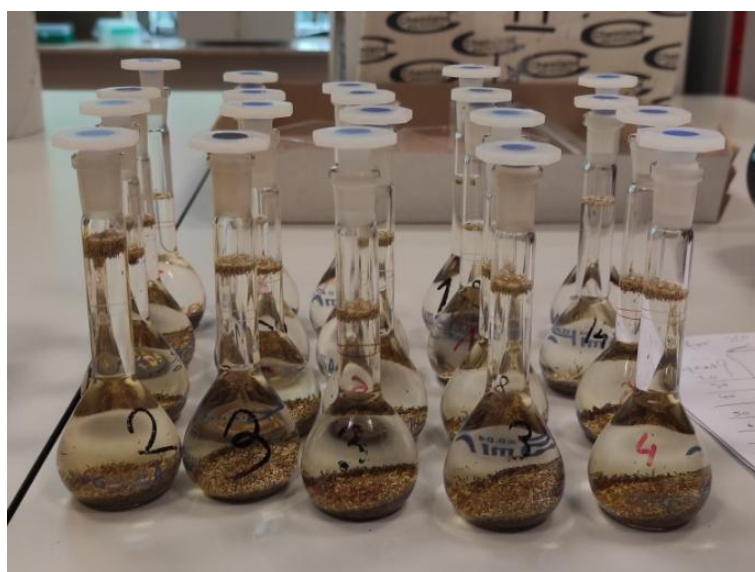
Znajomość wartości tego parametru będzie służyła do oceny surowca przed i po separacji oraz zanieczyszczeń, zakładając że zanieczyszczenia mineralne charakteryzują się większymi wartościami gęstości utrzęsionej w stosunku do materiału zielarskiego.



Fot. 9. Urządzenie do pomiaru gęstości utrzęsionej

### 5.5. Zawartość związków fenolowych – metoda Folin-Ciocalteu

Po odważeniu ok. 1g ( $\pm 0,001g$ ) materiału roślinnego, wlewano 30 ml metanolu i utrzymywano w temp. 40°C przez 24 godziny.

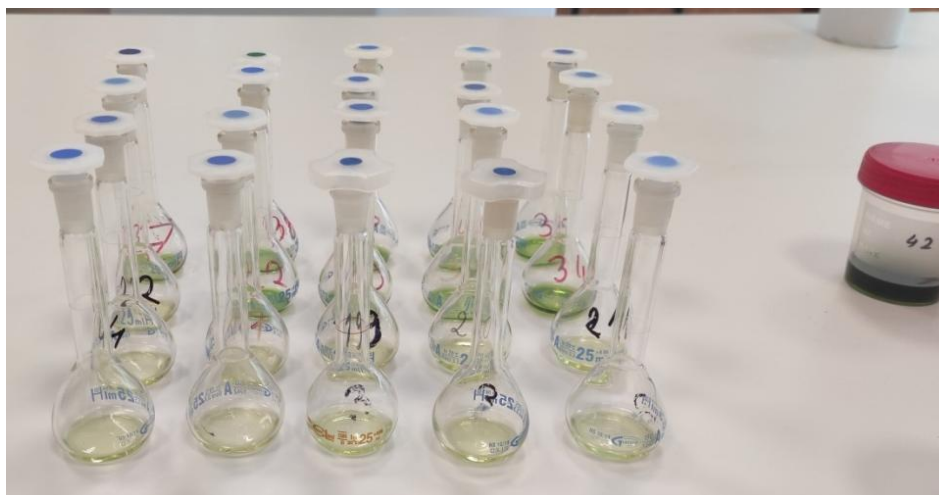


Fot. 10. Próbkki po zalaniu metanolem

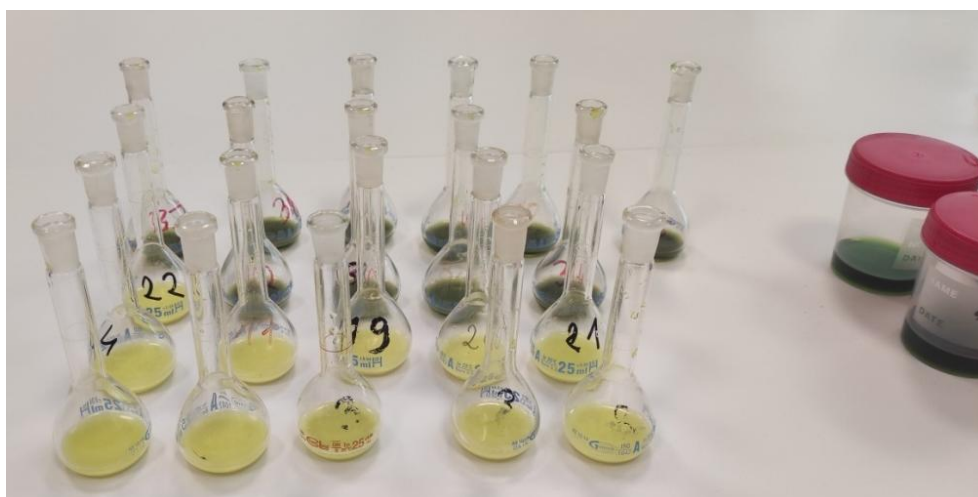


Fot. 11. Próbki po 24h

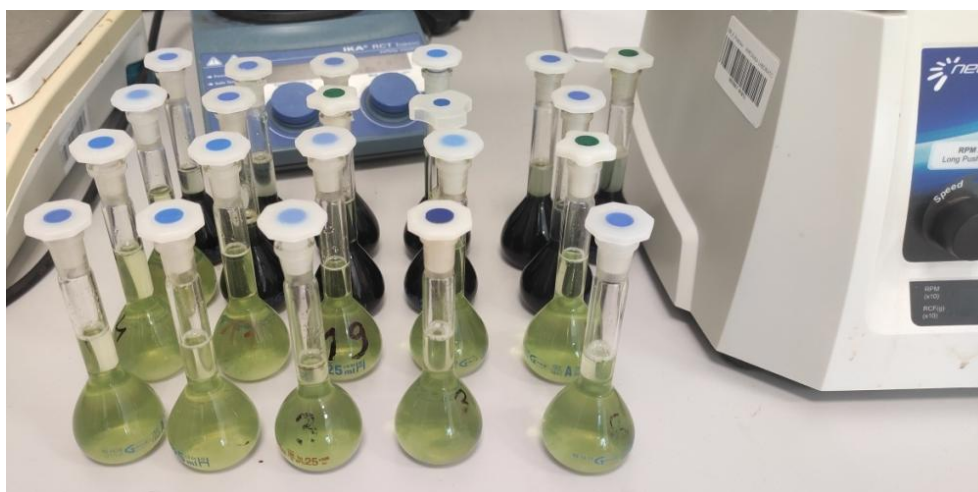
Przygotowano roztwór folinu (40 ml na 160 ml wody) oraz roztwór węglańu sodu (20g na 180 ml wody). Odczynnik Folina-Ciocalteu'a przechowywano bez dostępu światła. Odmierzono 1 ml ekstraktu (w przypadku tymianku oraz melisy) i 2 ml dla rumianku, rumianku kwiat + zanieczyszczenia, rumianku zanieczyszczenia + piasek oraz konopi i przeniesiono do kolb miarowych o pojemności 25ml. Każdą próbę wykonano w dwóch powtórzeniach. Dodano 2 ml folinu i odczekano 3 minuty. Następnie dodano 2 ml węglańu sodu, uzupełniono wodą (do kreski) i pozostawiono próbki w ciemności przez 30 minut. Absorbancję zmierzono spektrofotometrem przy  $\lambda=760\text{nm}$  (zakres stężeń  $0,1 - 1 \text{ mol dm}^{-3}$ ). Całkowitą zawartość związków polifenolowych metodą Folina-Ciocalteu'a oznaczono zgodnie z normą ISO 14502-1:2005. Wyniki wyrażono w równoważnikach kwasu galusowego ( $\text{mg GAE}\cdot\text{g}^{-1}\text{s.m.}$ ).



Fot. 12. Odmierzone próbki



Fot. 13. Próbkki po dodaniu odczynnika Folina-Ciocalteu'a



Fot. 14. Próbkki po dodaniu węglaanu sodu i uzupełnieniu wodą do kreski

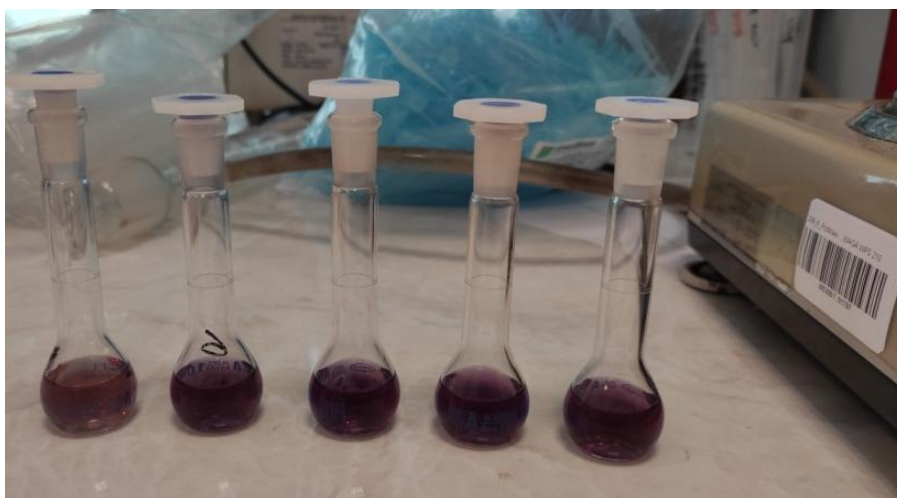
Zawartości polifenoli wykorzystana będzie do oceny skuteczności procesu separacji – w surowcu po separacji wartość ta powinna wzrosnąć a materiałe odseparowanym powinna być jak najmniejsza.

### **5.6. Potencjał antyoksydacyjny - metoda DPPH**

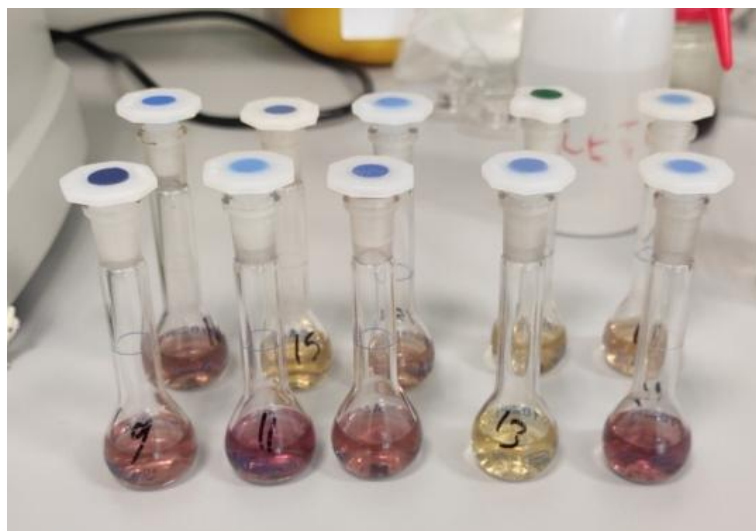
Po odważeniu ok. 1g ( $\pm$  0,001g) materiału roślinnego, wlewano 30 ml metanolu i utrzymywano w temp. 40°C przez 24 godziny.

Przed przystąpieniem do badania ekstrakty tymianku i melisy rozcieńczono poprzez wymieszanie 30 $\mu$ l ekstraktu z 30 $\mu$ l metanolu. Następnie Roztwór DPPH rozcieńczono tak, aby jego absorbancja przy długości fali  $\lambda=516\text{nm}$  wynosiła 0,95.

Po odmierzeniu po 30 $\mu$ l ekstraktów i przeniesiono do kolb miarowych o pojemności 10 ml. Dodano 5 ml odczynnika DPPH i pozostawiono próbki w ciemności przez 45 minut. Absorbancję zmierzono spektrofotometrem przy  $\lambda=516\text{nm}$ . Każdą próbę wykonano w dwóch powtórzeniach.



Fot. 15. Próbkki po dodaniu odczynnika DPPH



Fot. 16. Próbki po 45min

Potencjał antyoksydacyjny (aktywność przeciwutleniająca, inhibicję) badanych roztworów wyrażono przez procent inhibicji DPPH. W tym celu z pomiarów uzyskanych z analiz spektrofotometrycznych wyznaczano średnią arytmetyczną, a następnie podstawiano wartości do wzoru [Molyneux 2004]:

$$\% \text{ inhibicji} = 100 (A_0 - A_{sr.}) / A_0$$

gdzie:

$A_{sr.}$  - średnia wartość absorbancji badanego roztworu zawierającego antyoksydant,

$A_0$  - absorbancja roztworu rodnika DPPH (0,95)

Badania wykonano przy użyciu spektrofotometru UV-1800 Shimadzu.



Fot.17. Spektrofotometr UV-1800 Shimadzu UV Spectrophotometer

Wartość zdolności antyoksydacyjnej wykorzystana będzie do oceny skuteczności procesu separacji – w surowcu po separacji wartość ta powinna wzrosnąć a materiale odseparowanym powinna być jak najmniejsza.

### **5.7. Wilgotność**

W prawidłowym procesie separacji ziół wymagana jest znajomość właściwości fizycznych badanej mieszaniny. Jedną z takich właściwości jest wilgotność badanego materiału. Procentową zawartość wody w produktach zielarskich zmierzono przy użyciu wagi suszarki Radwag, serii WPS 210S z dokładnością 0,01%. Odważono ok. 2-3g surowca i umieszczono na szalce. Temperatura pomiaru wynosiła 105°C. Badanie wykonano według normy PN-EN ISO 712:2012, wszystkie pomiary powtórzono trzykrotnie i obliczono wartość średnią.

Znajomość wartości tego parametru będzie służyła do oceny surowca i zanieczyszczeń przed i po separacji. Ze względu na specyfikę zanieczyszczeń mineralnych zawartość wody w tym materiale jest niższa w porównaniu do surowca zielarskiego (biologicznego) i w związku z tym parametr ten wspomże ocenę skuteczności separacji zanieczyszczeń mineralnych.



Fot. 18. Wagosuszarka Radwag WPS 210S

## 5.8. Zawartość popiołu

Całkowita zawartość popiołu powstałego po wyprażeniu surowca zależy od wielu czynników, w tym zanieczyszczenia roślin piaskami, pyłami czy obecności soli mineralnych. Zawartość graniczna popiołu całkowitego dla danego surowca roślinnego podana jest w monografiach szczegółowych.

Metoda oznaczania popiołu ogólnego polega na spopieleniu próbki analitycznej w temp.  $550^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$  do całkowitego spalenia substancji organicznych i wagowym oznaczeniu pozostałości (PN-ISO 2171:1994).

Znajomość wartości tego parametru pozwoli dodatkowo wspomóc ocenę skuteczności separacji. W surowcu po separacji zawartość ta powinna być wyższa niż w materiale nie podanym temu zabiegowi.



Fot. 19. Próbkę po wysuszeniu



Fot. 20. Próbkę po spaleniu

## 5.9. Analiza statystyczna

Otrzymane wyniki zostały poddane analizie statystycznej. Obliczono statystyki podstawowe oraz przeprowadzono analizę wariancji ANOVA dla układu czynników. Do określenia istotności różnic wykorzystano test Tukey'a przyjmując poziom istotności  $\alpha=0,05$ .

Zależności matematyczne atrybutów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych z ziół były uzyskane przez wykorzystanie linearyzowania regresji wielomianowej, a następnie po przeprowadzeniu analizy współczynników i reszt prowadzono modyfikację uzyskanych równań przeprowadzając estymację (regresja użytkownika z wykorzystaniem najmniejszych kwadratów) metodą Levenberga-Marquardta. Analizy wykonano z wykorzystaniem programu Statistica 13 ([www.statsoft.pl](http://www.statsoft.pl)).

Wyboru ostatecznej postaci zależności matematycznej dla poszczególnych wyznaczników dokonano na podstawie wartości współczynnika determinacji (jako granicę dopuszczalnego stopnia dopasowania przyjęto 0,4).

## 5.10. Ocena efektywności procesu separacji

Otrzymane wyniki zostały poddane analizie efektywności procesu separacji. Jako kryteria oceny zastosowano parametry wartości wyznaczników po przeprowadzonej separacji takich jak: zawartość polifenoli, zdolność antyoksydacyjną i zawartość popiołu (związków mineralnych). Dodatkowo wzięto pod uwagę ilość strat aktywnych substancji w materiale odseparowanym (zawartość polifenoli, zdolność antyoksydacyjna). Wagi poszczególnych parametrów przyjęto następująco:

- 30% - zawartość polifenoli i zdolność antyoksydacyjną w materiale po separacji,
- 20% - zawartość popiołu (związków mineralnych) w materiale po separacji,
- 10% - zawartość polifenoli i zdolność antyoksydacyjną w odseparowanym materiale.



Zależność obliczano zgodnie ze wzorem:

$$\varepsilon = \left( 0,3 \cdot \frac{\text{zawartość polifenoli}}{\text{średnia zawartość polifenoli}} + 0,3 \cdot \frac{\text{zdolność andyoksydacyjna}}{\text{średnia zdolność andyoksydacyjna}} + 0,2 \cdot \left( 1 - \frac{\text{zawartość popiołu}}{\text{średnia zawartość popiołu}} \right) + 0,1 \cdot \left( 1 - \frac{\text{zawartość polifenoli w pyłach}}{\text{średnia zawartość polifenoli w pyłach}} \right) + 0,1 \cdot \left( 1 - \frac{\text{zdolność andyoksydacyjna w pyłach}}{\text{średnia zdolność andyoksydacyjna w pyłach}} \right) \right) * 100\%$$

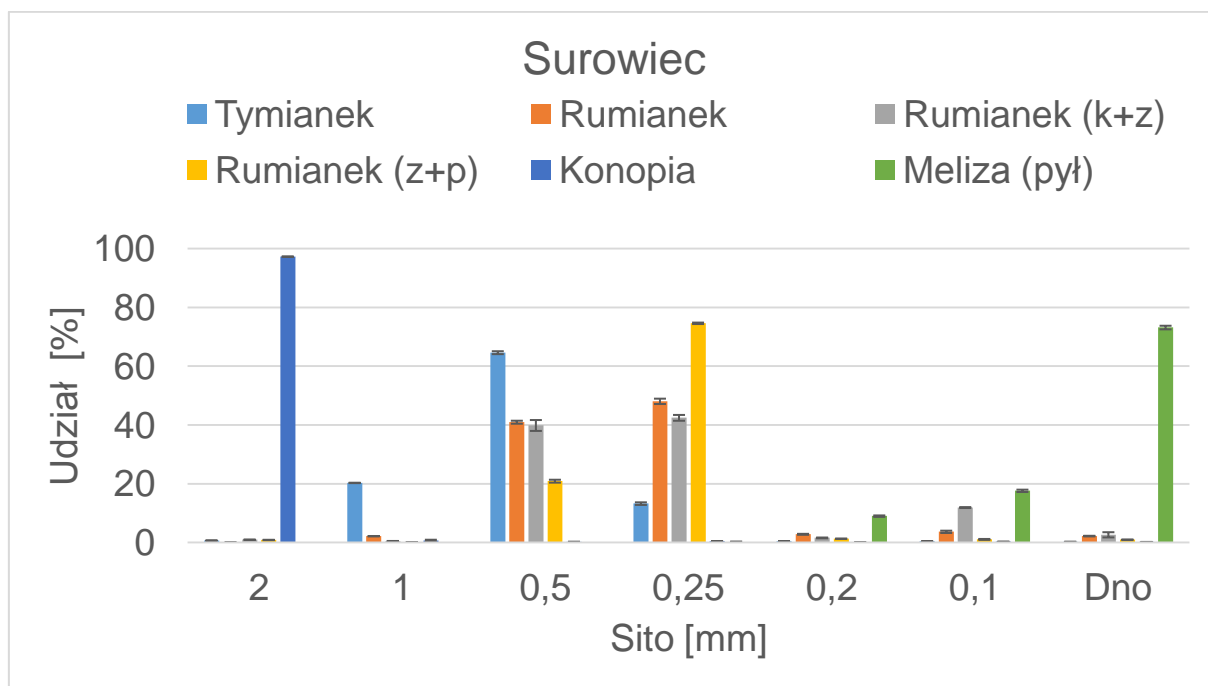
Przy wartościach zbliżonych przyjęto wartość, przy której do realizacji procesu separacji wymagane były niższe nakłady energetyczne (krótszy czas procesu, niższe wartości natężenia przepływu strumienia powietrza separującego oraz niższe obroty głowicy separującej).

## 6. WYNIKI

### 6.1. Wyniki analizy sitowej

Analiza sitowa pozwala nam określić, jak duże cząstki (ich rozkład) poddawane są separacji – czyli także dodatkowo określić surowiec poddany badaniom czy uzyskane pyły. Rozkład granulometryczny wykazał, że surowce po separacji charakteryzują się największą ilością cząstek o wymiarach: tymianek, rumianek, rumianek kwiat + zanieczyszczenia 0,5-1mm, rumianek zanieczyszczenia + piasek 0,25-0,5mm, konopia 2-3,15mm, melisa 0,2-0,25mm. Posiadając jedynie zaprezentowane dane nie możemy jednoznacznie określić wpływu zmiany parametrów procesu separacji na wyniki analizy sitowej badanych surowców.

Powyższa analiza wielkości cząstek surowca poszczególnych badanych surowców pozwoliła zawęzić wymiary sit w separatorze do 200  $\mu\text{m}$  dla surowców: tymianek, rumianek, rumianek (kwiat + zanieczyszczenia), rumianek (zanieczyszczenia + piasek), melisa (pył) oraz 630  $\mu\text{m}$  dla konopi.

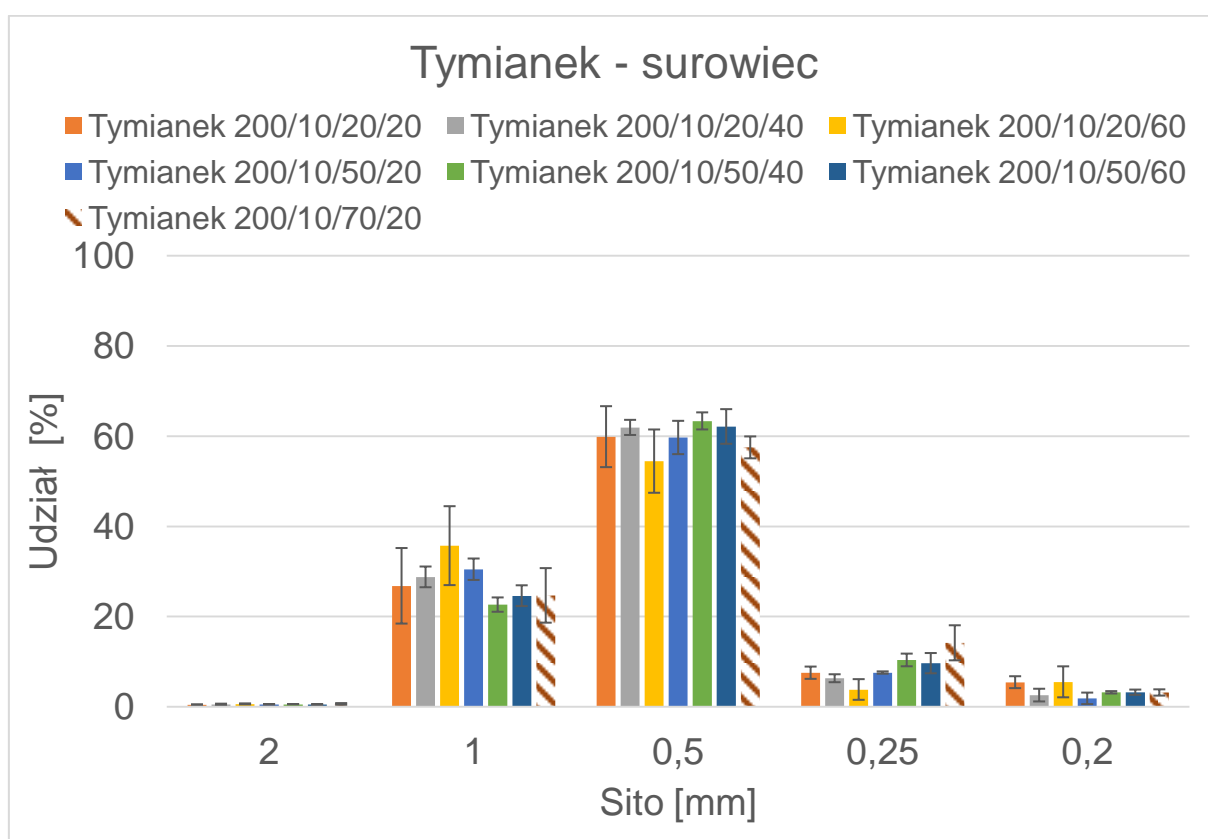


Rys. 3. Udział procentowy na sitach surowca przed procesem separacji

Rozkład granulometryczny badanych ziół przedstawiono na rysunku 3. Z rysunku tego wynika, że poszczególne zioła mają różny rozkład granulometryczny. Analizując wyniki pomiarów konopi można zauważyć, że we frakcji wydzielonej sitem 2mm znajduje się większość surowca, natomiast na sitach dolnych pozostał pokruszony surowiec i lekkie

zanieczyszczenia. Dla rumianku największą frakcją stanowią cząstki o wymiarach w zakresie od 0,25mm do 1mm, a procentowy udział waha się od 82,94% do 95,48%. Cząstki tymianku są nieco większe – w tym przypadku większość surowca wydzielona została na sitach 0,5mm i 1mm o łącznym udziale procentowym 84,97%. W przypadku pyłu z melisy sita od 2mm do 0,5mm pozostały puste, pierwsze cząstki zatrzymały się dopiero na sicie 0,25mm, a większość surowca, ze względu na małe wymiary cząstek, osiadła na dnie.

Wykres odnosi się do materiału bazowego, który będzie poddany procesowi czyszczenia. Kolejne partia wyników odnosi się do surowca już poddanego separacji.

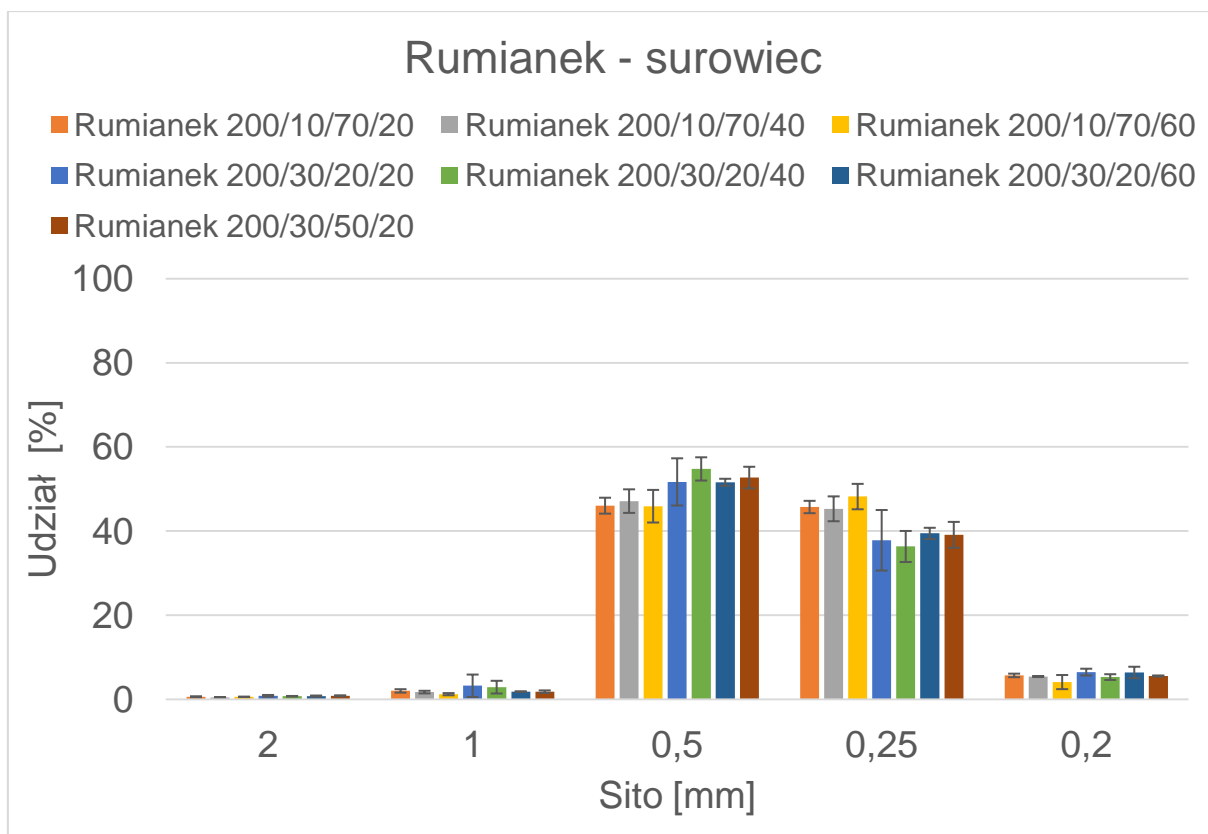


Rys. 4. Udział procentowy na sitach tymianku po separacji

Tymianek (rys. 4) charakteryzuje się największą ilością cząstek o wymiarach w zakresie od 0,5mm do 1mm, które stanowią od 47,11% dla tymianku 200/10/20/60 do 67,37% dla tymianku 200/10/20/20. W przypadku tymianku 200/10/20/60 różnica we frakcjach 0,5-1mm i 1-2mm jest niewielka i wynosi jedynie 2,29%. Przy pozostałych surowcach ilość cząstek o wymiarach 1-2mm wynosi od 21,02% do 33,17%. Kolejne frakcje stanowią cząstki o wymiarach od 0,25mm do 0,5mm (od 1,56% do 16,54%) oraz

0,2-0,25mm (1,06-9,45%). Najmniejszą frakcją stanowią cząstki o wymiarze powyżej 2mm stanowiąc niecały 1% próbek.

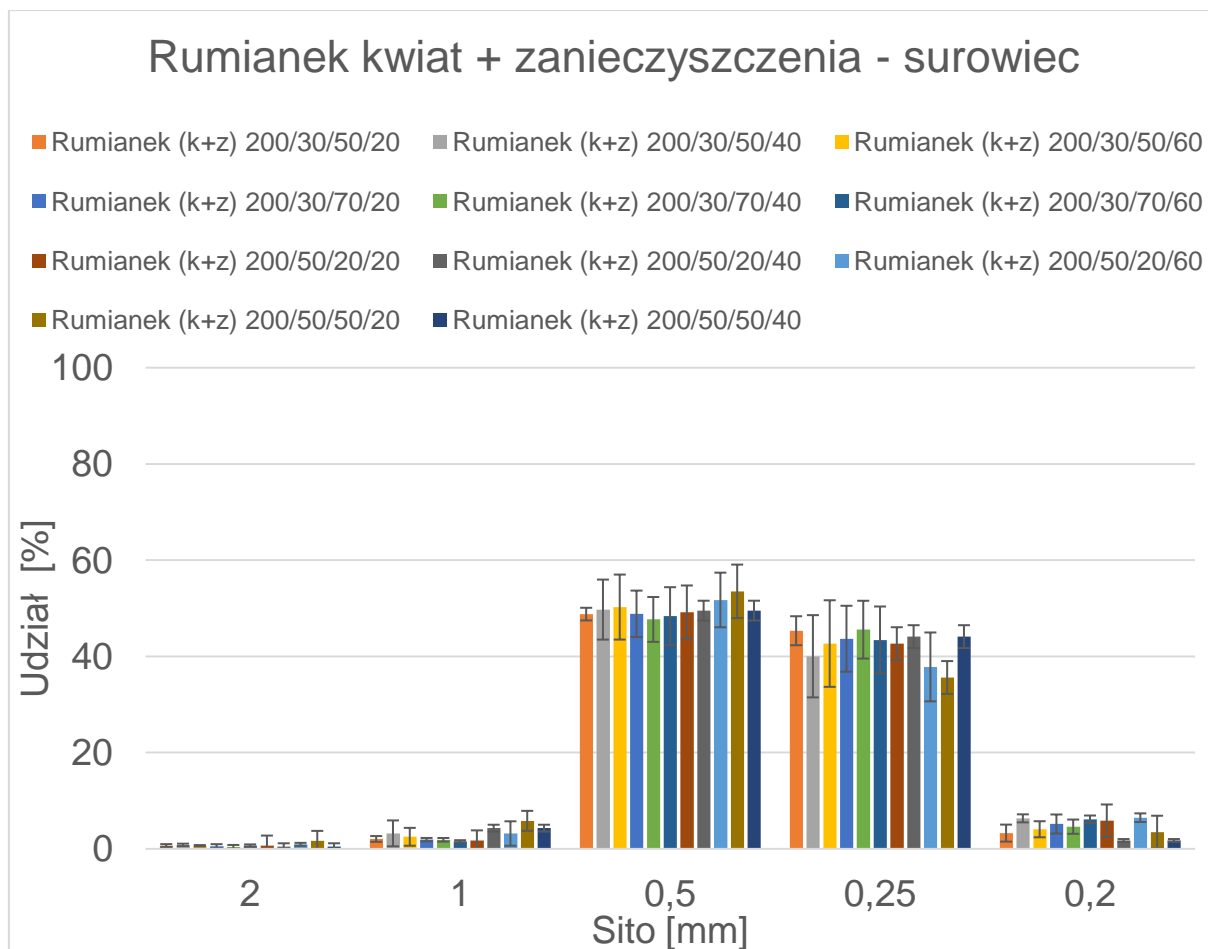
Porównując powyższy wykres z rozkładem procentowym na sitach surowca przed procesem separacji (rysunek 4) możemy stwierdzić, że rozkład granulometryczny tymianku w obu przypadkach jest podobny – najwięcej surowca zostało odseparowane kolejno na sitach 0,5mm, 1mm i 0,25mm.



Rys. 5. Udział procentowy na sitach rumianku po separacji

Podobnie jak w przypadku tymianku, rumianek (rys. 5) 200/30/20/20, 200/30/20/40, 200/30/20/60 oraz 200/30/50/20 charakteryzuje się największą frakcją o wymiarach cząstek w zakresie od 0,5mm do 1mm, choć ilość cząstek o wymiarach 0,25-0,5mm jest niewiele mniejsza. W przypadku rumianku 200/10/70/20, 200/10/70/40 oraz 200/10/70/60 średnie wartości tych frakcji są zbliżone – odpowiednio 46,04% i 45,72%, 47,12% i 45,29% oraz 48,2% i 45,91%. Ilość cząstek o wymiarach 0,2-0,25% waha się od 2,19% dla rumianku 200/10/70/60 do 7,88% dla rumianku 200/30/20/60, a 1-2mm od 0,93% dla rumianku 200/10/70/60 do 6,29% dla rumianku 200/30/20/20. Najmniejszą frakcją stanowią cząstki o wymiarach ponad 2mm – poniżej 1% surowa, z wyjątkiem rumianku 200/30/20/20, gdzie wartość ta wynosi 1,02%.

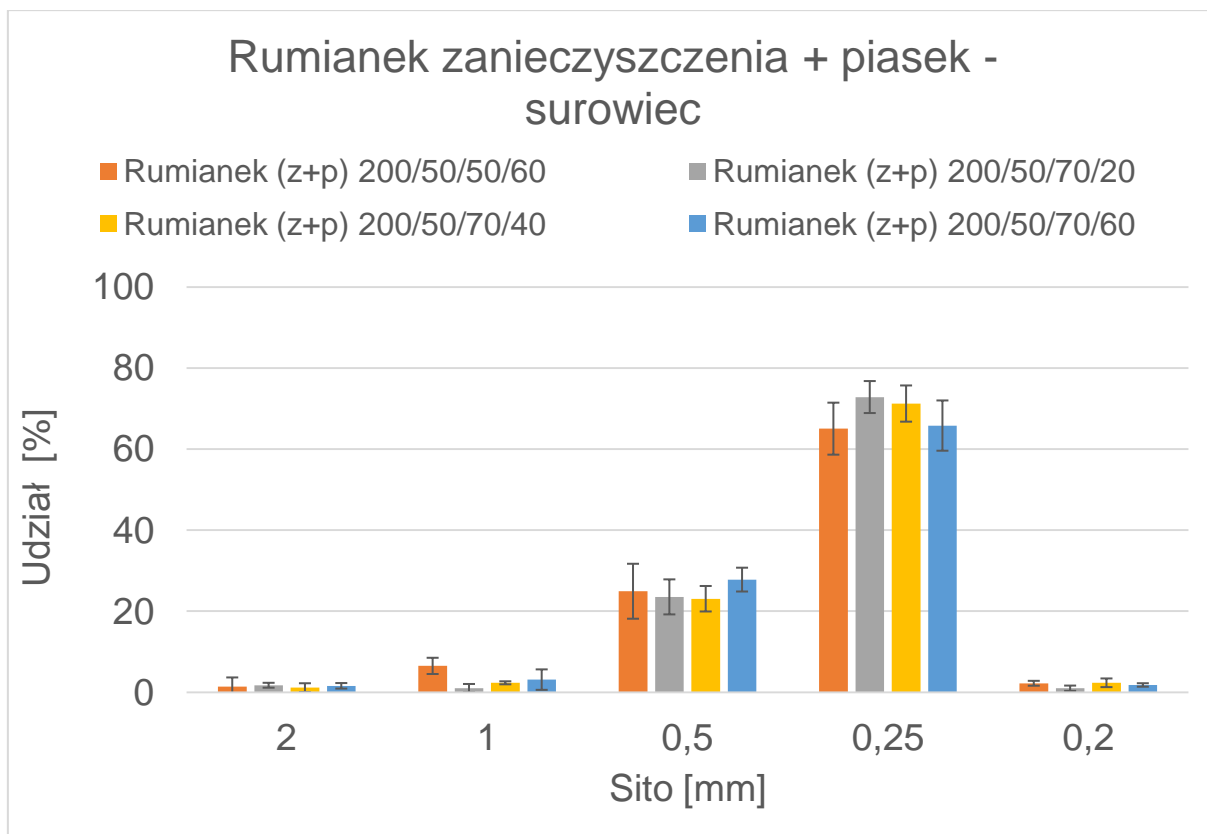
Dla porównania udział procentowy na sitach surowca przed procesem separacji (rysunek 3) jest nieco inny – tam największą frakcję stanowią cząstki o wymiarach 0,25-0,5mm, cząstek zatrzymanych na sicie 0,5mm jest nieco mniej.



Rys. 6. Udział procentowy na sitach rumianku kwiat + zanieczyszczenia po separacji

Rozkład granulometryczny rumianku kwiat + zanieczyszczenia (rys. 6) jest zbliżony do rozkładu samego rumianku. W tym przypadku również największą frakcję stanowią cząstki o wymiarach 0,5mm-1mm oraz 0,25mm-0,5mm. Ich średni łączny udział w całym surowcu wynosi od 89,11% w przypadku rumianku k+z 200/50/50/20 do 96,33% dla rumianku k+z 200/50/70/20. Kolejną frakcję stanowią cząstki 0,2-0,25mm od 1,49% do 7,37%, cząstki 1-2mm od 1,26% do 7,93% i najmniejsza frakcja cząstek powyżej 2mm od 0,02% do 4%.

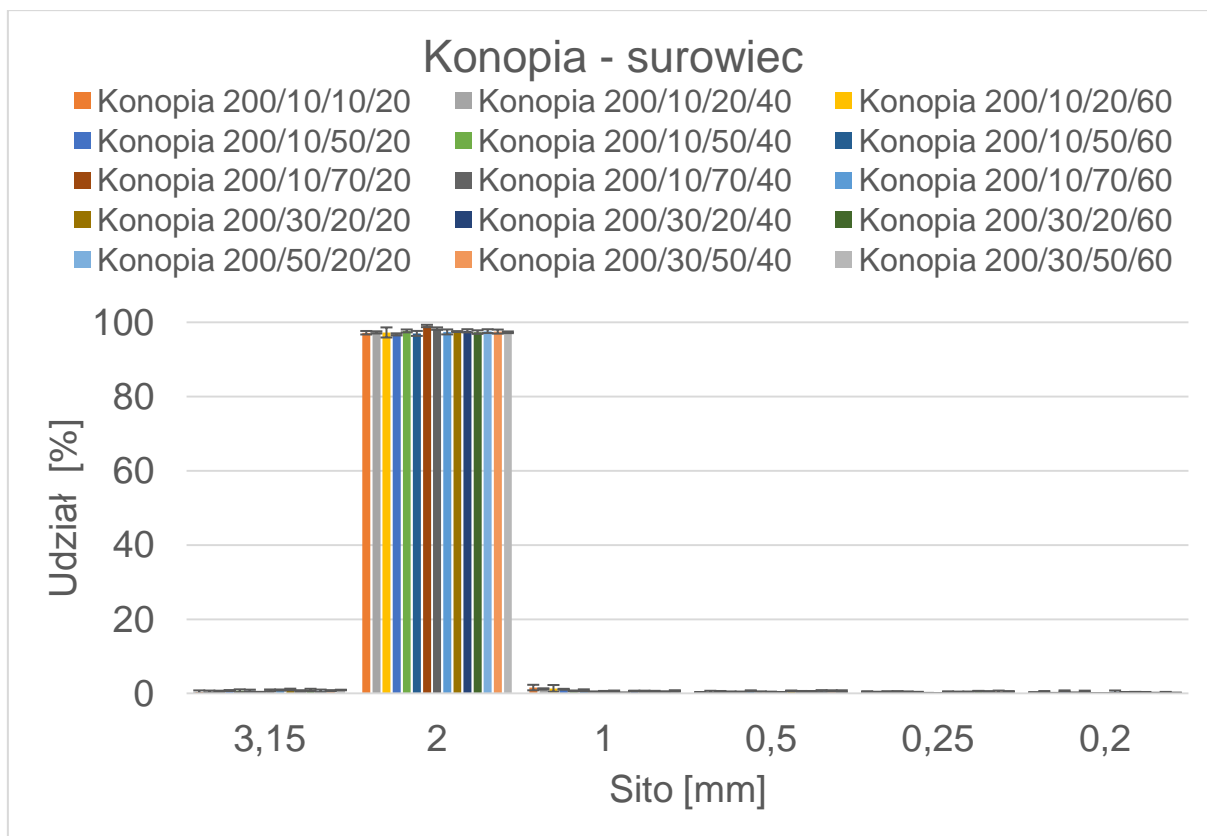
W przypadku rumianku kwiat + zanieczyszczenia, podobnie jak dla rumianku, wyniki na powyższym rysunku różnią się z rozkładem procentowym na sitach surowca przed procesem separacji (rysunek 3) – tutaj cząstek o wymiarach 0,5-1mm jest nieco więcej niż 0,25-0,5mm.



Rys. 7. Udział procentowy na sitach rumianku zanieczyszczenia + piasek po separacji

W przypadku rumianku zanieczyszczenia + piasek (rys. 7) dominującą frakcję stanowią cząstki od 0,25mm do 0,5mm, których udział w całym surowcu waha się do 57,8% dla rumianku z+p 200/50/50/60 do 76,29% dla rumianku z+p 200/50/70/20. O ponad połowę mniej stanowi druga w kolejności frakcja z wielkością cząstek 0,5-1mm – tutaj udział procentowy cząstek waha się od 18,67% do 32,12%, obie wartości dla rumianku z+p 200/50/50/60. Ilość cząstek we frakcji 0,2-0,25mm i ponad 2mm są do siebie zbliżone i wynoszą odpowiednio 0,23-3,49% oraz 0,01-3,98%. Ilość surowca we frakcji 1-2mm jest największa dla rumianku z+p 200/50/50/60 wynosząc średnio 6,48%, natomiast najmniejsza dla rumianku z+p 200/50/70/20 – 0,98%.

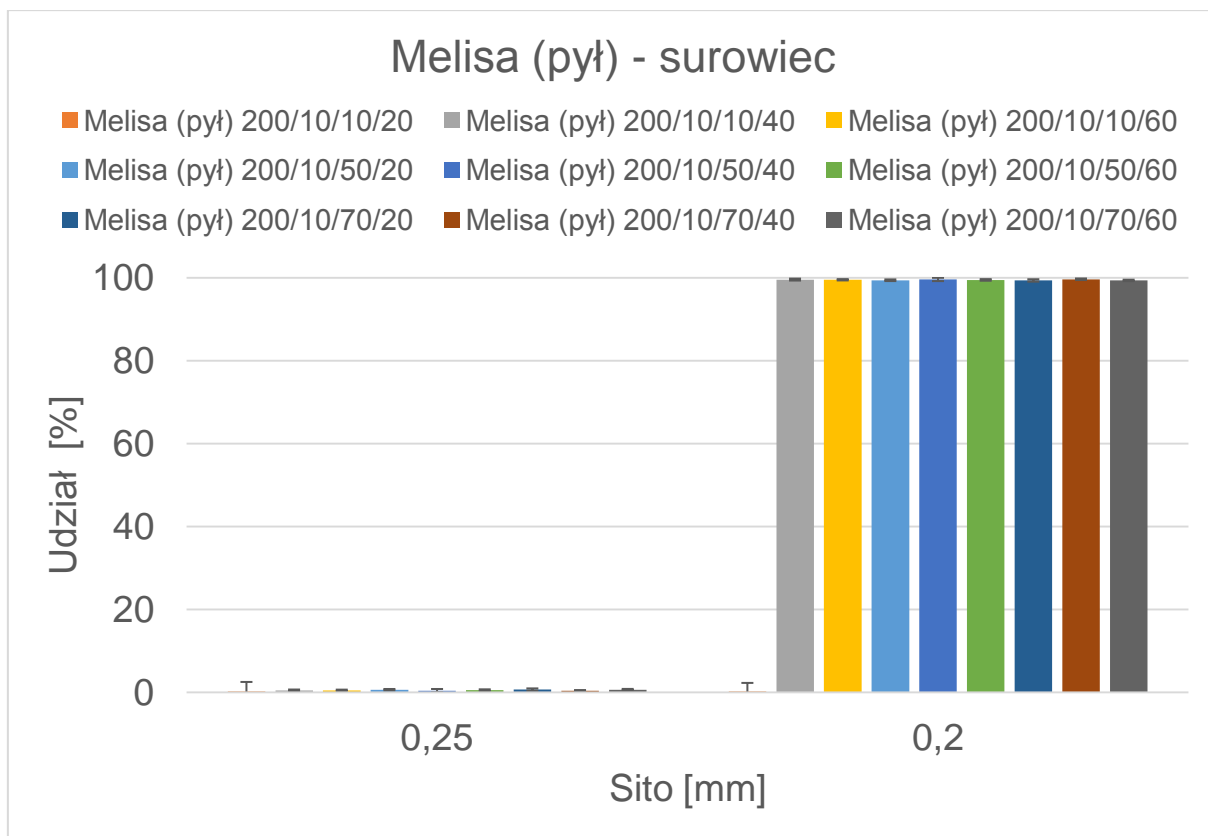
Rumianek zanieczyszczenia + piasek po procesie separacji oraz przed tym procesem (rysunek 3) mają podobny rozkład granulometryczny.



Rys. 8. Udział procentowy na sitach konopi po separacji

W przypadku konopi (rys. 8) zdecydowana większość surowca osiadła na sicie o wymiarach oczek 2mm – udział procentowy tej frakcji stanowi od 95,86% dla konopi 630/10/20/60 aż do 99,24% w przypadku konopi 360/10/70/20. Na reszcie sit pozostał pokruszony surowiec i lekkie zanieczyszczenia.

Porównując powyższy wykres z rozkładem procentowym na sitach surowca przed procesem separacji (rysunek 3) możemy stwierdzić, że rozkład granulometryczny konopi w obu przypadkach jest podobny – najczęściej surowca zostało odseparowane na sicie 2mm.

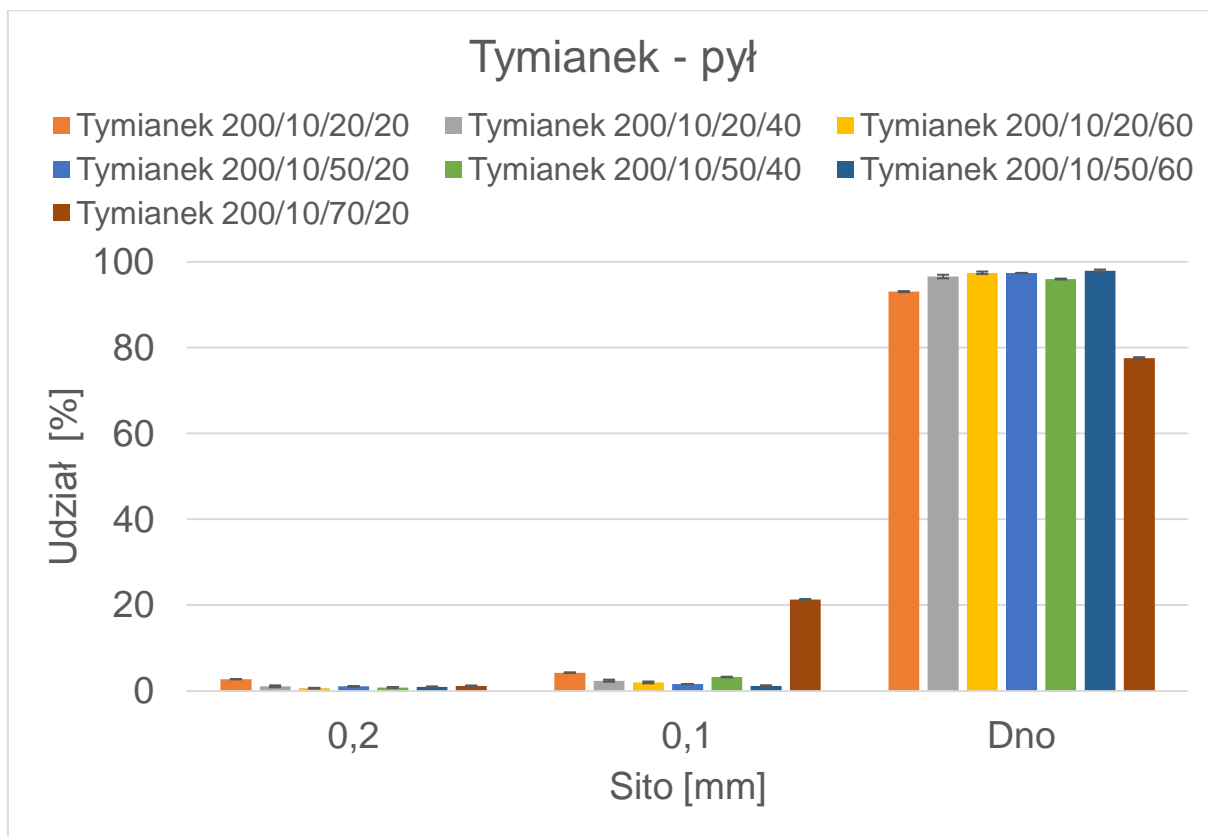


Rys. 9. Udział procentowy na sitach melisy (pył) po separacji

Pył z melisy (rys 9), w przeciwieństwie do konopi, charakteryzuje się najmniejszym ze wszystkich ziół średnim rozmiarem cząstek. Większość tego surowca osiadło na sicie 0,2mm – procentowy udział tej frakcji w przypadku wszystkich próbek wynosi powyżej 99%. Drugą frakcją, stanowiącą niecały 1% surowca stanowią cząstki o rozmiarze od 0,25mm do 0,5mm. Pozostałe sita – 0,5mm, 1mm i 2mm pozostały puste.

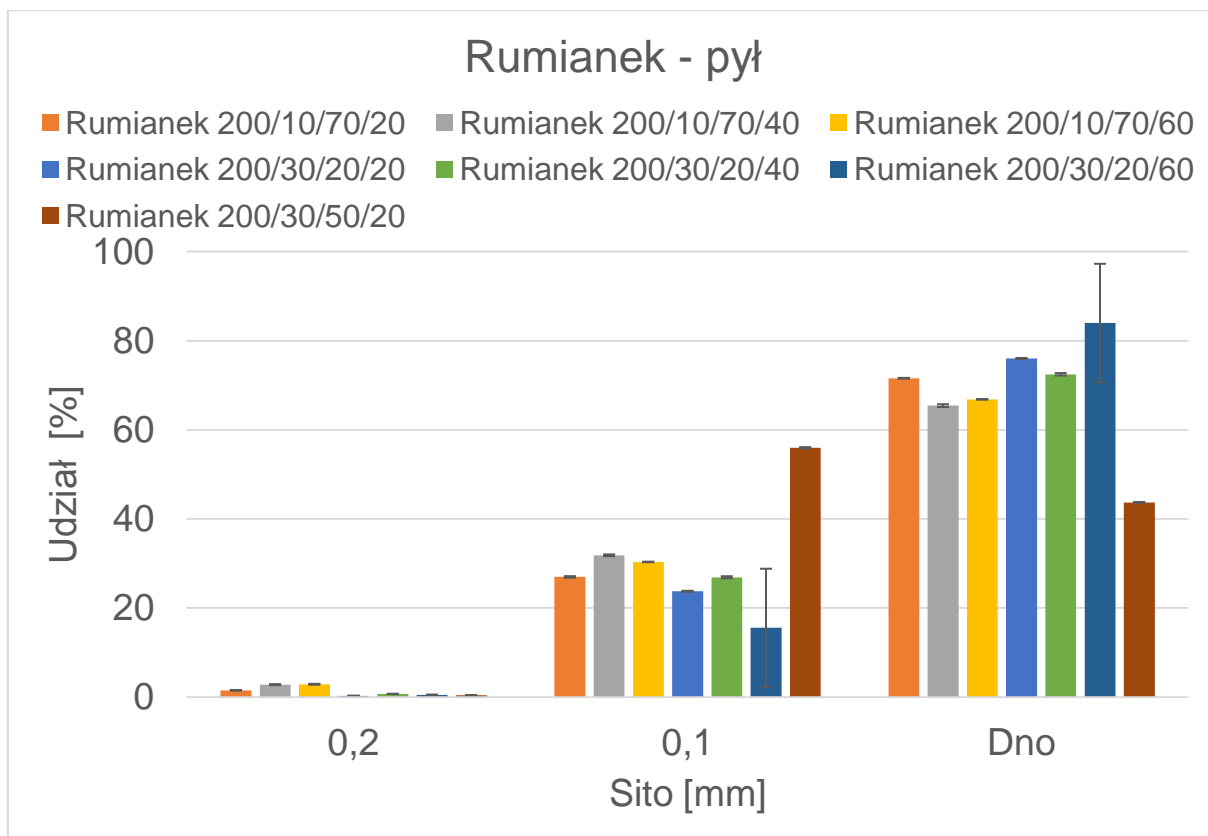
Na podstawie analizy rozkładu procentowego na sitach surowca przed procesem separacji (rysunek 3) możemy stwierdzić, że większość cząstek melisy (pył) posiadało wielkość do 0,1mm. Po procesie separacji zostały one usunięte, w związku z czym największymi cząstkami w surowcu po separacji pozostały te o rozmiarze 0,2-0,25mm.





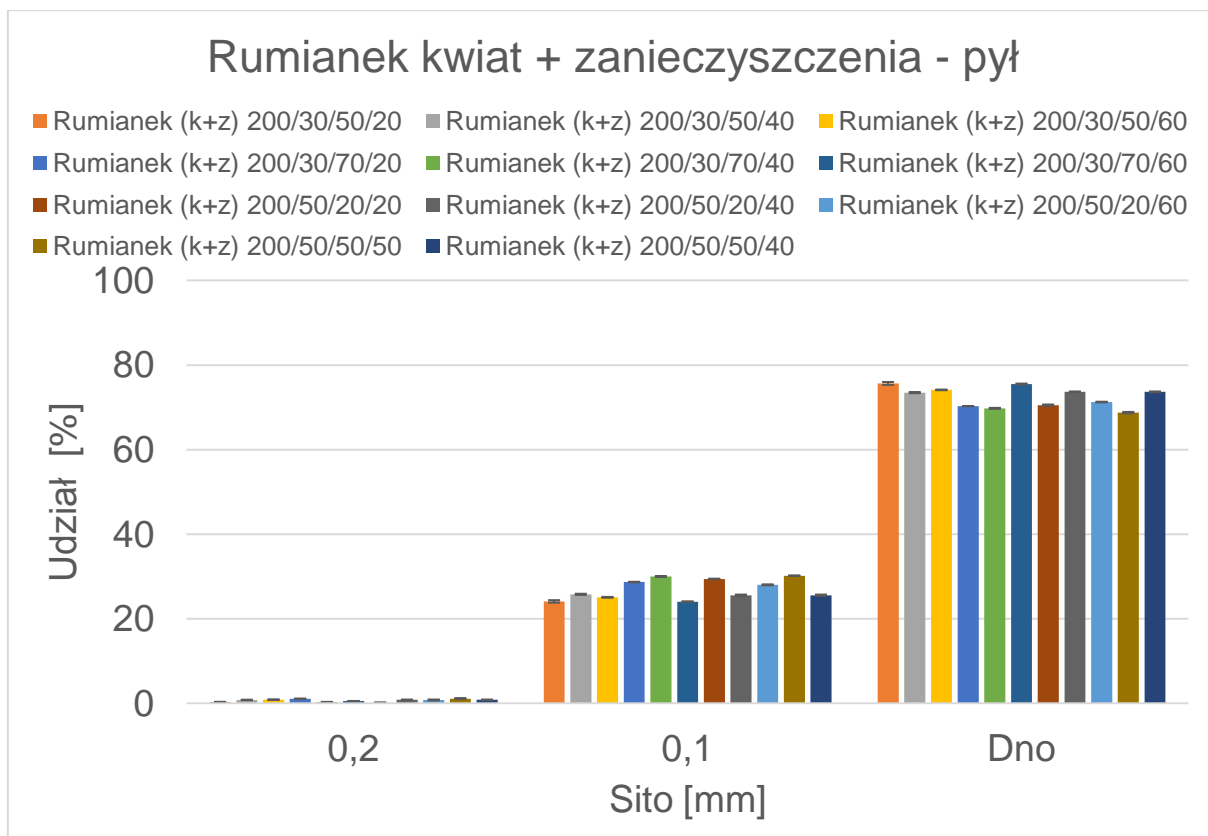
Rys. 10. Udział procentowy na sitach pyłu po separacji tymianku

W procesie separacji zanieczyszczeń od tymianku (rys. 10) uzyskano pył, którego zasadniczą część stanowią cząstki wielkości do 0,1mm– ich ilość stanowi ponad 90% całej próbki i oscyluje w granicach od 92,89% w przypadku tyłu odseparowanego od tymianku przy parametrach separacji 200/10/20/20 do 98,19 dla pyłów uzyskanych z tymianku 200/10/50/60. Na pozostałych sitach osadziła się niewielka ilość materiału – oraz 1,01% do 4,33% na sicie 0,1mm oraz 0,51%-2,78% na sicie 0,2mm. Jedynym wyjątkiem stanowi pył uzyskany przy separacji tymianku przy parametrach procesu 200/10/70/20 – w tym przypadku procentowy udział frakcji cząstek do 0,1mm wyniósł średnio 77,55%, a cząstek w zakresie 0,1mm-0,2mm średnio 21,28%.



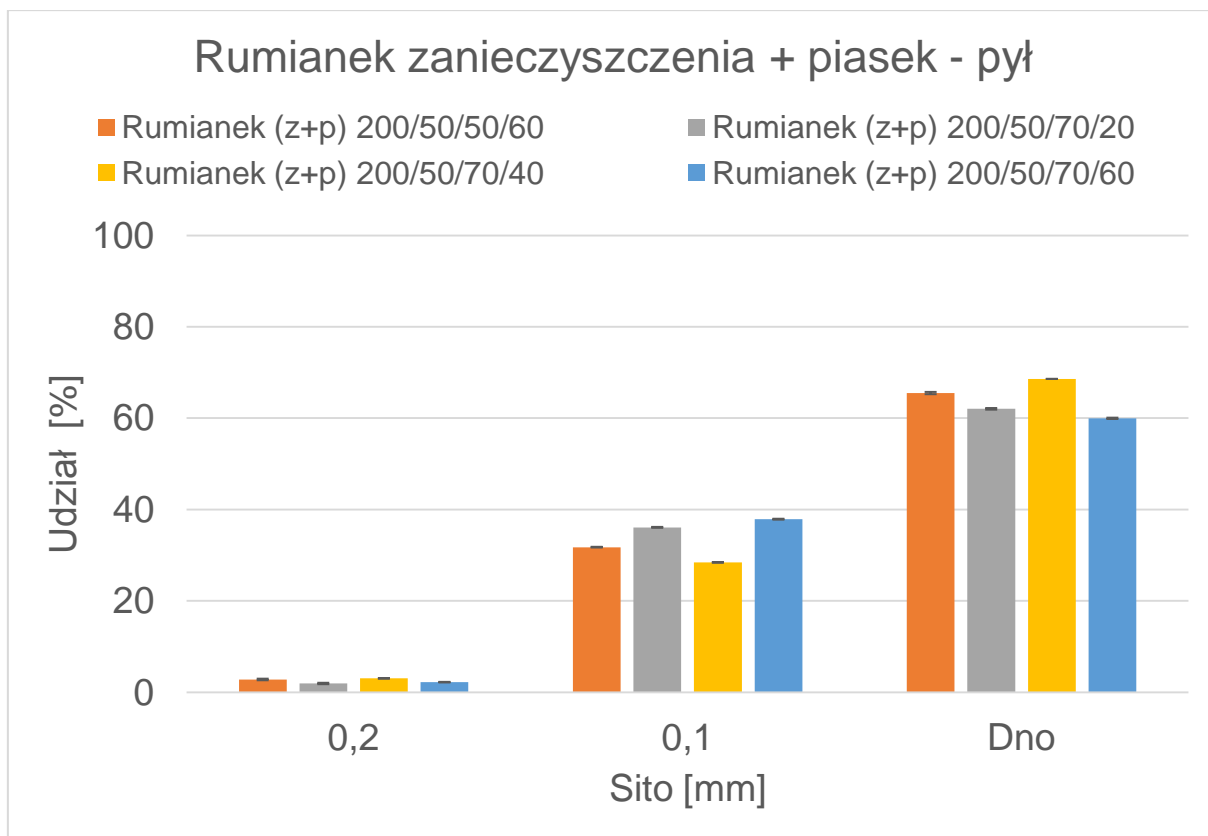
Rys. 11. Udział procentowy na sitach pyłu po separacji rumianku

Również w przypadku pyłu uzyskanego w procesie separacji rumianku (rys. 11) największą frakcją stanowią cząstki do 0,1mm wielkości, stanowiąc średnio od 65,42% do 83,97% całego surowca. Jedynym wyjątkiem jest pył uzyskany przy parametrach procesu separacji rumianku 200/30/50/20 – średnio 55,95% cząstek wielkości 0,1-0,2mm oraz 43,68% cząstek do 0,1mm. Frakcja cząstek wielkości od 0,2mm wzwyż stanowi niewielki procent całej przesiewanej próbki – od 0,32% przy pyłe z rumianku 200/30/50/20 do 2,88% dla pyłu z rumianku 200/10/70/40.



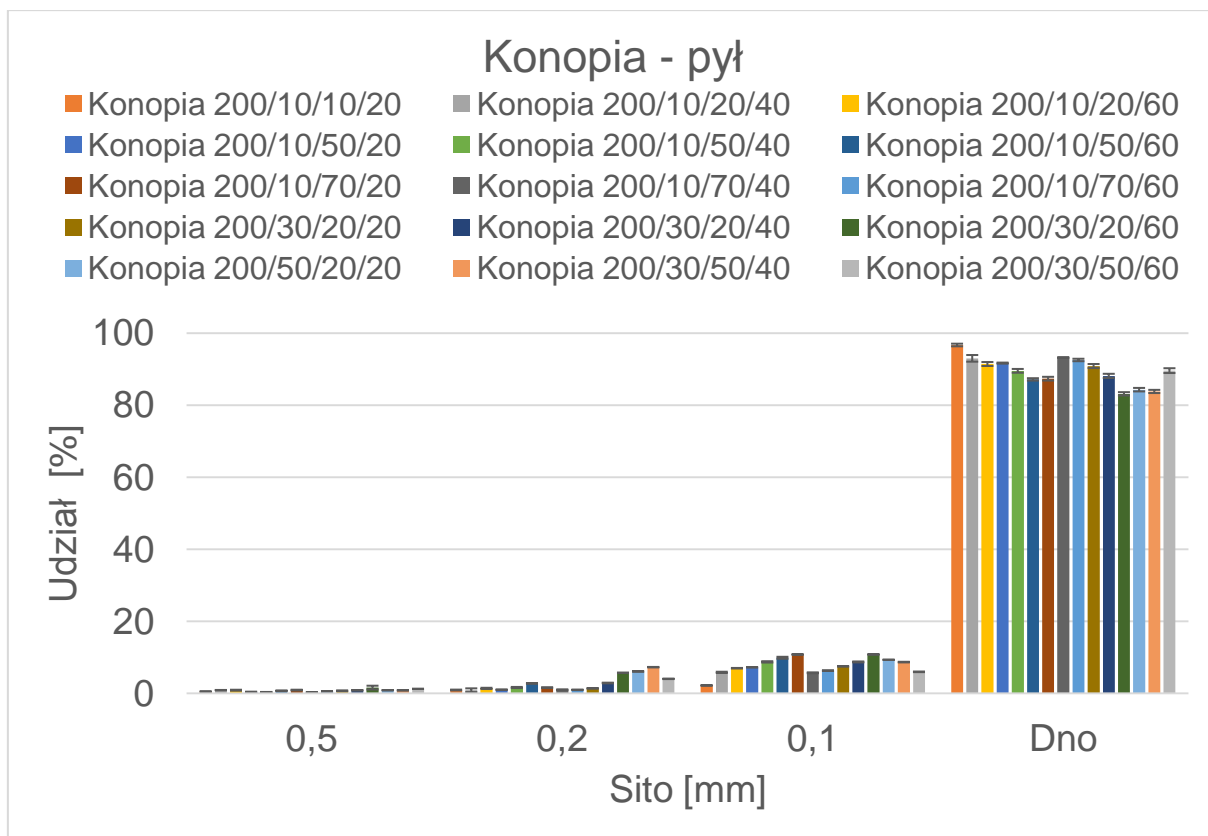
Rys. 12. Udział procentowy na sitach pyłu po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia

W przypadku rozkładu granulometrycznego rumianku kwiat + zanieczyszczenia (rys. 12) wyniki badań wszystkich próbek są do siebie zbliżone – na dnie osiadło od 68,59% dla pyłu przy parametrach procesu separacji rumianku k+z 200/50/50/20 do 76,02% dla pyłu przy separacji rumianku 200/30/50/20. Kolejną frakcją stanowią cząstki o wymiarach od 0,1mm do 0,2mm, których procentowy udział w całej próbce wynosi od 23,74% do 30,22%. Frakcja cząstek powyżej 0,2mm stanowi niewielki procent całych próbek – średnio 0,09-1,1%.



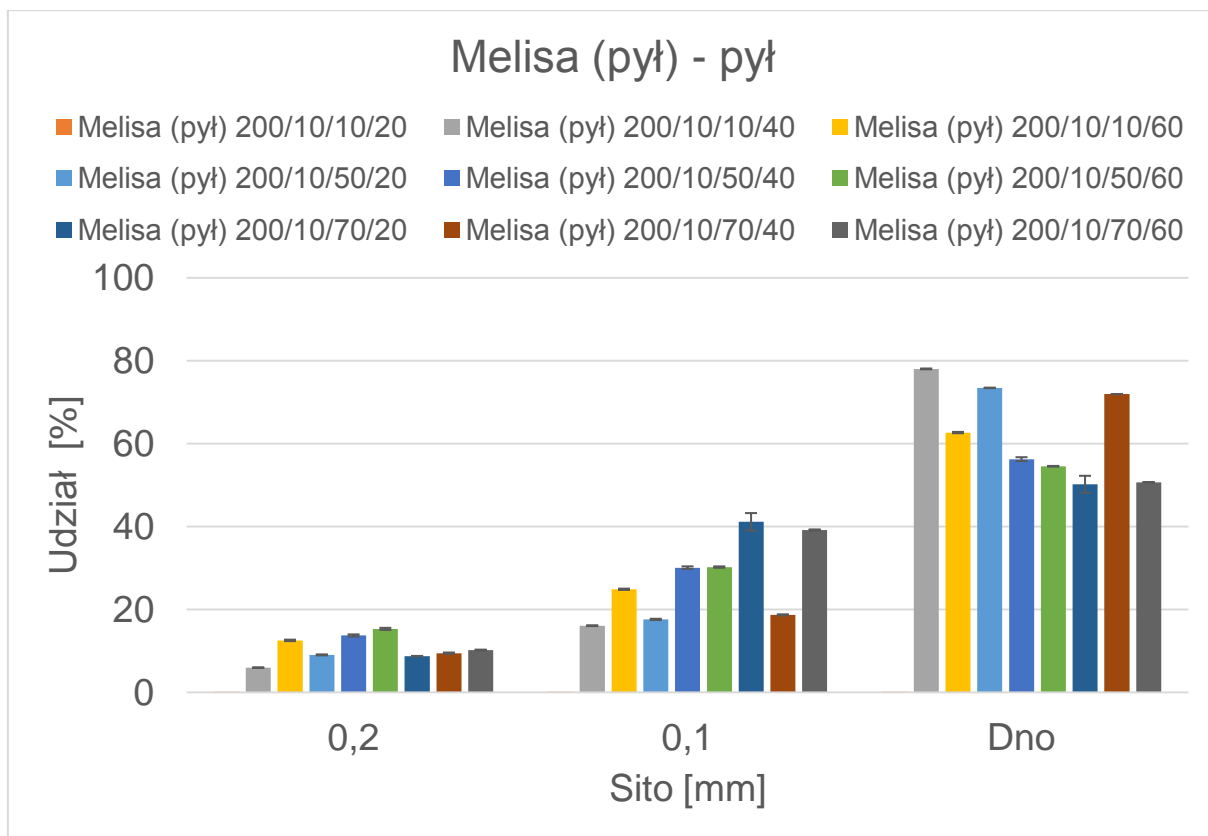
Rys. 13. Udział procentowy na sitach pyłu po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek

Procentowy rozkład granulometryczny pyłu po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek (rys. 13) zbliżony jest do analizy sitowej rumianku kwiat + zanieczyszczenia. Tutaj również największą, stanowiącą średnio od 59,94% (w przypadku pyłu uzyskanego w procesie separacji rumianku z+p 200/50/70/60) do 68,58% (pył uzyskany z rumianku z+p 200/50/70/40) jest frakcja cząstek wielkości do 0,1mm. Kolejną frakcję stanowią cząstki 0,1-0,2mm – od 28,41% do 37,87% całego surowca. Średni udział procentowy cząstek powyżej 0,2mm mieści się w przedziale 1,9-3,02%.



Rys. 14. Udział procentowy na sitach pyłu po separacji konopi

Analizę sitową pyłu uzyskanego po procesie separacji konopi (rys. 14) przeprowadzono na 3 sitach – 0,5mm, 0,2mm, 0,1mm oraz dno. Pomimo tego z danych przedstawionych na wykresie widać, że zdecydowana większość surowca osiadła na dnie – frakcja ta stanowi od 82,59% dla pyłu uzyskanego w procesie separacji konopi przy parametrach procesu 630/30/20/60 do 96,79% dla pyłu z konopi 630/10/20/20. Kolejną frakcję stanowią cząstki o wielkości 0,1mm-0,2mm od 2,13% do 10,92%, cząstki 0,2mm-0,5mm od 0,28% do 7,35%, natomiast cząstki powyżej 0,5mm mieszczą się w przedziale 0,23-1,95%.



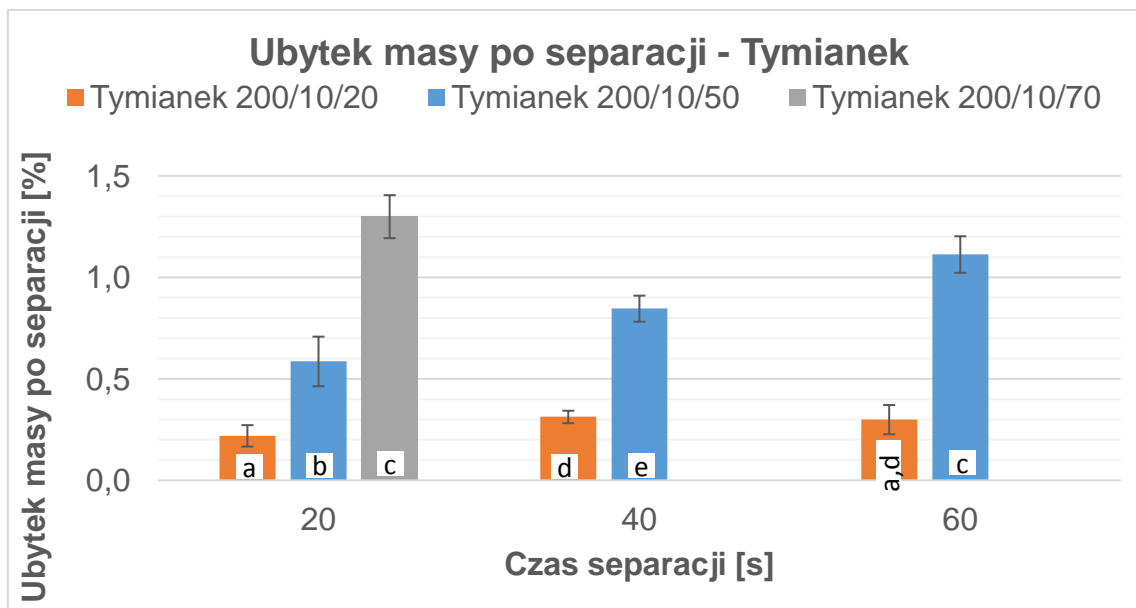
Rys. 15. Udział procentowy na sitach pyłu po separacji melisy (pył)

W przeciwieństwie do pozostałych surowców pył uzyskany z separacji pyłu z melisy (rys, 15) charakteryzuje się nieco większą ilością cząstek powyżej 0,2mm – procentowy udział tej frakcji wynosi od 5,72% do nawet 15,41% całego badanego surowca. Frakcja cząstek od 0,1mm do 0,2mm mieści się w zakresie od 15,87% w przypadku pyłu uzyskanego z separacji przy parametrach procesu 200/10/20/40 do 43,55% dla pyłu z melisy 200/10/70/20. Przy tych parametrach procesu uzyskano także najwyższy i najniższy procentowy udział frakcji cząstek do 0,1mm wielkości – analogicznie 78,07% oraz 47,81%.

## 6.2. Wyniki pomiaru ubytku masy

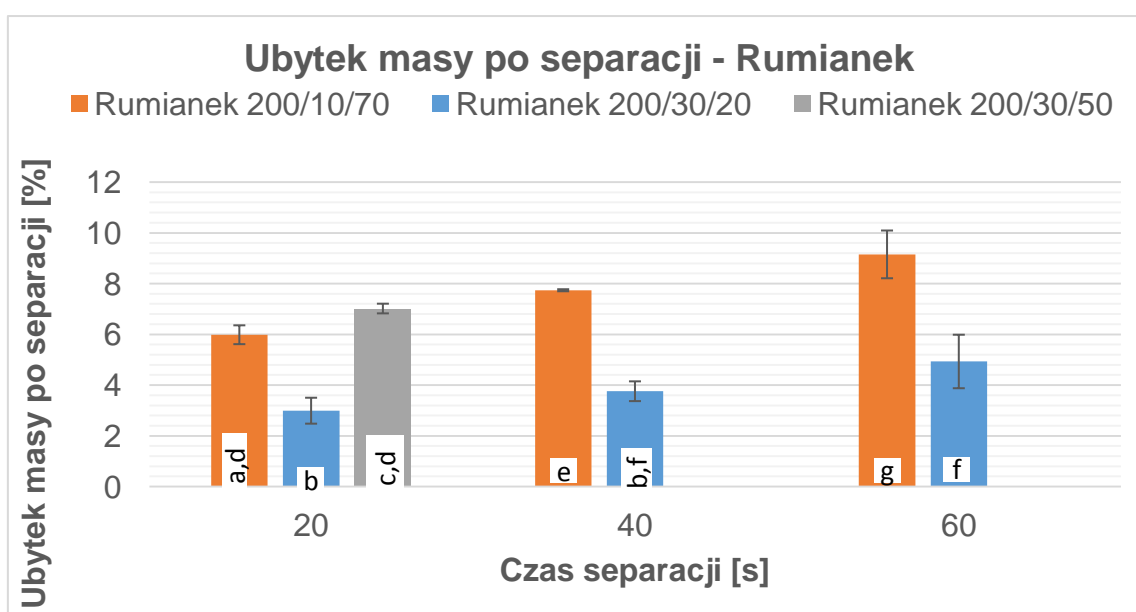
Wyniki pomiaru ubytku masy określają ile surowca ubywa po procesie separacji, w tym zarówno surowca podstawowego, jak i pyłów, które chcemy usunąć (głównie pyły mineralne, charakteryzujące się niską zawartością polifenoli i aktywnością antyoksydacyjną. Ubytek masy po separacji dla badanych surowców zwiększa się wraz ze zwiększeniem parametrów procesu (prędkości obrotowej głowicy, natężeniem przepływu strumienia powietrza i czasu procesu separacji), jednak w przypadku większości badanych

surowców różnica ta, mimo że jest widoczna na wykresach, statystycznie nie jest istotna na poziomie  $\alpha=0,05$  - wyjątek stanowi rumianek oraz rumianek kwiat + zanieczyszczenia.



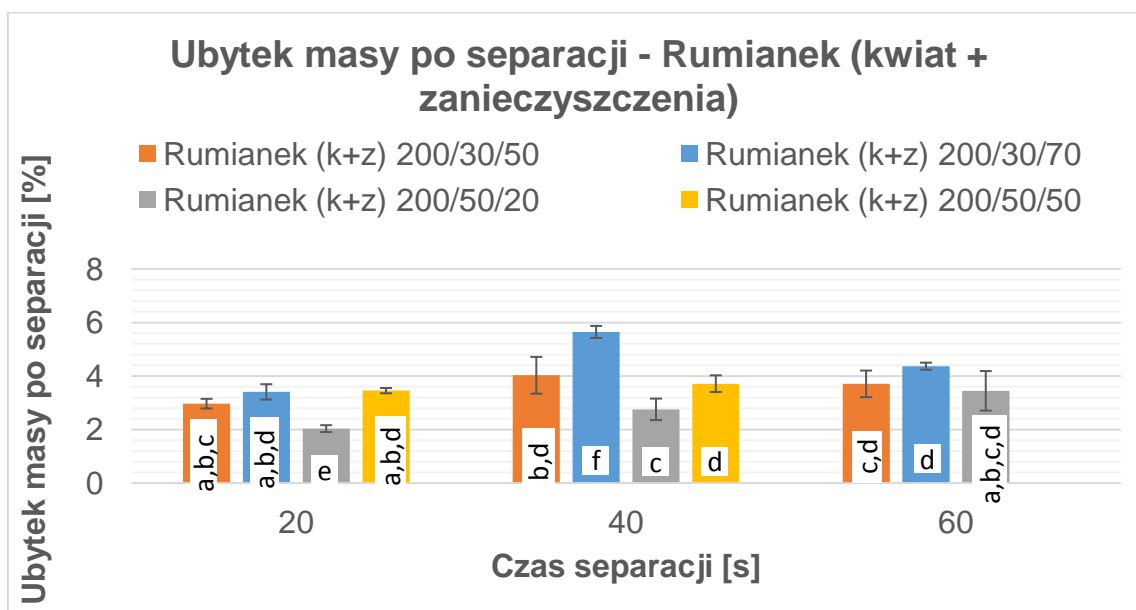
Rys. 16. Procentowy ubytek masy tymianku po separacji

Analizując wykres (rys 16) możemy zauważyć, że różnica pomiędzy tymiankiem 200/10/20 dla 20s i 60s oraz dla 40s i 60s, mimo że jest widoczna to statystycznie nie jest istotna na poziomie  $\alpha=0,05$ . Podobna sytuacja występuje w przypadku tymianku 200/10/70/20 oraz 200/10/50/60 – choć zwiększone natężenie przepływu przy niższym czasie charakteryzowało się większym ubytkiem masy to różnice nie są statystycznie istotne.



Rys. 17. Procentowy ubytek masy rumianku po separacji

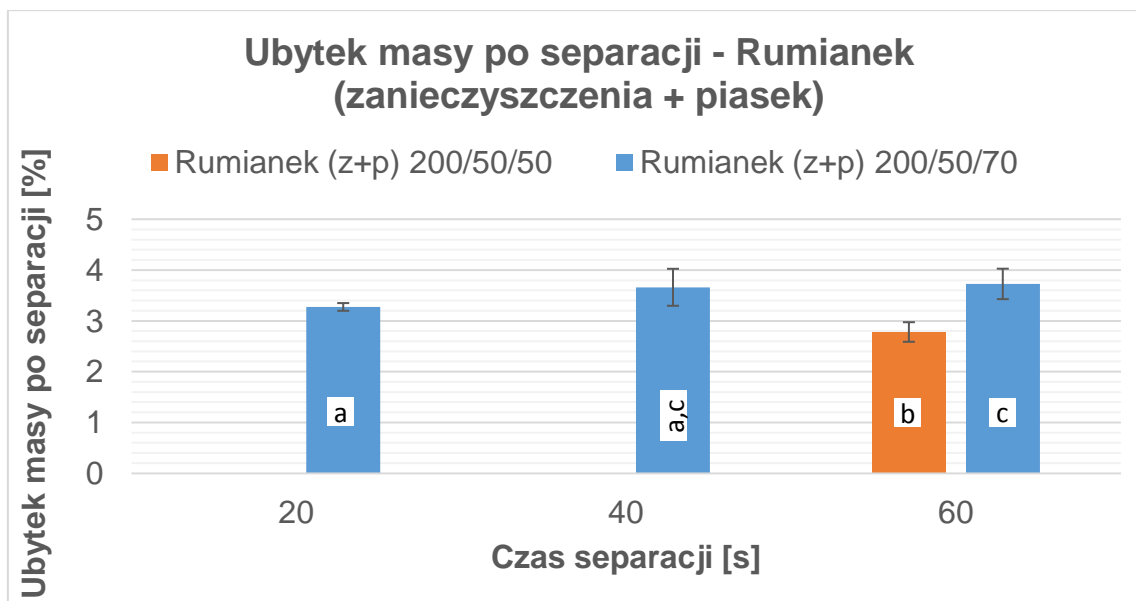
W przypadku rumianku analizując wykres (rys. 17) możemy zauważyć, że dla surowca separowanego przy parametrach procesu 200/10/70 procent ubytku masy po separacji wzrasta wraz z wydłużającym się czasem separacji – różne oznaczenia literowe świadczą o tym, że wyniki różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Mniejszy ubytek masy w przypadku rumianku 200/30/20 w porównaniu do rumianku 200/10/70, pomimo zwiększenia prędkości obrotowej głowicy z 10 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup> do 30 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup>, spowodowany jest zmniejszeniem natężenia obrotowego głowicy z 70 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup> do 20 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>. Jednak i tutaj wraz z wydłużeniem czasu separacji wzrasta również procentowy ubytek masy.



Rys. 18. Procentowy ubytek masy rumianku kwiat + zanieczyszczenia po separacji

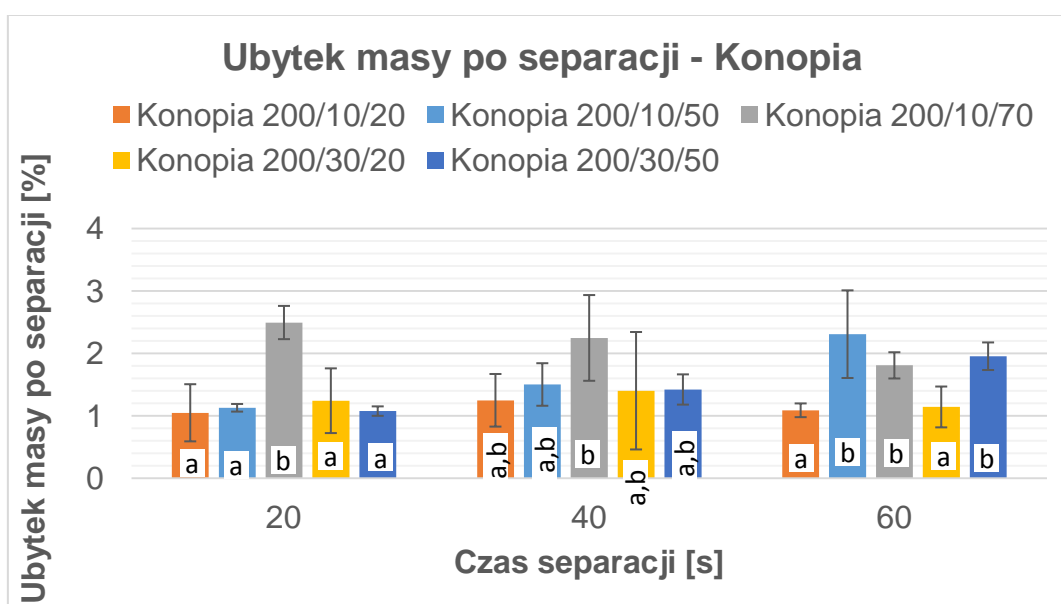
Dla rumianku kwiat + zanieczyszczenia (rys. 18) zwiększenie czasu separacji nie wpływa jednoznacznie na zwiększenie procentowego ubytku masy – analizując wykres możemy zauważyć, że w przypadku rumianku k+z 200/30/70 największy procentowy ubytek masy uzyskano przy czasie separacji 40s, który różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  od innych wyników. Dla rumianku k+z 200/30/50 największa wartość tego parametru występuje przy czasie separacji 40s, jednak ubytek masy przy pozostałych czasach separacji nie różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Przy rumianku k+z 200/50/20 w czasie 40s i 60s oraz 200/50/50 dla 20s i 40s zwiększenie czasu separacji zwiększa również procentowy ubytek masy po separacji, jednak te wartości również nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .





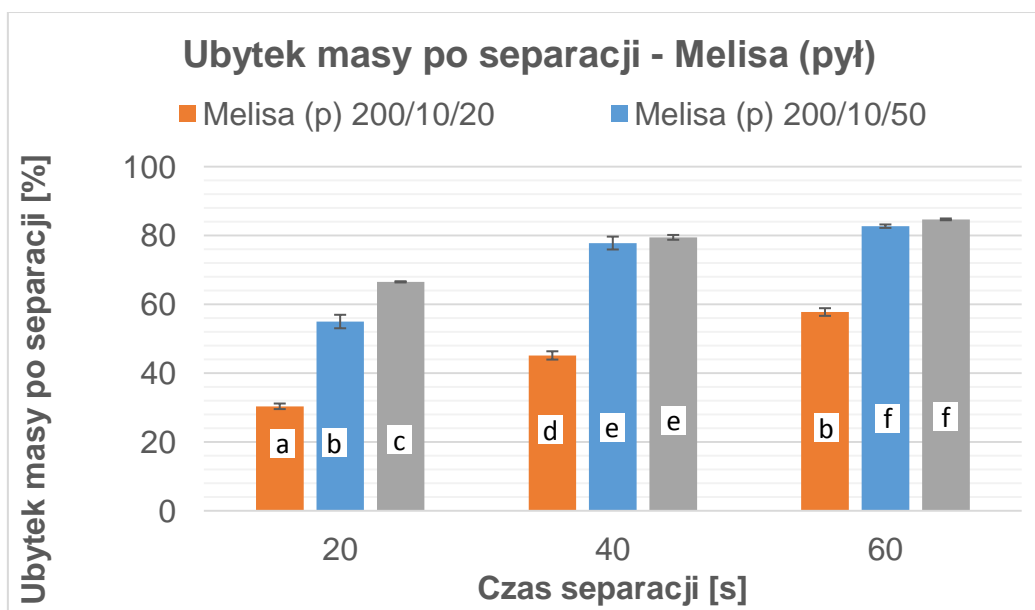
Rys. 19. Procentowy ubytek masy rumianku zanieczyszczenia + piasek po separacji

W przeciwieństwie do rumianku i rumianku kwiat + zanieczyszczenia (rys. 19) przy rumianku zanieczyszczenia + piasek 200/50/70, choć wraz ze zwiększeniem czasu separacji procentowy ubytek również się zwiększa, to wartości te są bardzo zbliżone – 3,27% przy czasie separacji 20s, 3,66% przy 40s oraz 3,73% przy 60s – oznaczenia literowe wskazują na to, że separacja przy 20s i 40s oraz 40s i 60s. Nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Ze względu na zwiększenie natężenia obrotowego głowicy z  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  do  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  procentowy ubytek separacji dla rumianku z+p 200/50/50 jest mniejszy od rumianku z+p 200/50/70 przy czasie separacji 60s średnio o 0,95% i różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



Rys. 20. Procentowy ubytek masy konopi po separacji

Procentowy ubytek masy po separacji wraz z wydłużeniem czasu separacji zwiększa się w przypadku konopi separowanej przy parametrach procesu 200/10/50 oraz 200/30/50, jednak wzrost ten między 20s i 40s oraz 40s i 60s nie różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Dla konopi 200/10/20 oraz 200/30/20 największą wartość odnotowano przy czasie separacji 40s, natomiast przy konopi 200/10/70 największy średni procentowy ubytek masy po separacji uzyskano przy 20s czasu separacji, jednak również w tym przypadku nie są to różnice statystycznie istotne na poziomie  $\alpha=0,05$  (rys 20).



Rys. 21. Procentowy ubytek masy melisy (pył) po separacji

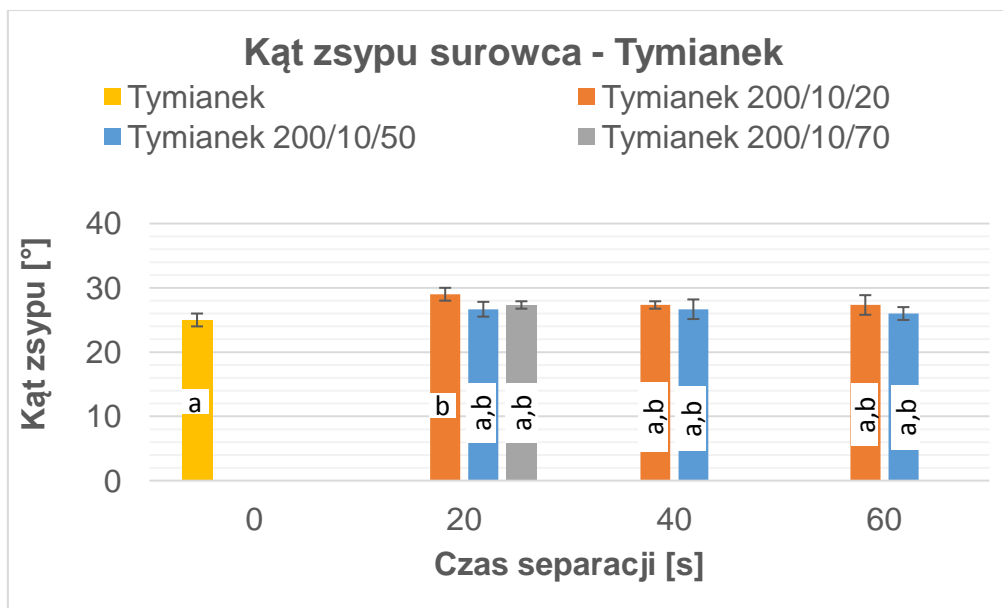
Podobnie jak w przypadku tymianku również przy pyle z melisy (rys. 21) zwiększenie czasu separacji zwiększa również procentowy ubytek masy po separacji. Jednak w tym przypadku dla melisy (pył) 200/10/50 i 200/10/70 różnica tego ubytku przy 40s oraz 60s jest niewielka i nie różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Znacznie większą różnicę możemy odnotować w przypadku melisy (pył) 200/10/20 – tutaj wydłużenie czasu separacji z 40s do 60s. zwiększa procentowy ubytek masy po separacji średnio o 12% - wartości te różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .

W przypadku melisy mamy do czynienia z surowcem w zasadzie odpadowym - jest to surowiec który uzyskano po odseparowaniu w przemyśle na sitach (frakcja drobna o wymiarze poniżej 0,25 mm).

### 6.3. Wyniki pomiaru kąta zsypania

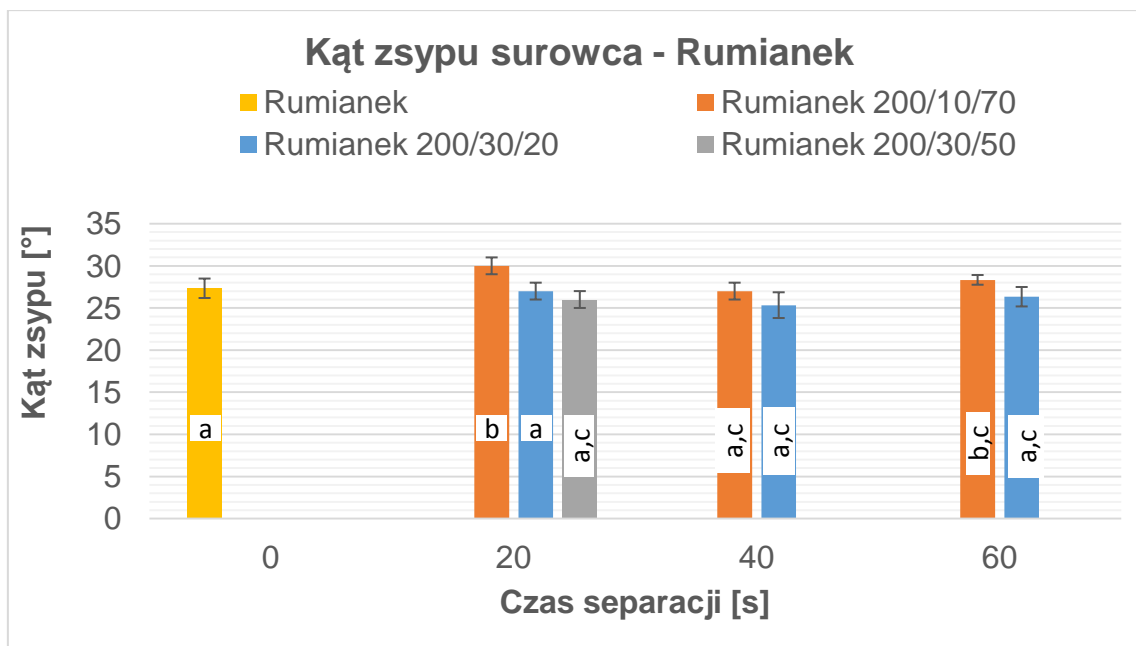
W procesach transportu, składowania i przetwarzania ziół istotne znaczenie ma określanie sypaności, która zależy od właściwości głównego składnika mieszaniny oraz

ilości i rodzaju zanieczyszczeń. Cecha ta ma znaczenie w obliczeniach wielkości magazynów oraz przy przemieszczaniu ziarna w rurach spustowych. Sypkość wyraża się kątem zsypania i kątem usypania. W przypadku badanych surowców zwiększenie parametrów procesów separacji nie wpływa na zmianę wartości kąta zsypania statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Natomiast kąt usypania surowca przed separacją i po procesie separacji różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ , jednak samo zwiększenie parametrów procesu nie powoduje istotnych różnic w wynikach.



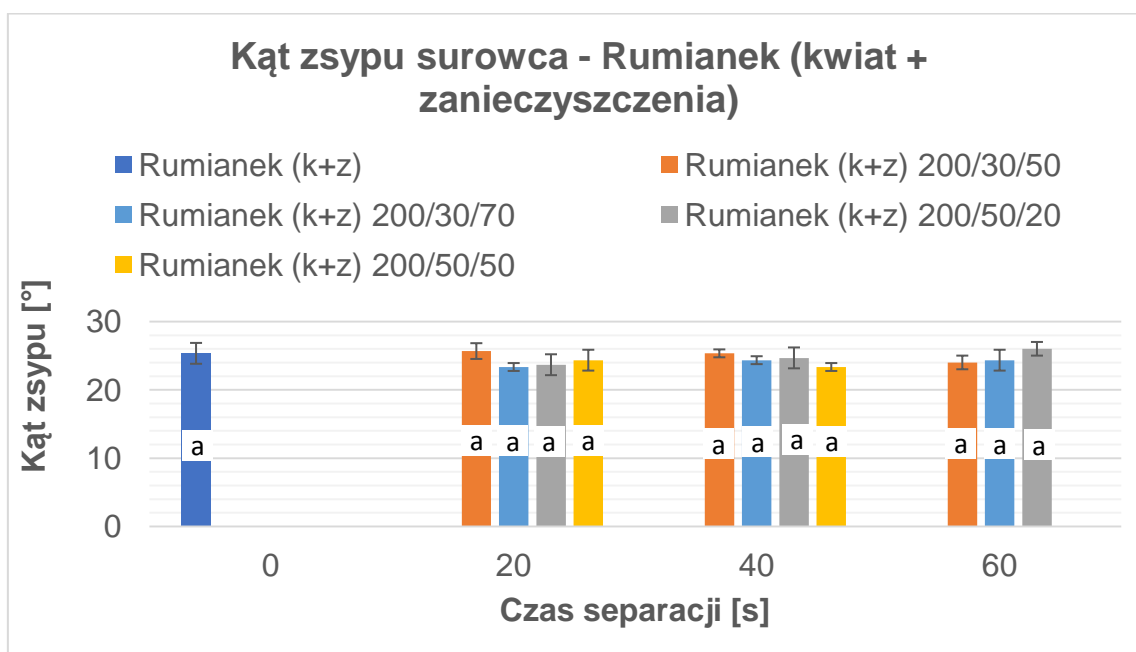
Rys. 22. Kąt zsypania tymianku przed i po separacji

Wartości kąta zsypania dla materiałów poddanych procesowi separacji (rys. 22) zawierają się w przedziale od 26° (dla tymianku odseparowanego przy parametrach procesu 200/10/50/60) do 29° (dla tymianku 200/10/20/20). Kąt zsypania surowca niepoddanego procesowi separacji jest niewiele mniejszy i wynosi 25°. Wartość ta nie różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  od pozostałych wartości, z wyjątkiem kąta zsypania tymianku 200/10/20/20, który z kolei nie różni się statystycznie na poziomie  $\alpha=0,05$  od pozostałych wyników uzyskanych z surowca poddanego procesowi separacji.



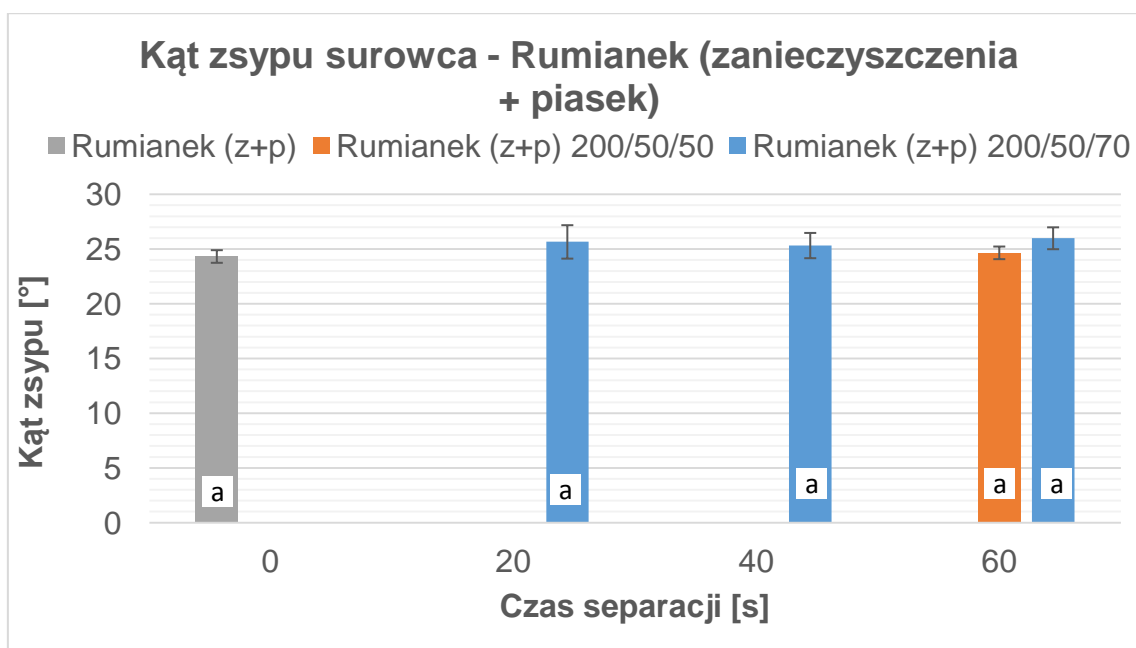
Rys. 23. Kąt zsypania rumianku przed i po separacji

Kąt zsypania rumianku (rys. 23) przed procesem separacji wynosi  $27,3^\circ$ , podczas gdy wartość tego parametru dla surowca po procesie separacji wynosi od  $24^\circ$  dla pyłu uzyskanego z rumianku 200/30/20/40 do  $31^\circ$  przy 200/10/70/20. Z danych zobrazowanych na wykresie wynika, że w ramach jednego parametru czasu separacji zwiększenie prędkości obrotowej głowicy z  $10 \text{ obr.} \cdot \text{min}^{-1}$  do  $30 \text{ obr.} \cdot \text{min}^{-1}$  a także natężenia przepływu strumienia powietrza z  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  do  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  wpływa na obniżenie się wartości kąta zsypania, jednak wartości te nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



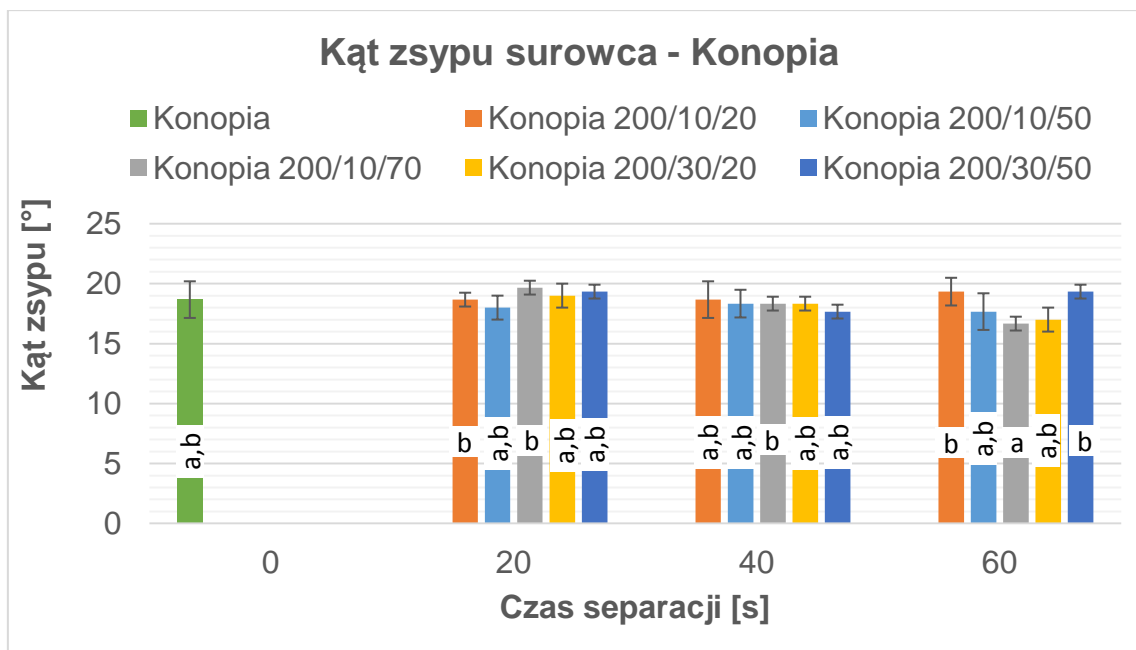
Rys. 24. Kąt zsypania rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji

Kąt zsypania surowca rumianek kwiat + zanieczyszczenia (rys. 24) jest nieco niższy niż w przypadku samego rumianku i wynosi  $24,3^\circ$ . Wartość tego parametru dla surowca poddanego procesowi separacji waha się od  $23^\circ$  do  $27^\circ$ . Analizując wykres możemy stwierdzić, że w przypadku rumianku k+z odseparowanego przy parametrach procesu 200/30/50 wraz ze zwiększeniem czasu separacji kąt zsypania maleje, podczas gdy dla rumianku k+z 200/50/20 – rośnie, jednak wartości wszystkich badanych surowców, zarówno tego przed jak i po procesie separacji, nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



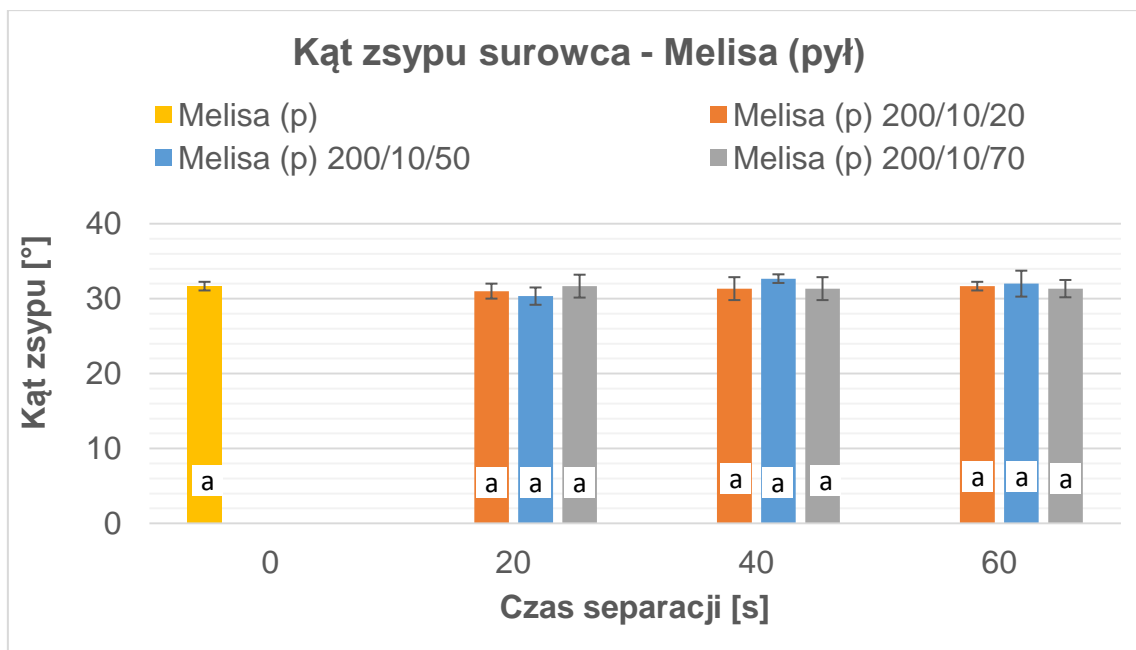
Rys. 25. Kąt zsypania rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji

Kąt zsypania rumianku zanieczyszczenia + piasek (rys. 25) jest zbliżony do wartości tego parametru dla rumianku kwiat + zanieczyszczenia i wynosi  $24,3^\circ$ . Średnia wartość kąta zsypania dla surowca poddanego procesowi separacji jest nieco wyższa i waha się od  $24,7^\circ$  dla rumianku z+p 200/50/50 do  $26^\circ$  przy 200/50/70 w obu przypadkach dla czasu separacji 60s. Również w tym przypadku, podobnie jak przy rumianku kwiat + zanieczyszczenia, wszystkie wartości przedstawione na wykresie nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



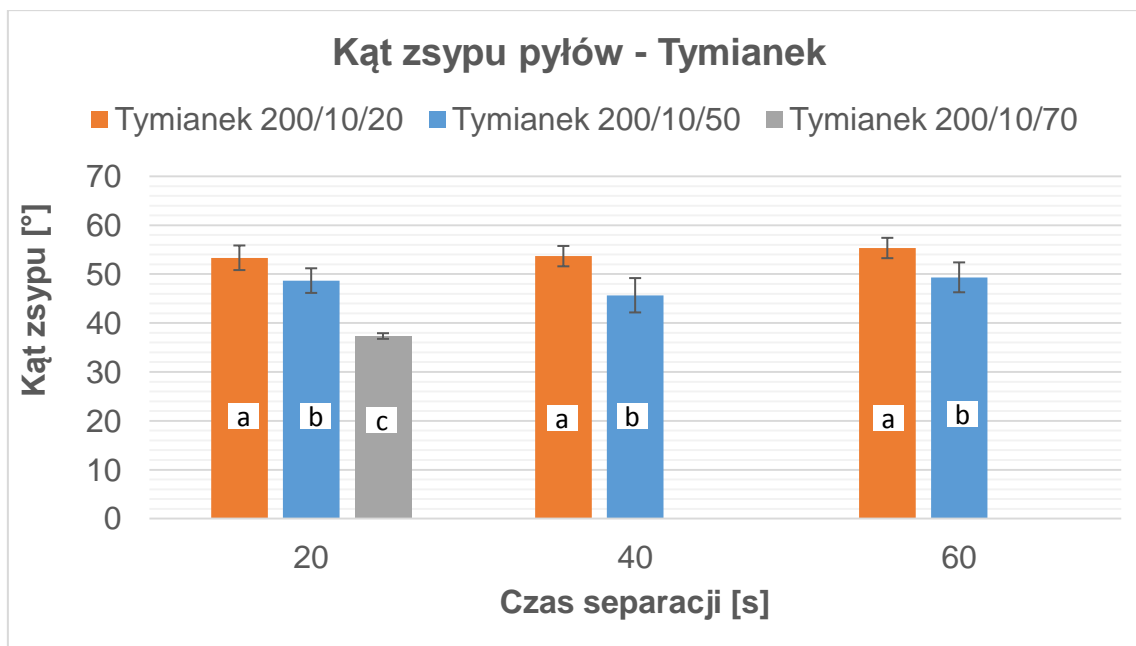
Rys. 26. Kąt zsypu konopi przed i po separacji

Kąt zsypu konopi (niepoddanej procesowi separacji) jest najniższy w porównaniu z wartością tego parametru w przypadku innych badanych surowców i wynosi  $18,7^\circ$  (rys. 26). Taki sam wynik uzyskano dla konopi po separacji przy parametrach procesu 630/10/20 w czasie separacji 20s i 40s. Dla pozostałych próbek średnia wartość kąta zsypu waha się do  $16,7^\circ$  dla konopi 630/10/70/60 do  $19,7^\circ$  przy parametrach procesu 630/10/70/20. Analizując wykres możemy zauważyć, że dla konopi 630/10/70 oraz 630/30/20 wraz ze zwiększeniem czasu separacji kąt zsypu maleje, jednak spadek ten nie różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



Rys. 27. Kąt zsywu melisy (pył) przed i po separacji

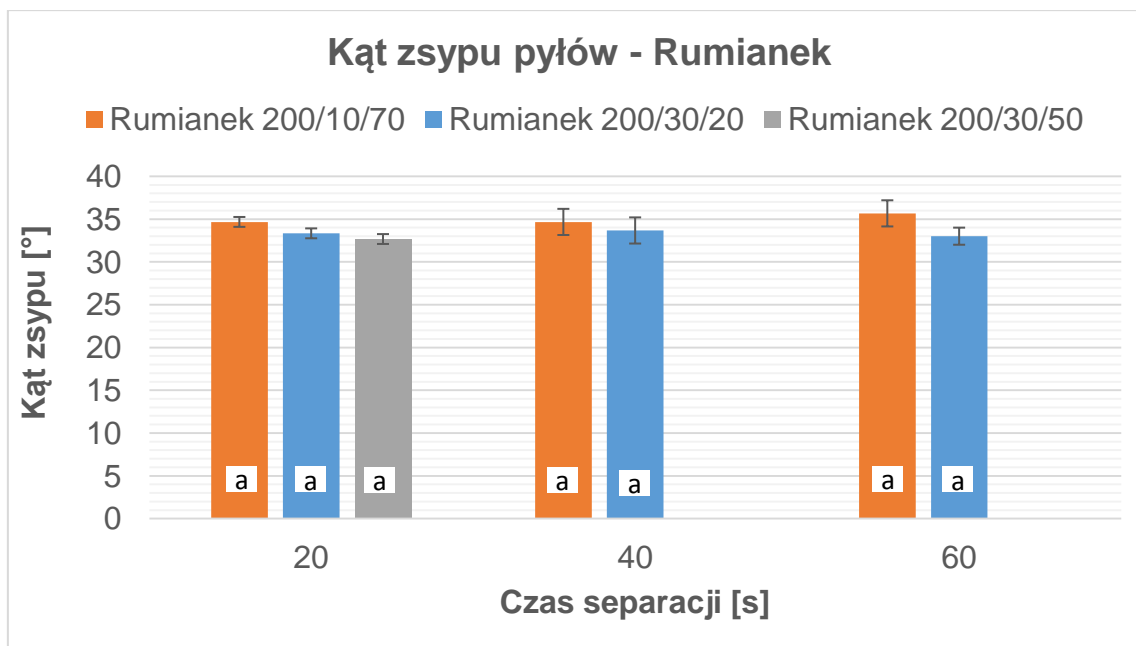
Melisa (pył) charakteryzuje się największym kątem zsywu, w porównaniu do pozostałych badanych materiałów, na poziomie  $31,7^\circ$  (rys. 27), jednak średnia wartość tego parametru dla melisy (pył) poddanej procesowi separacji jest zbliżona i mieści się w przedziale  $30,3-32,7^\circ$ , więc nie różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . W przypadku melisy (pył) odseparowanej przy parametrach procesu 200/10/20 zwiększenie czasu separacji wpływa także na zwiększenie średniego kąta zsywu, jednak różnice między kolejnymi wartościami są niewielkie –  $31^\circ$  dla czasu separacji 20s,  $31,3^\circ$  dla 40s i  $31,7^\circ$  dla 60s – tutaj również nie występuje statystycznie istotna różnica na poziomie  $\alpha=0,05$ .



Rys. 28. Kąt zsyphu pyłów po separacji tymianku

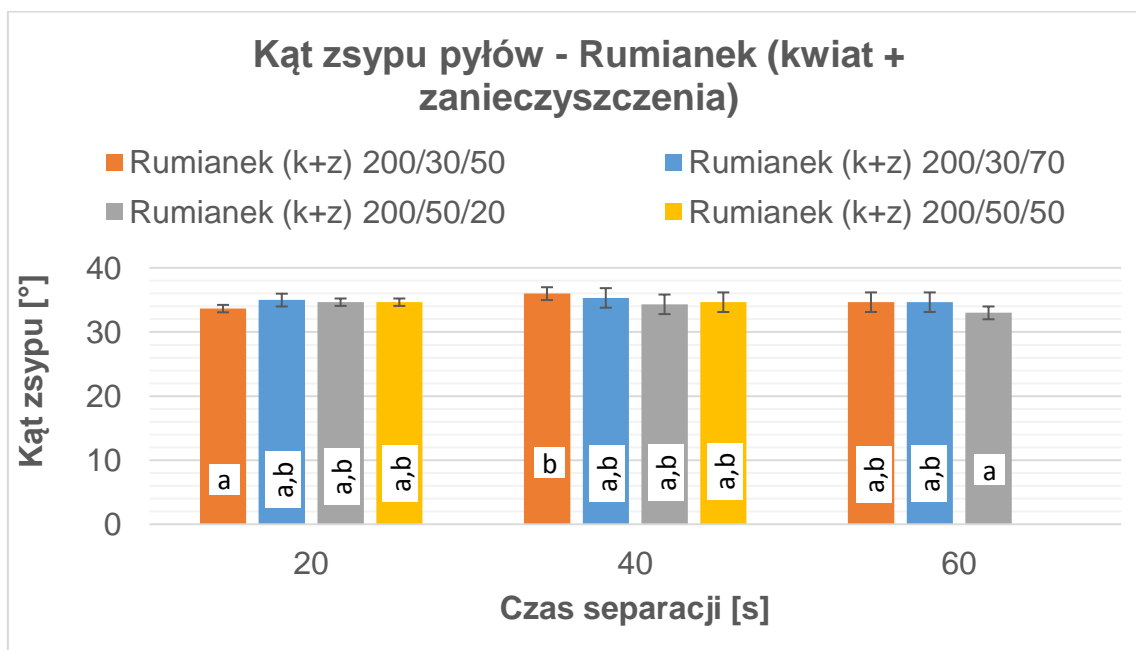
Kąt zsyphu pyłów uzyskanych przy procesie separacji tymianku (rys. 28) jest znacznie większy od wartości tego parametru w przypadku samego surowca i waha się od  $37,3^\circ$  dla pyłu uzyskanego z tymianku przy parametrach procesu 200/10/70/20 aż do  $55,3^\circ$  dla pyłu z tymianku 200/10/20/60. Wartości tego parametru w przypadku pyłów z tymianku 200/10/20 oraz 200/10/50 wraz z wydłużeniem czasu separacji nie różnią się od siebie statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Analizując wykres możemy zauważyć, że w ramach jednego czasu separacji zwiększenie natężenia przepływu strumienia powietrza z  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  do  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , a następnie  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  sprawia, że kąt zsyphu pyłów maleje i różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .





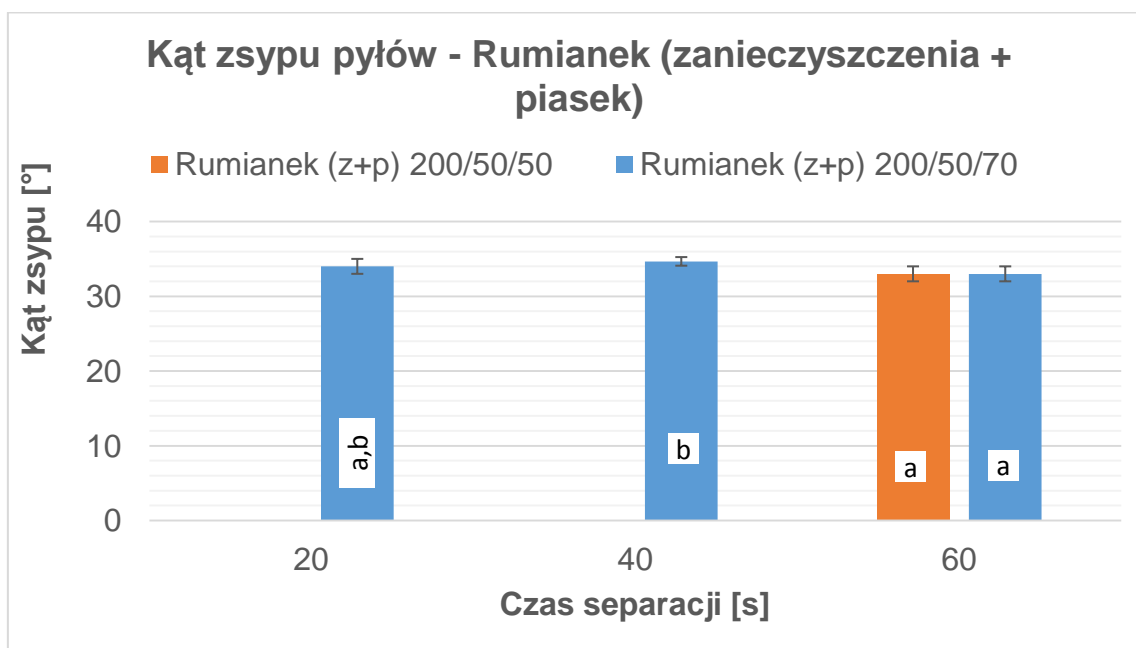
Rys. 29. Kąt zsyphu pyłów po separacji rumianku

W przypadku rumianku (rys. 29) kąt zsyphu pyłów jest niewiele wyższy w porównaniu z wartością tego parametru dla samego surowca i wynosi od 32° do 37°. Podobnie, jak w przypadku pyłu z tymianku, tutaj również w ramach jednego czasu separacji wartości kolejnych badanych próbek maleją, jednak tutaj wartości dla wszystkich parametrów procesu nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



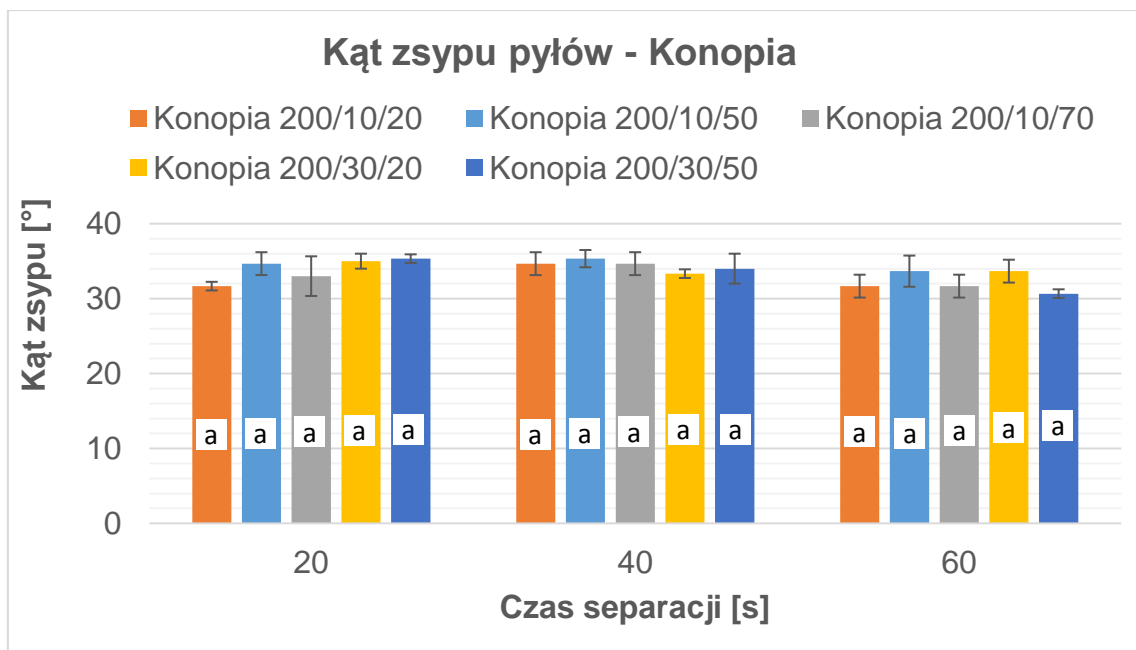
Rys. 30. Kąt zsyphu pyłów po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia

Kąt zsyłu pyłów z rumianku kwiat + zanieczyszczenia (rys. 30) jest podobny do wartości tego parametru dla samego rumianku i mieści się w zakresie 33-36°. Dla próbek uzyskanych w trakcie procesu separacji przy parametrach procesu 200/50/20 wraz z wydłużeniem czasu separacji kąt zsyłu maleje – 34,7° przy 20s, 34,3° przy 40s oraz 33° przy 60s, jednak wartości te nie są statystycznie istotne na poziomie  $\alpha=0,05$ . W przypadku pyłu uzyskanego z rumianku k+z 200/50/50 w czasie 20s i 40s wartość kąta zsyłu pozostaje taka sama, wynosząc 34,7°. Oznaczenia literowe na wykresie wskazują, że pomiędzy uzyskanymi wynikami nie występuje statystycznie istotna różnica na poziomie  $\alpha=0,05$ .



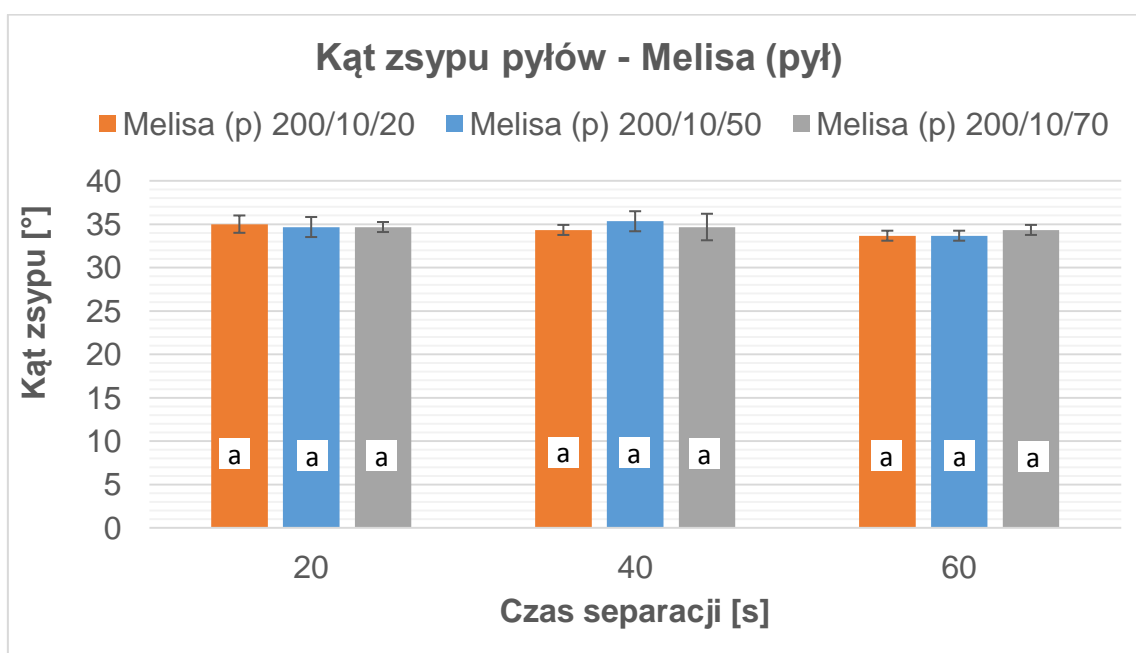
Rys. 31. Kąt zsyłu pyłów po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek

Kąt zsyłu dla pyłu uzyskanego z rumianku zanieczyszczenia + piasek (rys. 31) waha się od 32° do 35°. W przypadku pyłu uzyskanego z separacji przy parametrach procesu 200/50/50 oraz 200/50/70 w czasie 60s parametr ten pozostaje niezmienny i wynosi średnio 33°. Między pyłami z rumianku z+p 200/50/70 dla czasu separacji 20s i 60s oraz pyłów rumianku z+p 200/50/50, jak również dla pyłów z rumianku 200/50/70 dla 20s i 40s wartości nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



Rys. 32. Kąt zsypania pyłów po separacji konopi

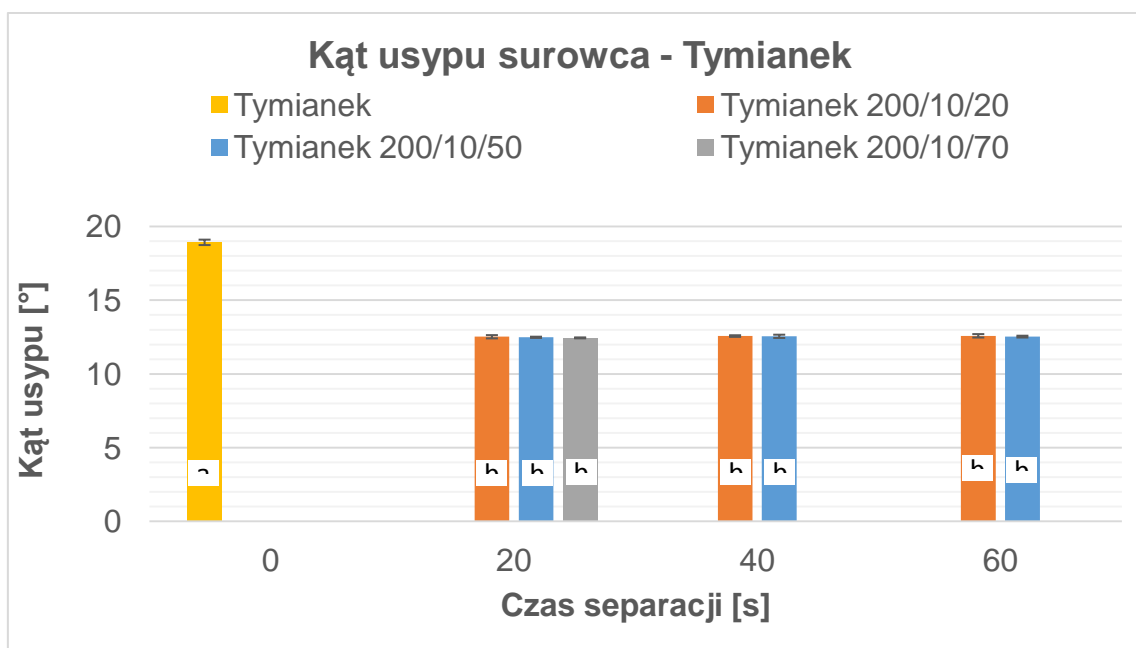
Kąt zsypania pyłów uzyskanych w trakcie separacji zanieczyszczeń z konopi (rys. 32) jest nieco wyższy od kąta zsypania samego surowca, a jego wartości dla wszystkich próbek są do siebie zbliżone, wahając się od  $30^\circ$  do  $36^\circ$ . W przypadku pyłu uzyskanego z konopi przy parametrach procesu separacji 630/30/50 wraz z wydłużeniem czasu separacji średni kąt zsypania maleje –  $35,3^\circ$  przy 20s,  $34^\circ$  przy 40s oraz  $30,7^\circ$  przy 60s, jednak wszystkie uzyskane wartości nie różnią się między sobą statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



Rys. 33. Kąt zsypania pyłów po separacji melisy (pył)

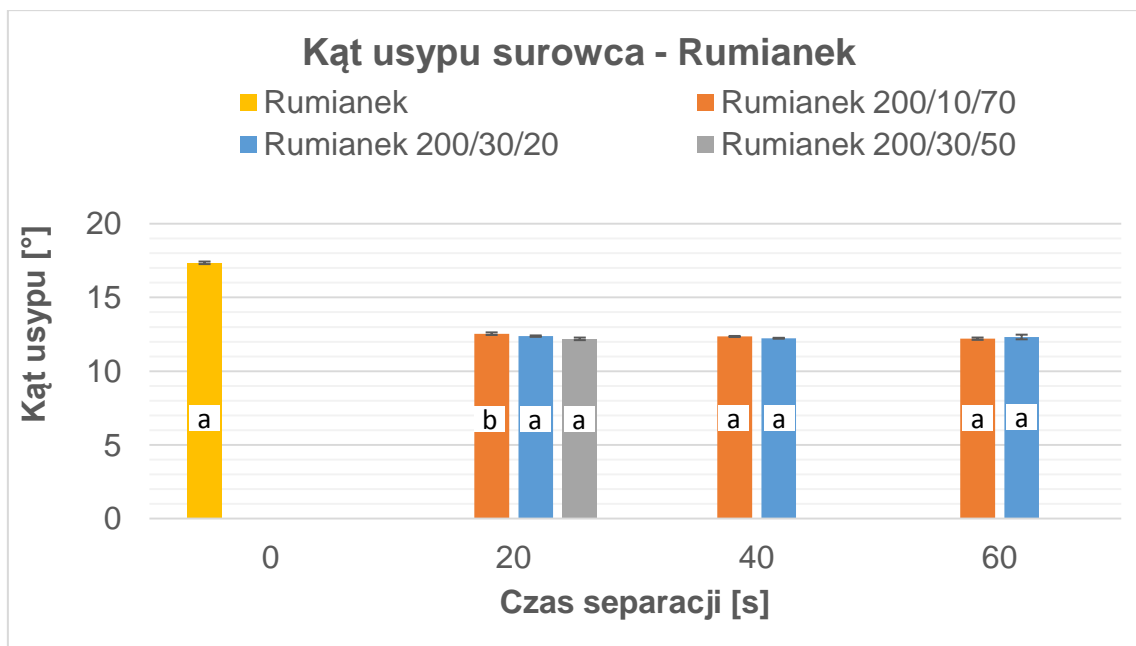
W przypadku pyłu uzyskanego z separacji melisy (pył) kąt zsypania nie różni się znacząco od wartości tego parametru dla samego surowca i waha się od  $33,7^\circ$  dla pyłów odseparowanych przy parametrach procesu 200/10/20 oraz 200/10/50 w czasie 60s do  $35,3^\circ$  dla pyłu z melisy (pył) 200/10/50/40 (rys. 33). W przypadku pyłu uzyskanego z melisy (pył) 200/50/50 oraz 200/10/70 w czasie 20s wartości kąta zsypania są sobie równe, wynosząc  $34,7^\circ$ . Wszystkie uzyskane wartości nie różnią się między sobą statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .

#### 6.4. Wyniki pomiaru kąta usypu



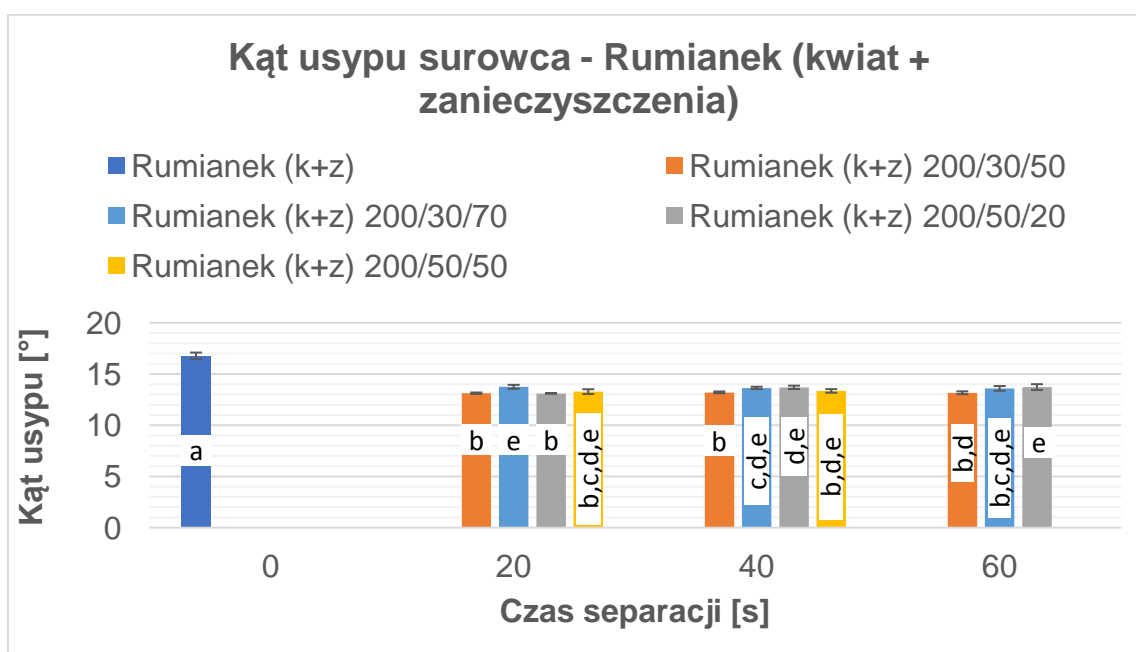
Rys. 34. Kąt usypu tymianku przed i po separacji

Rysunek 34 wykonano na podstawie uzyskanych wyników badań wartości kątów usypu tymianku. Analizując otrzymane wyniki stwierdzono, że surowiec niepoddany procesowi separacji charakteryzuje się większym o ok.  $6^\circ$  kątem usypu w porównaniu do tymianku po separacji i wynosi  $18,93^\circ$  i różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Natomiast w przypadku surowca poddanemu procesowi separacji zmiany parametrów procesu nie wpływają znacząco na różnicę w wartości kąta usypu, który waha się między  $12,45^\circ$  w przypadku tymianku 200/10/70/20 do  $12,59^\circ$  dla tymianku 200/10/20/60 i nie różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



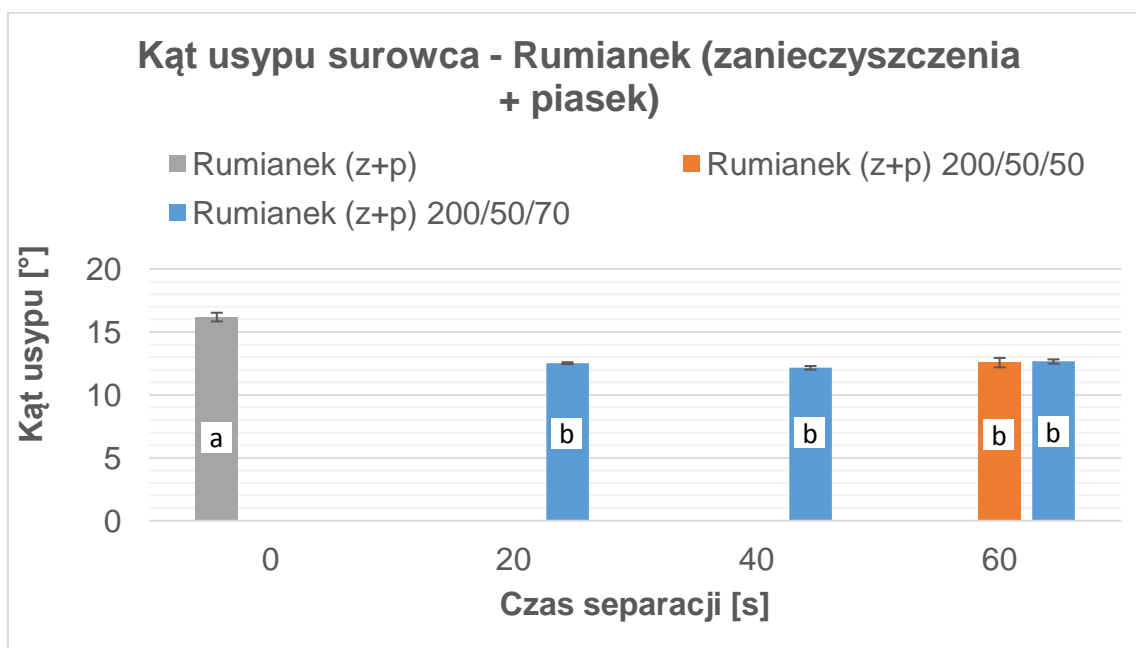
Rys. 35. Kąt usypu rumianku przed i po separacji

Podobnie jak w przypadku tymianku, rumianek (rys. 35) przed procesem separacji charakteryzował się najwyższą wartością kąta usypu wynoszącą 17,35°. Wartości kąta usypu surowców poddanych separacji również są zbliżone i wynoszą od 12,19° dla rumianku 200/30/50/20 do 12,54 dla rumianku 200/10/70/20. Prawie wszystkie wartości tego parametru, z wyjątkiem kąta usypu dla rumianku 200/10/70/20, nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



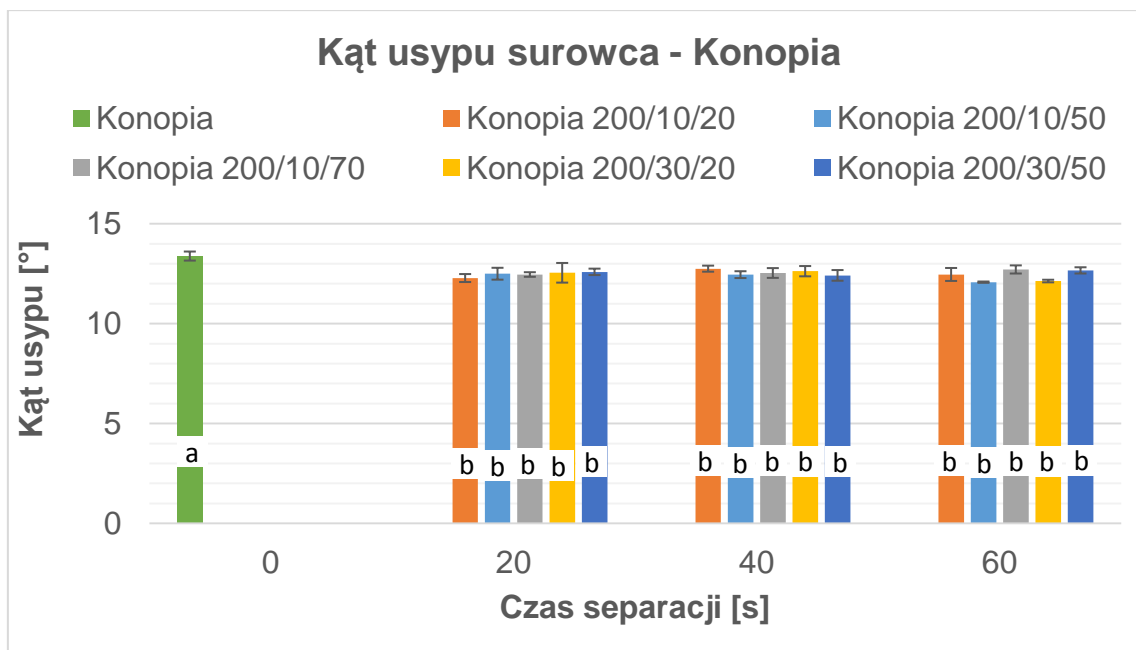
Rys. 36. Kąt usypu rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji

W przypadku rumianku kwiat + zanieczyszczenia (rys. 36) różnica między surowcem przed i po separacji jest niewielka - wartość kąta usypu rumianek k+z wynosi  $16,76^\circ$ , natomiast kąt usypu w przypadku surowca po separacji wynosi  $13,11-13,74^\circ$ . Mimo to wartość ta różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Na podstawie oznaczeń literowych możemy stwierdzić, że istnieje zależności pomiędzy pozostałymi wynikami.



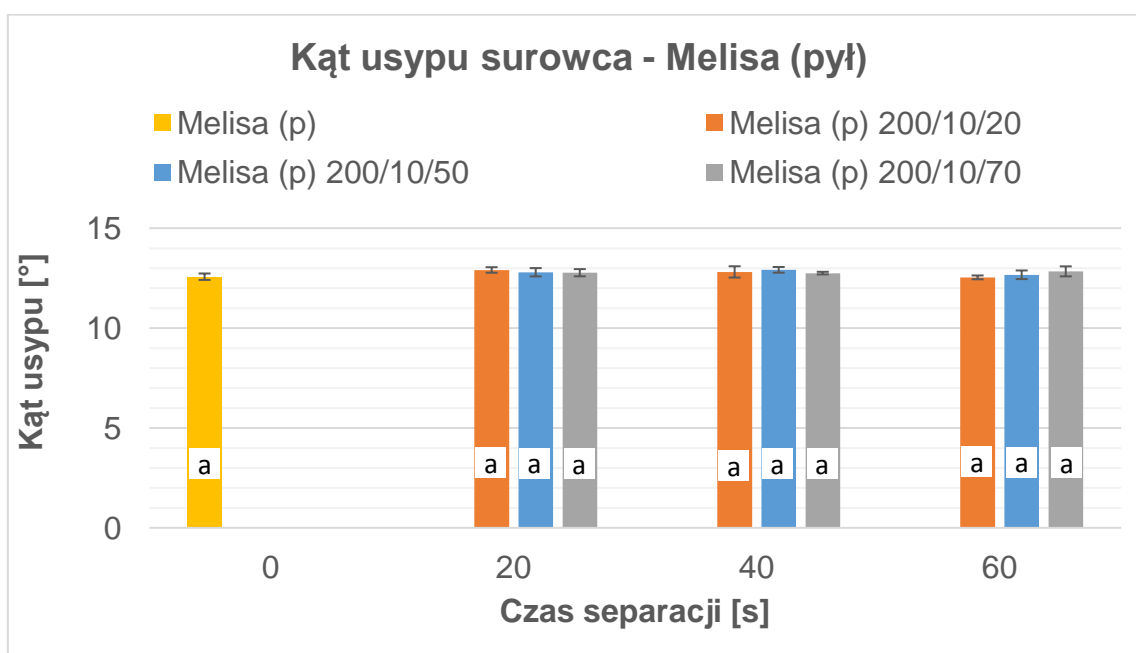
Rys. 37. Kąt usypu rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji

Rumianek zanieczyszczenia + piasek (rys. 37) posiada nieco niższy, w porównaniu do rumianku kwiat + zanieczyszczenia kąt usypu, który wynosi  $16,2^\circ$ , a jego wartość różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  od pozostałych. Kąt usypu dla tego surowca po procesie separacji jest nieco niższa i wynosi od  $12,16^\circ$  dla pyłu uzyskanego przy parametrach procesu 200/50/70/40 do  $12,67^\circ$  dla rumianku z+p 200/50/70/60, jednak wartości te nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



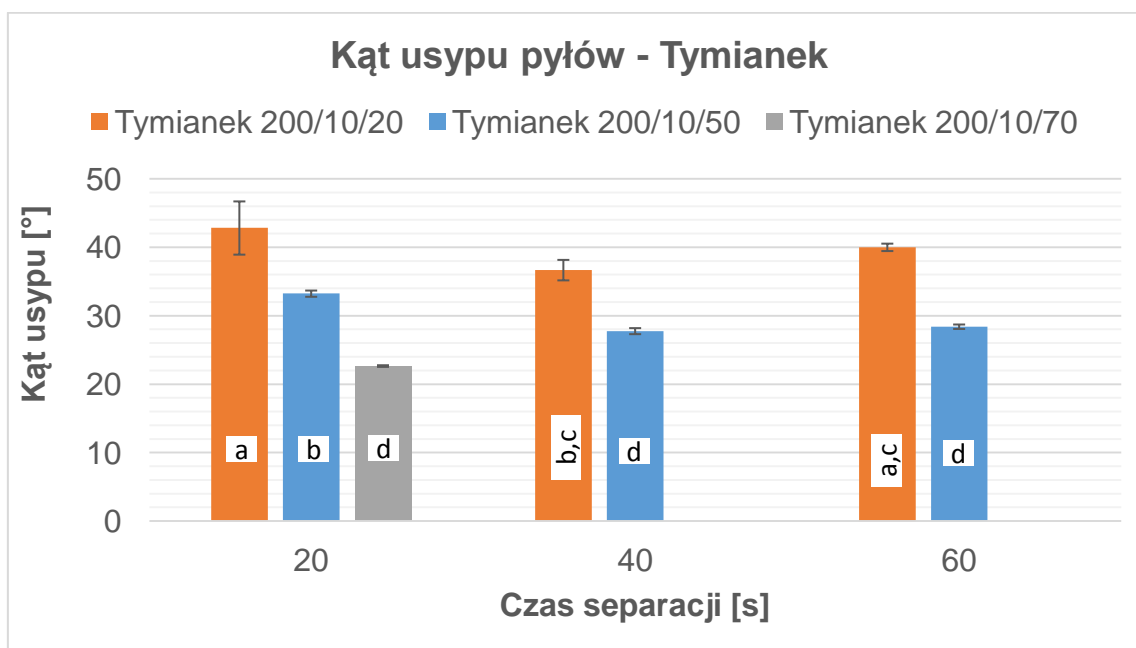
Rys. 38. Kąt usypu konopi przed i po separacji

Wartości kąta usypu konopi (rys. 38) przed procesem separacji i po tym procesie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  – średni kąt usypu surowca niepoddany procesowi separacji wynosi  $13,38^\circ$ , podczas gdy wartość tego parametru dla konopi poddanej procesowi separacji waha się od  $12,07^\circ$  dla konopi 630/10/50/60 do  $12,75^\circ$  przy 640/10/20/40. Między wynikami uzyskanymi z konopi po separacji nie występuje statystycznie istotna różnica na poziomie  $\alpha=0,05$ .



Rys. 39. Kąt usypu melisy (pył) przed i po separacji

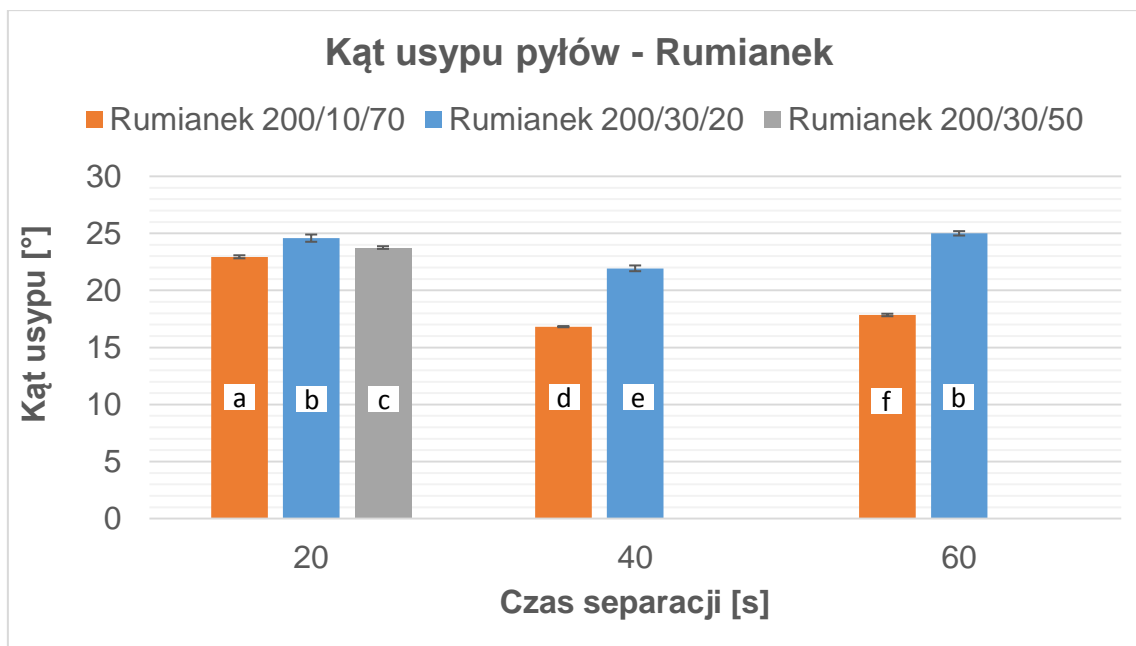
Inaczej niż w przypadku pozostałych surowców melisa (pył) niepoddany procesowi separacji charakteryzuje się jednym z najmniejszych średnich kątów usypu, wynoszącym  $12,57^\circ$  (rys. 39). Wartość średniego kąta usypu dla surowca poddanego procesowi separacji waha się od  $12,54^\circ$  dla melisy (pył) odseparowane przy parametrach procesu 200/10/20/60 do  $12,91^\circ$  dla melisy (pył) 200/10/50/40. Uzyskane wartości nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



Rys. 40. Kąt usypu pyłów po separacji tymianku

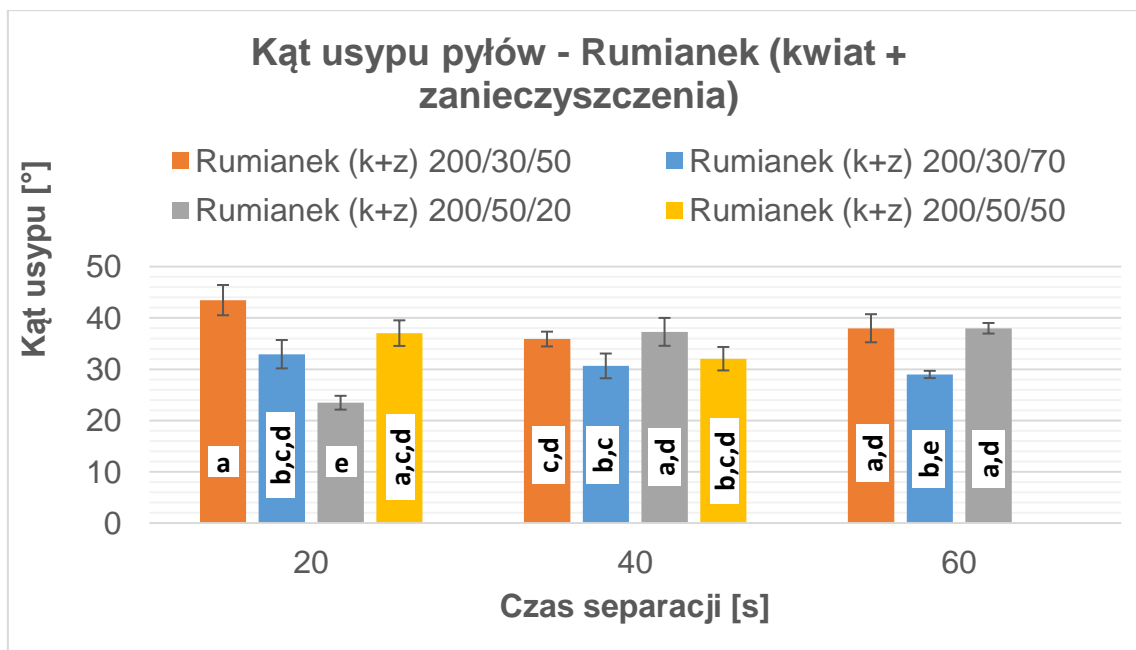
Kąt usypu pyłów uzyskanych po separacji tymianku (rys. 40) jest większy, niż w przypadku oddzielnego surowca i waha się od  $22,57^\circ$  dla pyłów uzyskanych z separacji przy parametrach procesu 200/10/70/20 do  $46,65^\circ$  przy 200/10/20/20. Z przedstawionego wykresu wynika, że w ramach danego czasu separacji wartości różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .





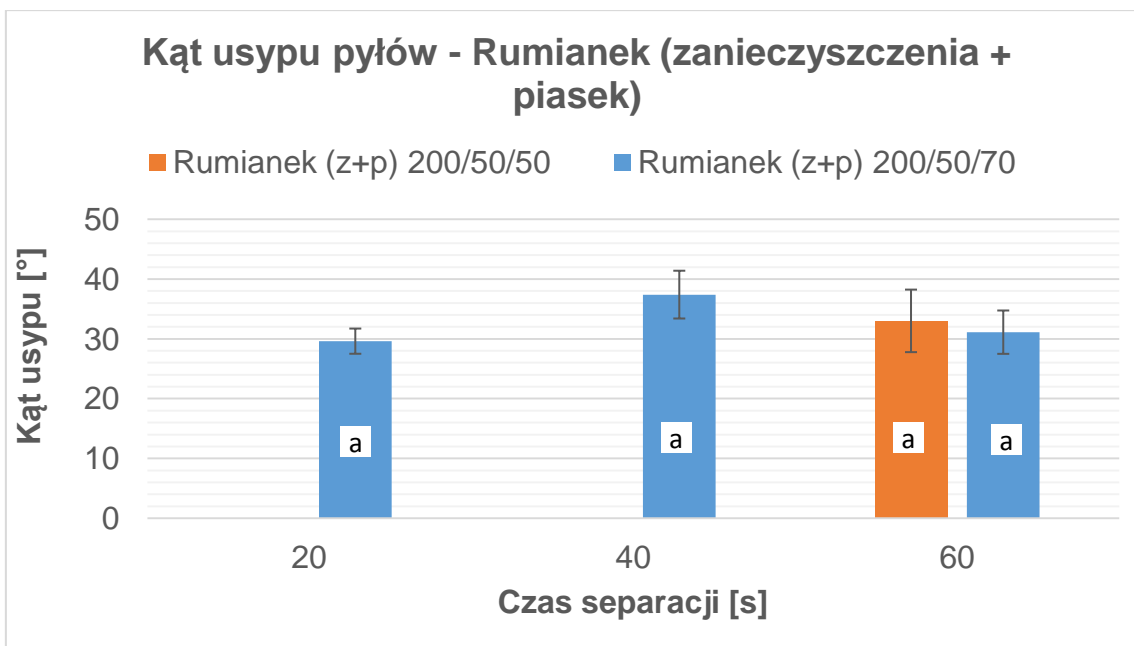
Rys. 41. Kąt usypu pyłów po separacji rumianku

Na kolejnym wykresie (rys. 41) przedstawiono analogiczną sytuację, gdzie kąt usypu pyłu uzyskanego z surowca jest większy od wartości tego parametru w przypadku odseparowanego rumianku. W tym przypadku kąt usypu mieści się w zakresie od  $16,79^\circ$  dla rumianku 200/10/70/40 do  $25,21^\circ$  przy 200/30/20/60. Zwiększenie prędkości obrotowej głowicy z  $10 \text{ obr.} \cdot \text{min}^{-1}$  do  $30 \text{ obr.} \cdot \text{min}^{-1}$  oraz zmniejszenie natężenia przepływu strumienia powietrza z  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  do  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  w ramach danego czasu separacji powoduje wzrost wartości kąta usypu – wartości te różnią się między sobą statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Jedynie w przypadku pyłu z rumianku 200/30/20 przy czasie separacji 20s i 60s nie występuje statystycznie istotna różnica na poziomie  $\alpha=0,05$ .



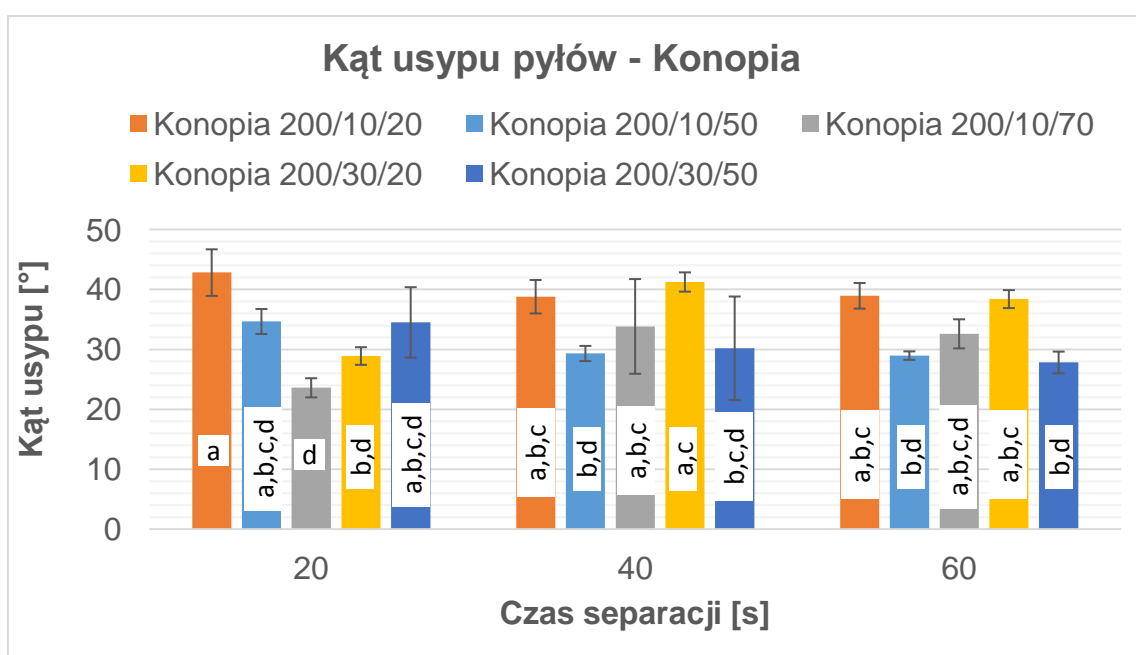
Rys. 42. Kąt usypu pyłów po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia

W przypadku kąta usypu pyłów uzyskanych z separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia (rys. 42) jego średnia wartość waha się od  $23,46^\circ$  do  $43,47^\circ$ . Najniższa wartość występuje w przypadku pyłu odseparowanego od rumianku k+z przy parametrach produkcji 200/50/20/20 ( $22,57^\circ$ ), choć nie różni się ona statystycznie istotnie od rumianku 200/30/70/60. Natomiast największy wynik uzyskano przy 200/30/50/20 ( $46,65^\circ$ ), który nie różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  przy 200/50/50/20, 200/50/20 dla 40s i 60s, czy 200/30/50/60. Analizując wykres nie można jednoznacznie stwierdzić, że zwiększenie czy zmniejszenie parametrów procesu wpływa jednocześnie na zmniejszenie/zwiększenie kąta usypu, ponieważ między wynikami nie występuje statystycznie istotna różnica na poziomie  $\alpha=0,05$ .



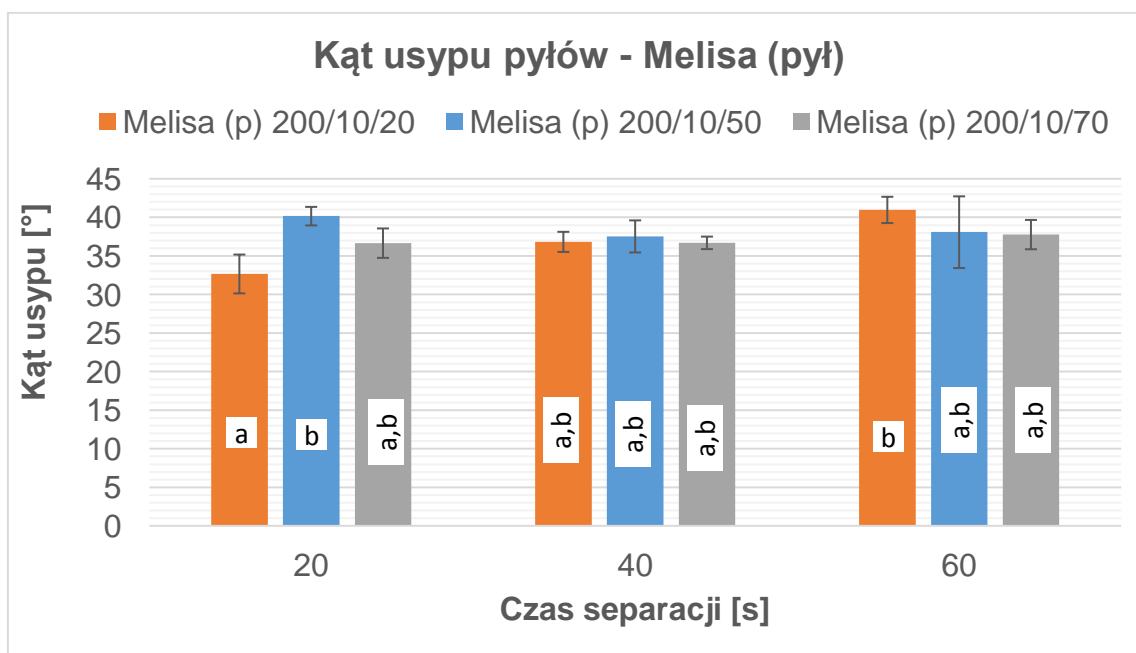
Rys. 43. Kąt usypu pyłów po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek

Podobnie jak w przypadku pyłów uzyskanych z separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia, pyły z rumianku z+p (rys. 43) charakteryzują się kątem usypu w zakresie 27,28-39,71°, przy czym najwyższa wartość tego parametru została uzyskana przy pyłe z rumianku z+k 200/50/70/40, natomiast najmniejsza - 200/50/50/60. Wszystkie uzyskane wartości nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



Rys. 44. Kąt usypu pyłów po separacji konopi

Analiza wykresu wartości kąta usypu pyłów uzyskanych z separacji konopi (rys. 44) wykazuje, że w przypadku pyłów odseparowanych przy parametrach procesu 630/10/50 oraz 630/30/50 wraz z wydłużeniem czasu separacji wartość kąta usypu zmniejszała się, mimo to różnice te nie są statystycznie istotne na poziomie  $\alpha=0,05$ . Średnie wartości kąta usypu dla pyłu z konopi mieszczą się w zakresie  $23,61-42,83^\circ$  i nie różnią się między sobą statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



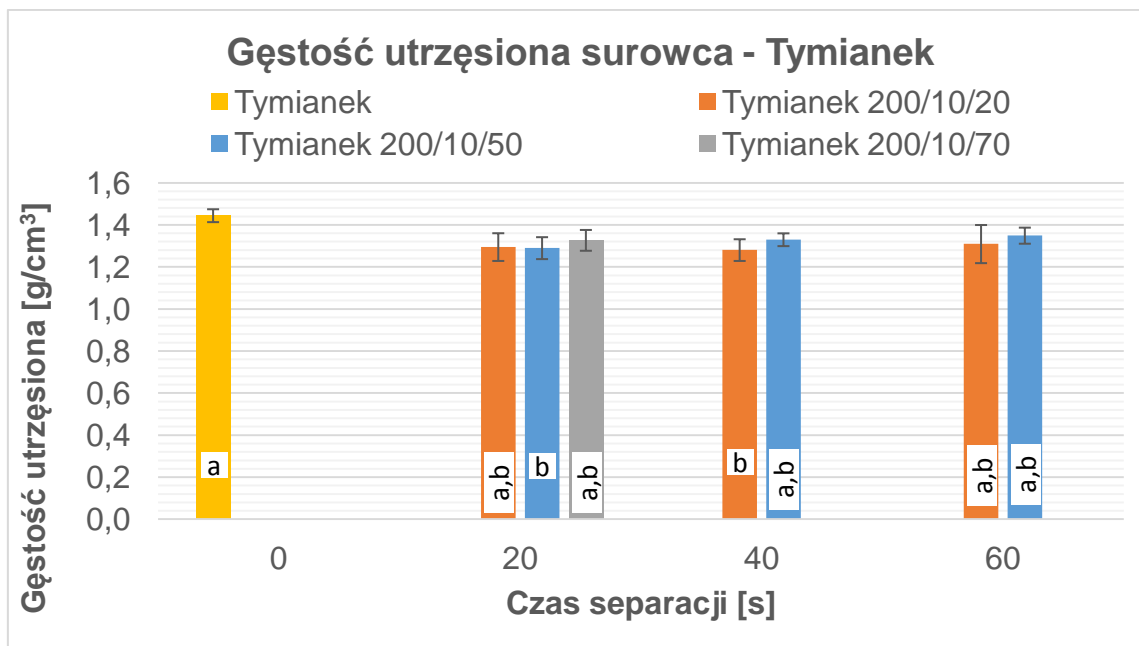
Rys. 45. Kąt usypu pyłów po separacji melisy (pył)

W przypadku pyłu uzyskanego z melisy (pył) najmniejszy kąt usypu występuje dla parametrów procesu 200/10/20 w czasie separacji 20s ( $30,11^\circ$ ), natomiast największy  $42,95^\circ$  przy tych samych parametrach w czasie 60s – wartości te różnią się od siebie statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  (rys. 45). Różnica ta nie występuje między 200/10/20/60 i 200/10/50/20 oraz 200/10/20/20 i pozostałymi wynikami.

### 6.5. Wyniki pomiaru gęstości utrząsionej

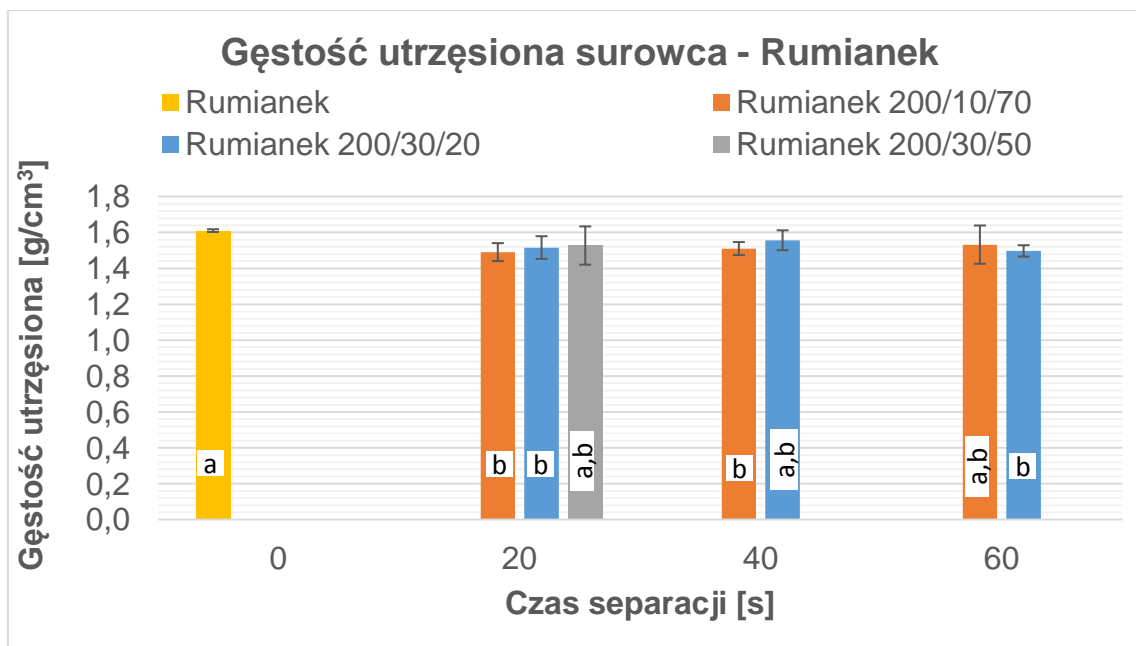
Gęstość utrząsiona dostarcza informacji o podatności surowca na zagęszczenie w warunkach występowania wstrząsów. Cecha ta ma szczególne znaczenie w pracach związanych z transportem i składowaniem materiałów luzem. W przypadku tymianku, rumianku oraz konopi zwiększenie parametru procesu separacji nie wpływa statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  na zmianę gęstości utrząsionej surowców. W przypadku rumianku kwiat + zanieczyszczenia, rumianku zanieczyszczenia + piasek oraz melisy wartość tego parametru dla surowca przed separacją i po procesie separacji różni się

statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ , jednak samo zwiększenie parametrów procesu nie powoduje istotnych różnic w wynikach.



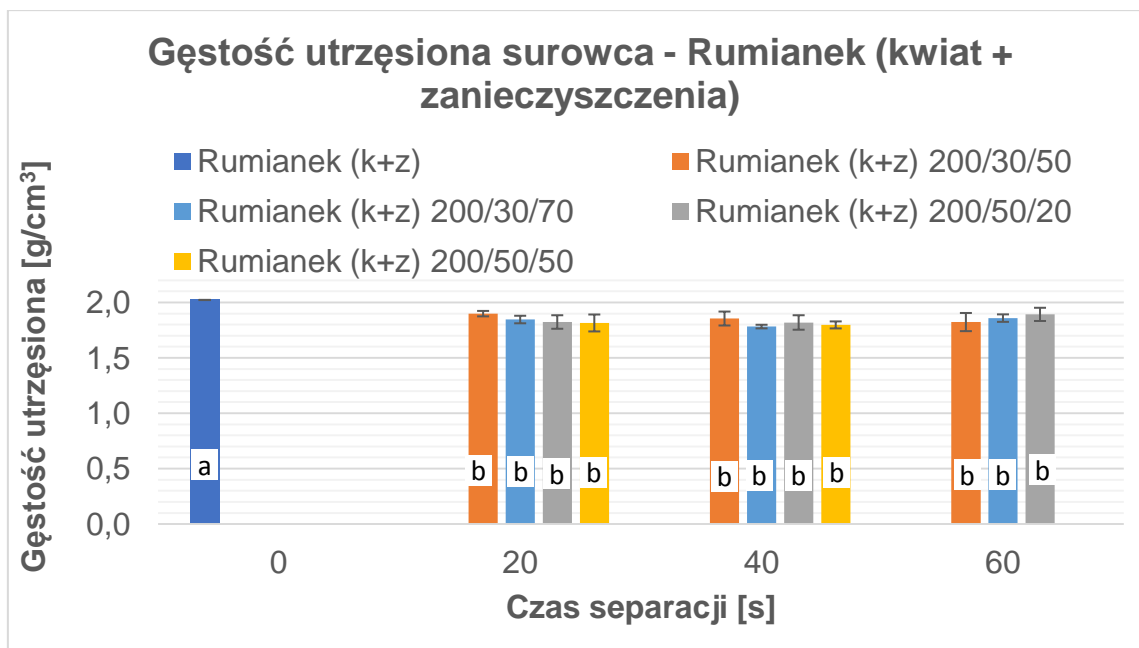
Rys. 46. Gęstość utrżeszona tymianku przed i po separacji

Gęstość utrżeszona tymianku (rys. 46) niepoddanego procesowi separacji jest nieco wyższa od wartości tego parametru w przypadku surowca po separacji i wynosi  $1,444 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , jednak nie różni się ona statystycznie istotnie w porównaniu do pozostałych wyników – wyjątek stanowią tymianek 200/10/50/20 oraz 200/10/20/40. Dla pozostałych próbek wartość ta waha się od  $1,281 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  w przypadku tymianku odseparowanego przy parametrach procesu 200/10/20/40 do  $1,349 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  dla tymianku 200/10/50/60. W ramach czasu separacji 40s oraz 60s zwiększenie natężenia przepływu strumienia powietrza z  $20 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  do  $50 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  skutkuje zwiększeniem średniej gęstości utrżeszonej surowca – mimo to wartości nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



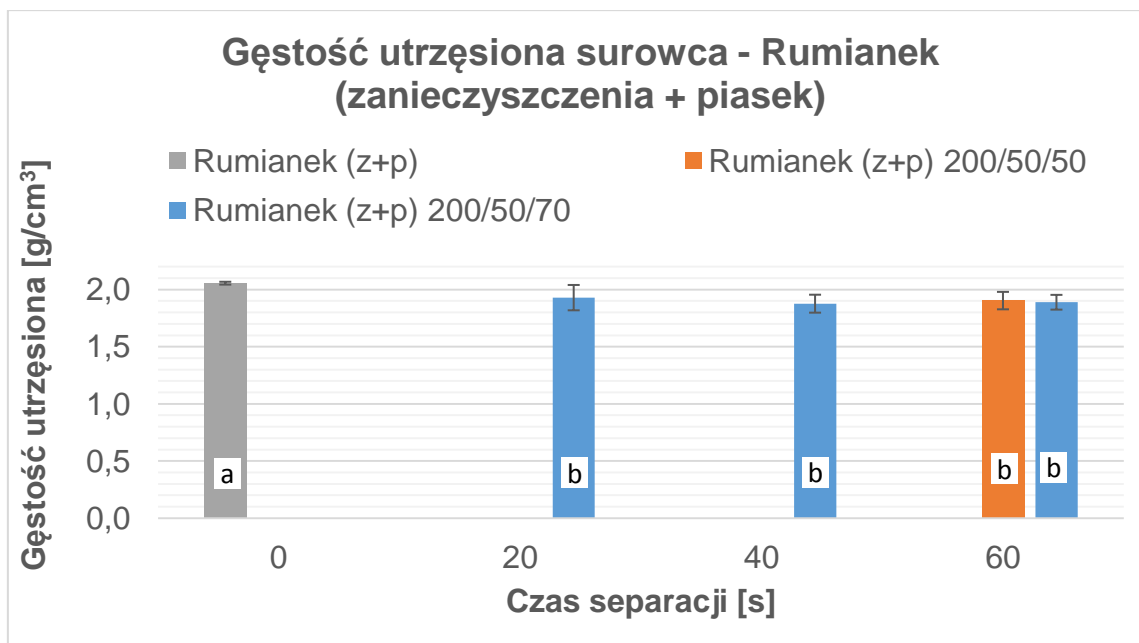
Rys. 47. Gęstość utrżęsona rumianku przed i po separacji

W przypadku rumianku (rys. 47) mamy podobną sytuację – gęstość utrżęsona surowca przed procesem separacji ( $1,610 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) jest nieco wyższa od średniej wartości tego parametru dla rumianku poddanego temu procesowi, jednak nie różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  od rumianku 200/30/50/20, 200/30/20/40 oraz 200/10/70/60. Dla rumianku 200/10/70 wraz z wydłużeniem czasu separacji średnia gęstość utrżęsona rośnie –  $1,490 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 20s.,  $1,510 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  oraz  $1,532 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 60s, mimo to również w tym przypadku nie występuje statystycznie istotna różnica na poziomie  $\alpha=0,05$ . Na podstawie wykresu możemy stwierdzić, że w ramach czasu separacji 20s i 40s wartość gęstości utrżęsony kolejnych badanych próbek rosła, natomiast dla 60s – zmniejszyła się, choć nie były to różnice statystycznie istotne na poziomie  $\alpha=0,05$ .



Rys. 48. Gęstość utrżęsiona rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji

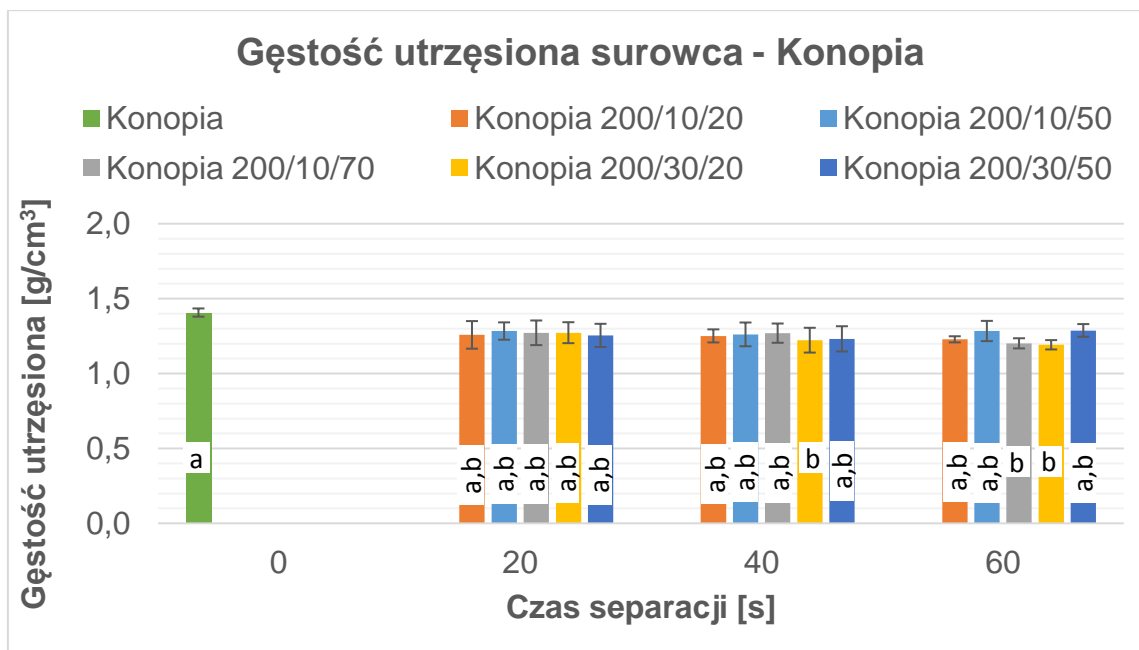
Gęstość utrżęsiona rumianku kwiat + zanieczyszczenia (rys. 48) przed separacją wynosi  $2,022 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  i różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Wartość ta dla surowca po procesie separacji waha się od  $1,782 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  dla rumianku k+z 200/30/70/40 do  $1,898 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy parametrach procesu separacji 200/30/50/20 i nie różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Mimo to analizując wykres możemy stwierdzić, że przypadku rumianku k+z 200/30/50 wydłużanie czasu separacji wpływa na zmniejszenie wartości gęstości utrżęsionej –  $1,898 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 20s,  $1,854 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 40s oraz  $1,822 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 60s, a w ramach czasu separacji 60s wartość tego parametru dla kolejnych badanych próbek zwiększała się.



Rys. 49. Gęstość utrżęsiona rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji

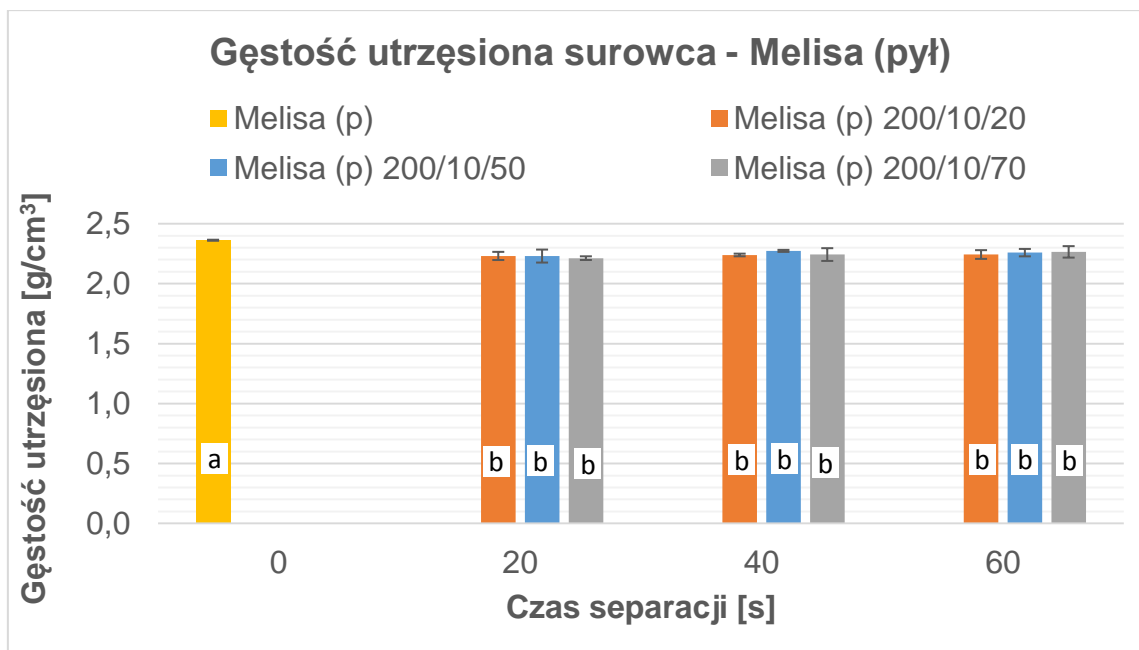
W przypadku rumianku zanieczyszczenia + piasek (rys. 49) gęstość utrżęsiona jest niewiele wyższa w porównaniu do rumianku k+z i wynosi  $2,055 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  i różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  od pozostałych wyników. Wartość tego parametru dla surowca po procesie separacji jest niższa i mieści się w przedziale  $1,889\text{-}1,929 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . W ramach czasu separacji 60s. zwiększenie natężenia przepływu strumienia powietrza z  $50 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  do  $70 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  wpływa na zmniejszenie gęstości utrżęsionej rumianku z+p, jednak wyniki te nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .





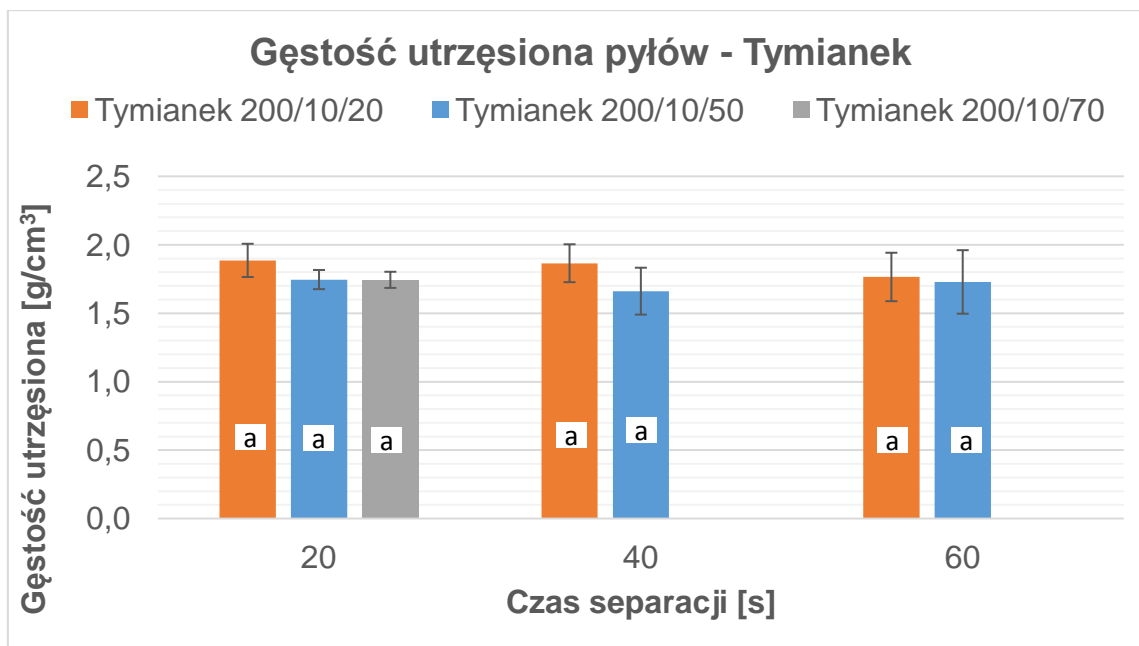
Rys. 50. Gęstość utrżeszona konopi przed i po separacji

Konopia (rys. 50) charakteryzuje się najmniejszą gęstością utrżeszoną, w porównaniu do pozostałych badanych surowców, na poziomie  $1,407 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  – wynik ten nie różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  od pozostałych, z wyjątkiem konopi 630/30/20 przy 40s i 60s oraz 200/10/70/60. Wartość tego parametru dla konopi poddanej procesowi jest nieco niższa w porównaniu do surowca przed separacją i wynosi od  $1,192 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  dla konopi 630/30/20/60 do  $1,288 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  dla 630/30/50/60. W ramach wydłużenia czasu separacji gęstość utrżeszona maleje dla konopi odseparowanej przy parametrach procesu 630/10/20, 630/10/70 i 630/30/20, jednak wartości te nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



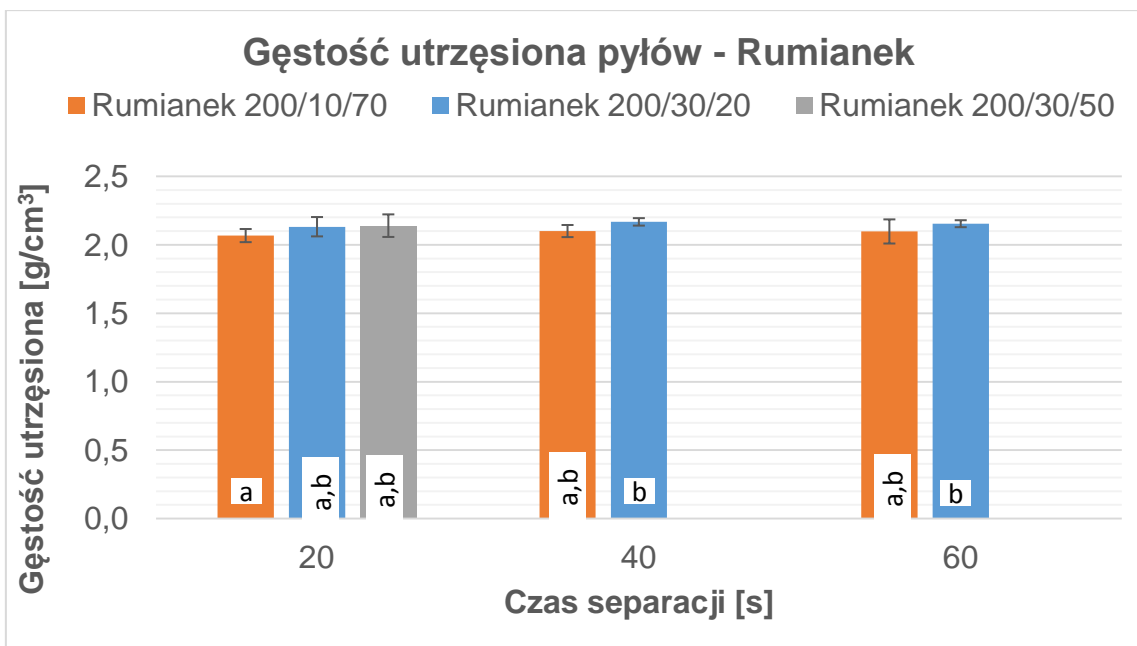
Rys. 51. Gęstość utrżęiona melisy (pył) przed i po separacji

Melisa (pył) posiada największą gęstość utrżęioną ze wszystkich badanych surowców (rys. 51) –  $2,362 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  i różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  w porównaniu do pozostałych wyników. Melisa (pył) po procesie separacji ma nieco mniejszą gęstość utrżęioną wahającą się od  $2,213 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  dla melisy (pył) 200/10/70/20 do  $2,273 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  dla 200/10/50/40. Analizując rysunek 51 możemy stwierdzić, że w przypadku surowca odseparowanego przy parametrach procesu 200/10/20 oraz 200/10/70 wraz z wydłużeniem czasu separacji wartość gęstości utrżęionej rośnie, w ramach czasu separacji 20s. zwiększenie natężenia przepływu powietrza z  $20 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  na  $50 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  do  $70 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  wpływa na zmniejszenie średniej gęstości utrżęionej, natomiast w przypadku czasu separacji 60s – na jej wzrost. Jednak wyniki te nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



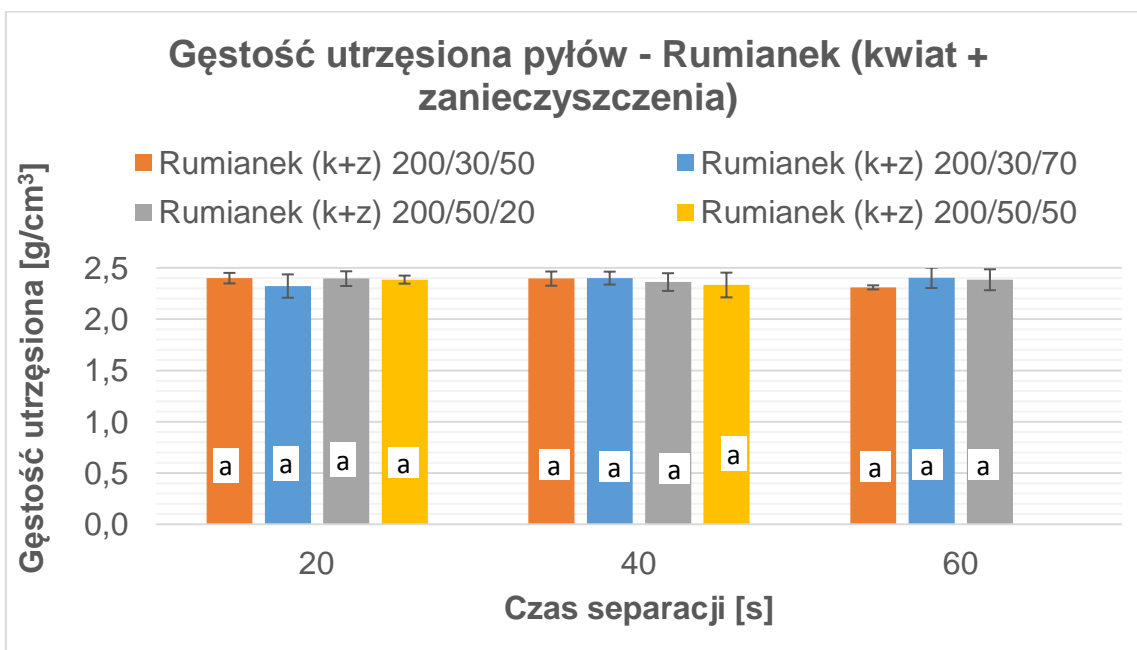
Rys. 52. Gęstość utrżeszona pyłów po separacji tymianku

Gęstość utrżeszona pyłu uzyskanego z procesu separacji tymianku (rys 52) jest nieco wyższa od wartości tego parametru w przypadku samego surowca i waha się od  $1,661 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy parametrach procesu separacji 200/10/50/40 do  $1,886 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 200/10/20/20. W przypadku pyłu uzyskanego z tymianku 200/10/20 wraz z wydłużeniem czasu separacji wartość gęstości utrżeszonej maleje –  $1,886 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 20s,  $1,865 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 40s i  $1,765 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 60s. Średnia gęstość utrżeszona maleje również w ramach danego czasu separacji przy zwiększeniu natężenia przepływu strumienia powietrza z  $20 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $50 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  do  $70 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . Mimo to wszystkie wyniki nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



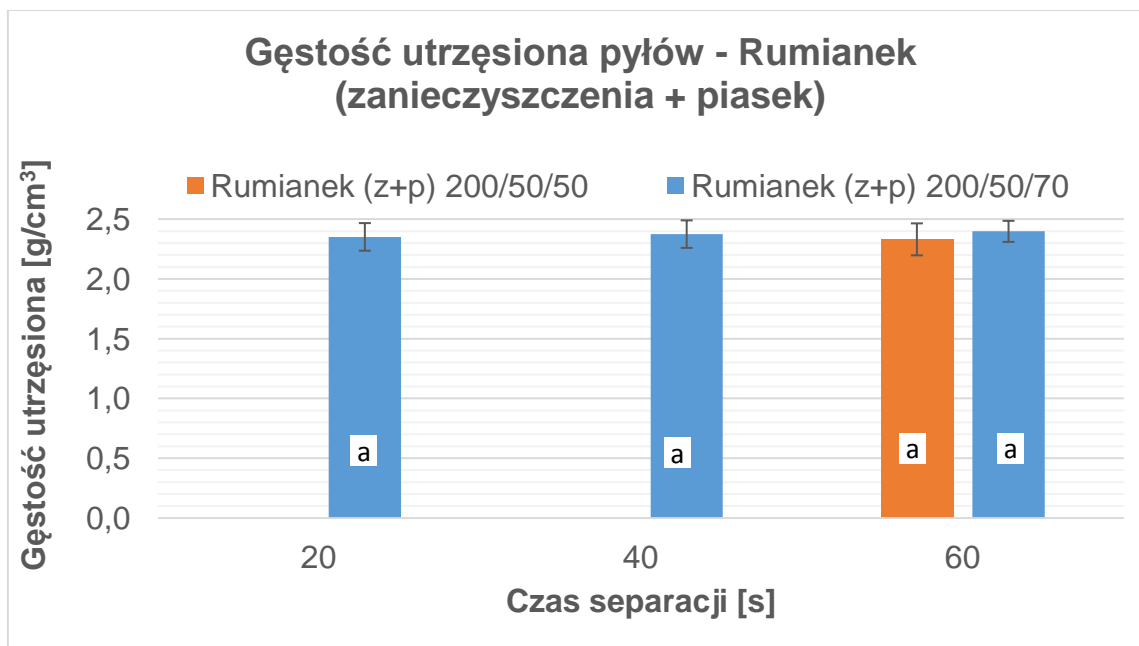
Rys. 53. Gęstość utrżeszona pyłów po separacji rumianku

Również w przypadku rumianku pył uzyskany z separacji (rys. 53) charakteryzuje się nieco większą gęstością utrżeszoną od samego surowca, w zakresie od  $2,067 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy parametrach procesu separacji 200/10/70/20 do  $2,167 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 200/30/20/40. W ramach danego czasu separacji średnia wartość gęstości utrżeszonej kolejnych badanych próbek rośnie, jednak wartości te nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



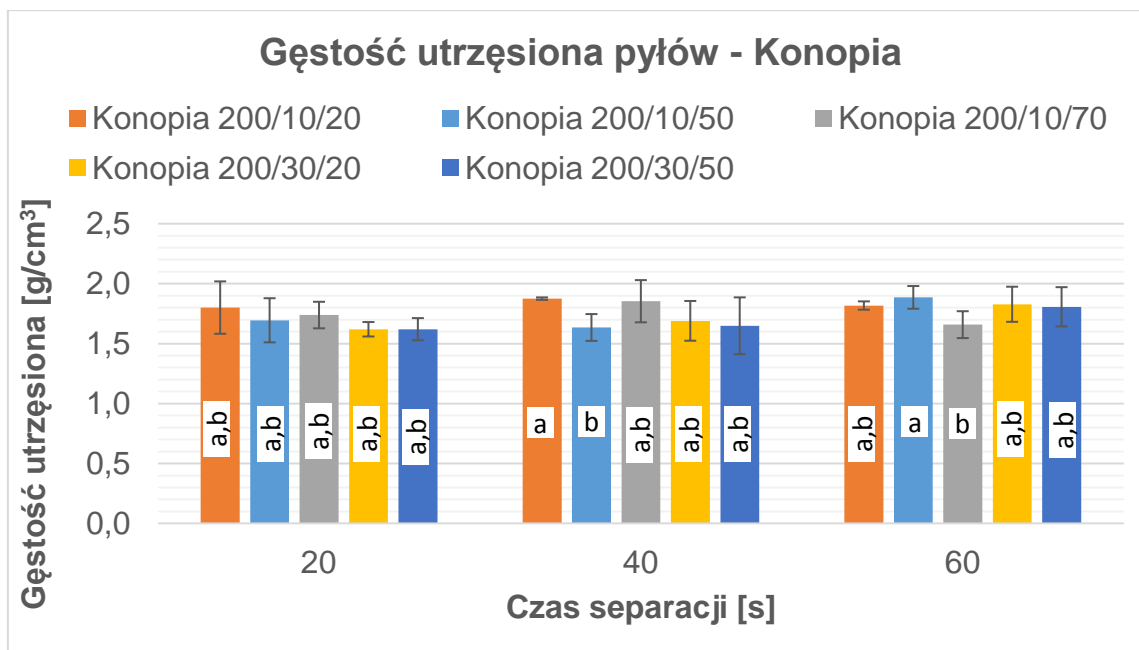
Rys. 54. Gęstość utrżeszona pyłów po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia

Gęstość utręszona pyłów uzyskanych po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia (rys. 54) waha się od  $2,311 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  dla surowca odseparowanego z rumianku k+z 200/30/50/60 do  $2,405 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  dla pyłu z rumianku k+z 200/30/70/60. Analizując rysunek 54 możemy stwierdzić, że wartość tego parametru w przypadku pyłu odseparowanego z rumianku k+z przy parametrach procesu 200/30/50 maleje wraz z wydłużeniem czasu separacji, natomiast dla pyłu z rumianku k+z 200/30/70 – rośnie, jednak wartości te nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .



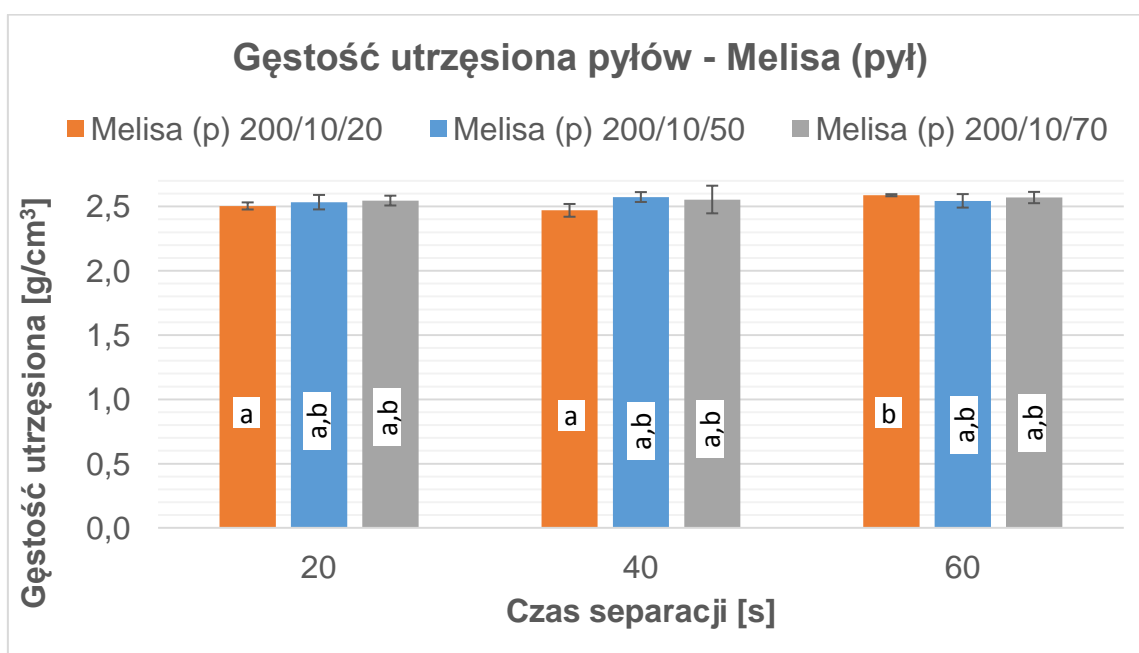
Rys. 55. Gęstość utręszona pyłów po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek

Gęstość utręszona pyłów uzyskanych z rumianku zanieczyszczenia + piasek (rys. 55) jest zbliżona do wartości tego parametru dla pyłów z rumianku k+z i waha się od  $2,330 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  dla pyłu odseparowanego z rumianku z+p 200/50/50/60 do  $2,397 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy parametrach procesu 200/50/70/60. Analizując rysunek 55 możemy stwierdzić, że w przypadku pyłu z rumianku z+p 200/50/70 wraz z wydłużeniem czasu separacji gęstość utręszona rośnie oraz w czasie separacji 60s zwiększenie natężenia przepływu strumienia powietrza z  $50 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  do  $70 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  również wpływa na zwiększenie wartości tego parametru, jednak nie jest to różnica istotnie statystyczna na poziomie  $\alpha=0,05$ .



Rys. 56. Gęstość utrżeszona pyłów po separacji konopi

Pył z konopi (rys. 56), charakteryzuje się podobną gęstością utrżeszoną do pyłu z tymianku – od  $1,619 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy parametrach procesu separacji 630/30/20/20 do  $1,885 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 630/10/50/60. W przypadku pyłu z konopi 630/30/20 i 630/30/50 wraz z wydłużeniem czasu separacji zwiększa się wartość gęstości utrżeszonej, jednak oznaczenia literowe wskazują na to, że wyniki nie różnią się od siebie statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$ .

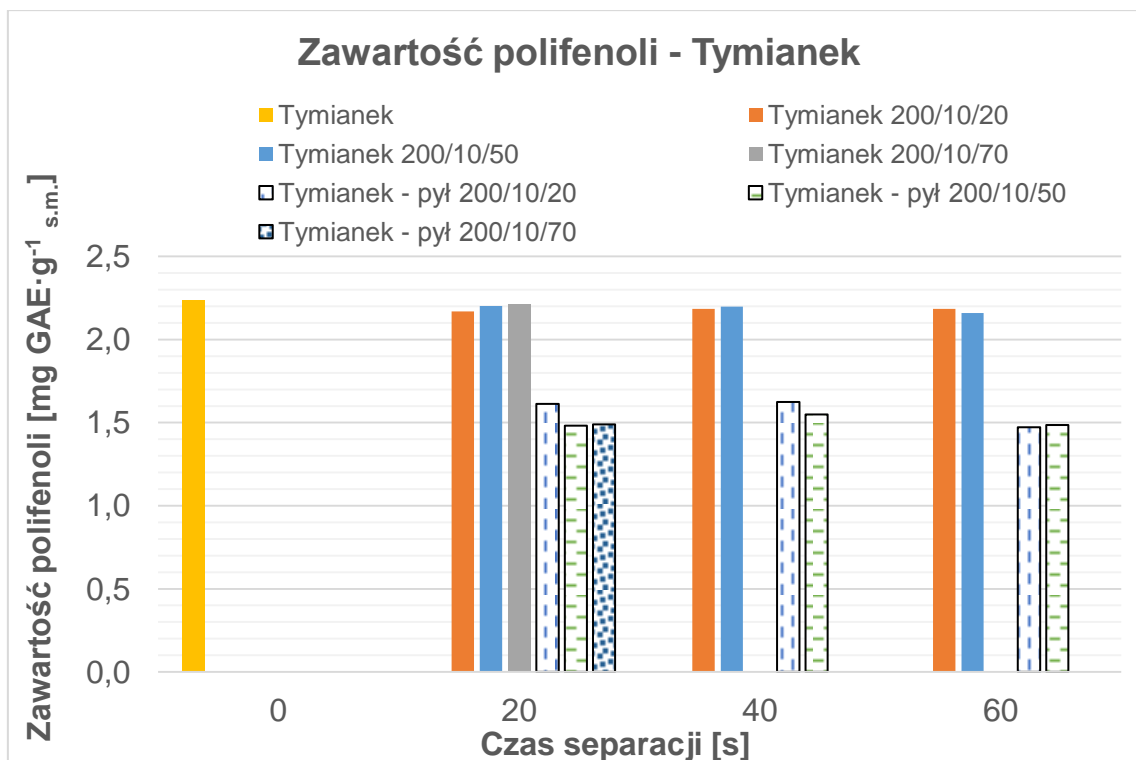


Rys. 57. Gęstość utrżeszona pyłów po separacji melisy (pył)

Pył uzyskany z separacji melisy (pył) charakteryzuje się jedną z największych gęstości utrząsionych w porównaniu do pozostałych badanych pyłów (rys. 57), a jej wartość waha się od  $2,470 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  dla pyłów uzyskanych przy parametrach procesu separacji 200/10/20/40 do  $2,587 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  przy 200/10/20/60. W przypadku pyłu uzyskanego z melisy (pył) 200/10/70 wraz z wydłużeniem czasu separacji gęstość utrząsiona zwiększa się. Również w ramach czasu separacji 20s. wraz ze zwiększeniem natężenia przepływu strumienia z  $20 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  do  $50 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , a następnie do  $70 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  ten parametr się, jednak różnice te nie są statystycznie istotne na poziomie  $\alpha=0,05$ . Gęstość utrząsiona pyłu z melisy (pył) 200/10/20/60 różni się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha=0,05$  od wartości dla tych samych parametrów procesu przy czasie separacji 20s i 40s.

## **6.6. Wyniki pomiaru zawartości związków fenolowych**

Zawartość polifenoli stanowi jeden z naszych głównych wyznaczników, charakteryzujący skuteczność procesu separacji pyłów mineralnych z surowca – wartość tego parametru w surowcu powinna być większa, natomiast w oddzielonych pyłach – jak najmniejsza. W przypadku większości badanych materiałów surowiec zielarski niepoddany procesowi separacji, a więc zawierający największą ilość zanieczyszczeń, charakteryzuje się także największą ilością związków fenolowych. Zioła po procesie separacji zawierają ich mniej, choć różnica nie jest znacząca. Wyjątek stanowi rumianek kwiat + zanieczyszczenia oraz melisa (pył). Pyły uzyskane po separacji posiadają mniejszą zawartość polifenoli niż separowany surowiec, jednak wciąż te związki występują. Posiadając jedynie zaprezentowane dane nie możemy jednoznacznie stwierdzić, że wraz ze wzrostem parametrów procesu separacji zawartość polifenoli w badanych surowcach będzie proporcjonalnie maleć lub rosnąć.

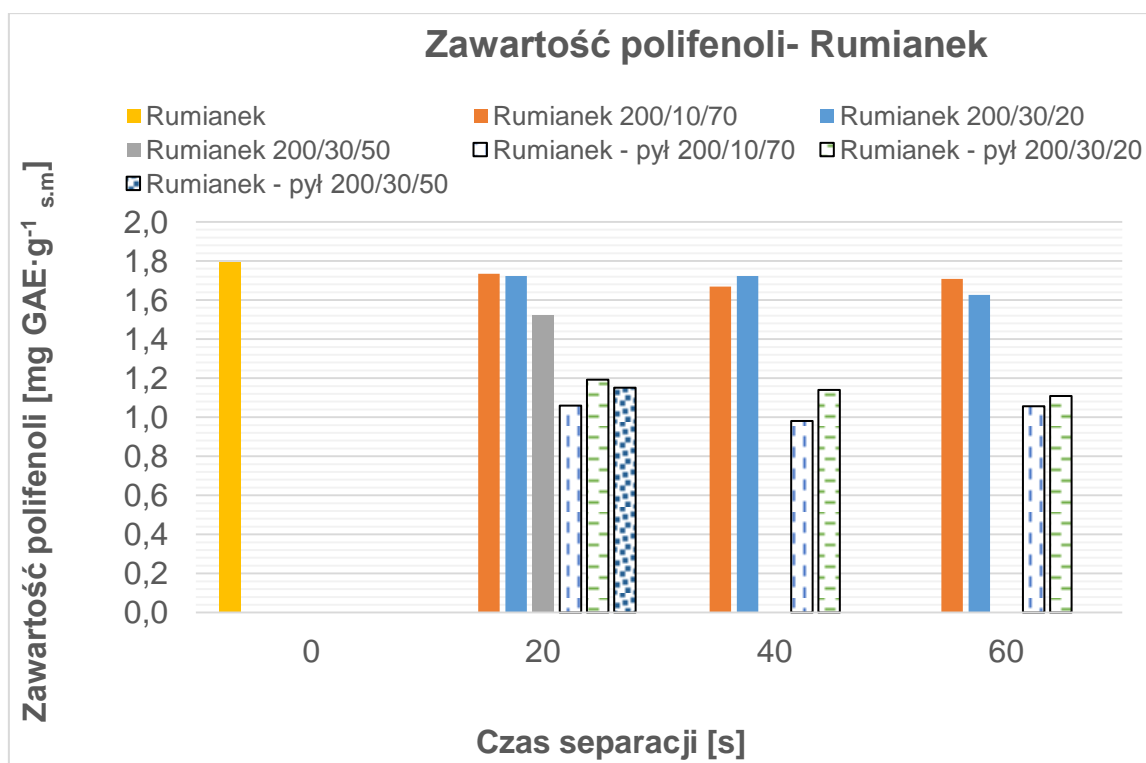


Rys. 58. Zawartość polifenoli w tymianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

Ekstrakt 1 uzyskany z tymianku niepoddanego procesowi separacji (rys. 58), zawierający największą ilość zanieczyszczeń, charakteryzuje się także największą ilością związków fenolowych. Kolejne ekstrakty zawierają ich mniej, choć różnica nie jest znacząca – maksymalna różnica występuje między próbką o parametrach procesu 200/10/70/20 a 200/10/50/60 i wynosi 0,054 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>. Posiadając jedynie zaprezentowane dane nie możemy jednoznacznie stwierdzić, że wraz ze wzrostem parametrów procesu separacji zawartość polifenoli w tymianku będzie proporcjonalnie maleć.

Pyły uzyskane po separacji posiadają mniejszą zawartość polifenoli niż separowany surowiec, jednak wciąż związki te w odseparowanym surowcu występują – ich zawartość waha się od 1,472 do 1,623 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>

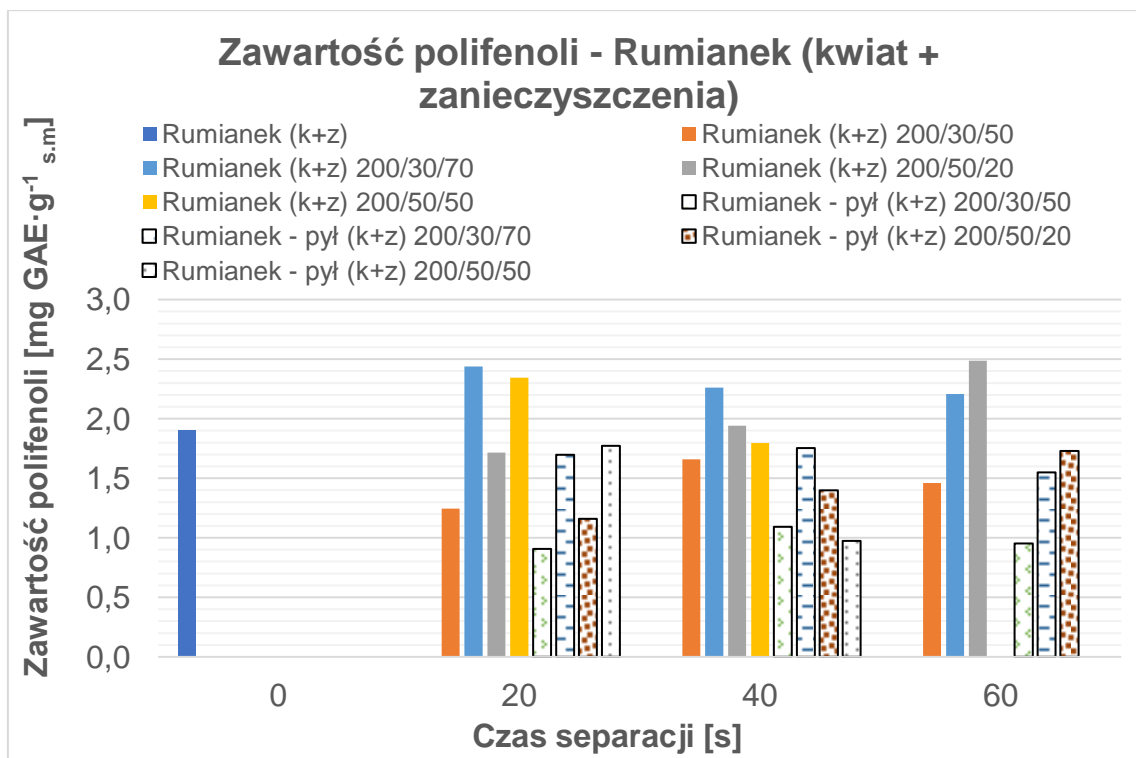




Rys. 59. Zawartość polifenoli w rumianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

Podobnie jak w przypadku tymianku rumianek (rys. 59) przed procesem separacji charakteryzuje się największą ilością związków fenolowych – 1,795 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>, jednak choć surowce poddane procesowi separacji zawierają ich mniej różnica ta nie jest znacząca. Najmniejszą zawartość polifenoli posiada rumianek odseparowany przy parametrach procesu 200/30/50/20 na poziomie 1,525 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>, natomiast największą rumianek 200/10/70/20 – 1,734 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>. W przypadku rumianku 200/30/20 w czasie separacji 20s i 40s ilość polifenoli wynosi tyle samo – 1,723mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>, dopiero przy czasie procesu 60s dla tych samych parametrów wartość ta zmniejsza się do 1,626 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>

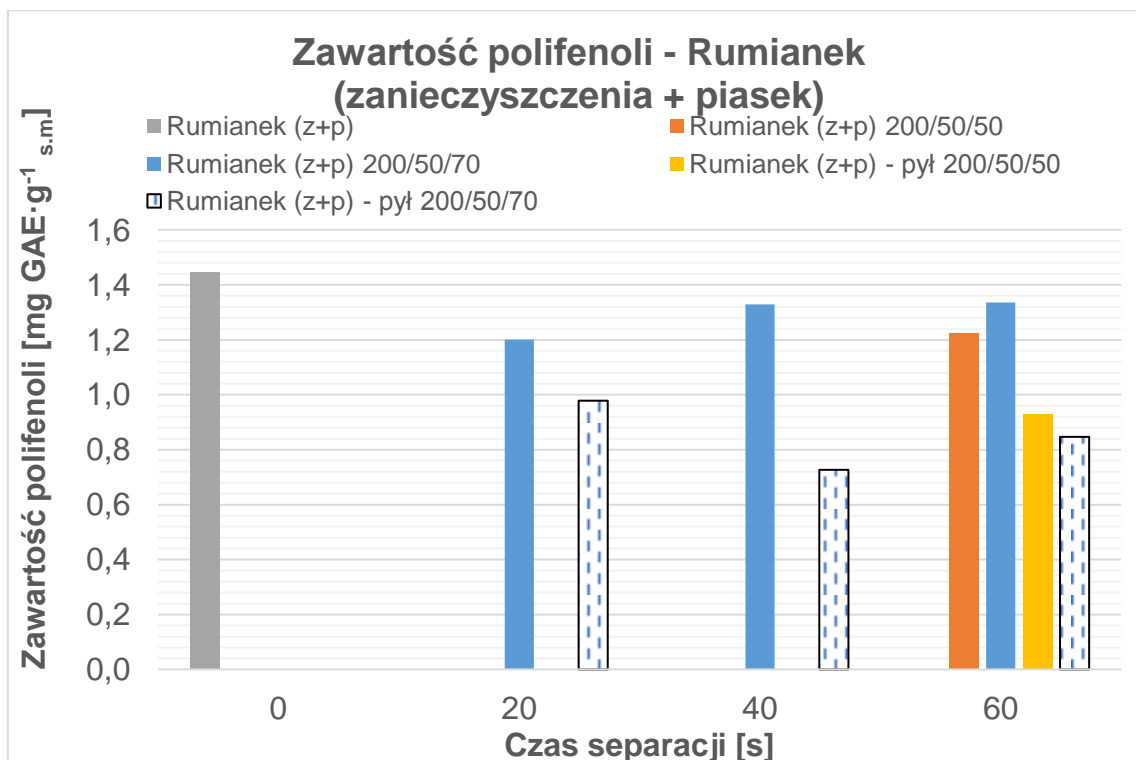
Pyły uzyskane poprzez proces separacji rumianku zawierają od 0,981 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> dla rumianku 200/10/70/40 do 1,193 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> dla rumianku 200/30/20/20, a więc najmniejsza różnica między zawartością polifenoli w odseparowanym surowcu oraz w pyłach wynosi 0,332 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>



Rys. 60. Zawartość polifenoli w rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

W przypadku rumianku kwiat + zanieczyszczenia (rys. 60) zawartość polifenoli w surowcu przed procesem separacji w porównaniu do surowca po tym procesie jest inna. Rumianek k+z niepoddany procesowi separacji zawiera 1,903 mg  $\text{GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  polifenoli, podczas gdy ich średnia ilość w surowcu poddanego procesowi separacji wynosi 1,959 mg  $\text{GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  wahając się od 1,244 mg  $\text{GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  aż do 2,487 mg  $\text{GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$ . W przypadku rumianku k+z 200/30/70 zawartość polifenoli zmniejsza się wraz z wydłużeniem czasu separacji i wynosi 2,439 mg  $\text{GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  przy 20s, 2,260 mg  $\text{GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  przy 40s oraz 2,206 mg  $\text{GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  masy dla czasu separacji 60s.

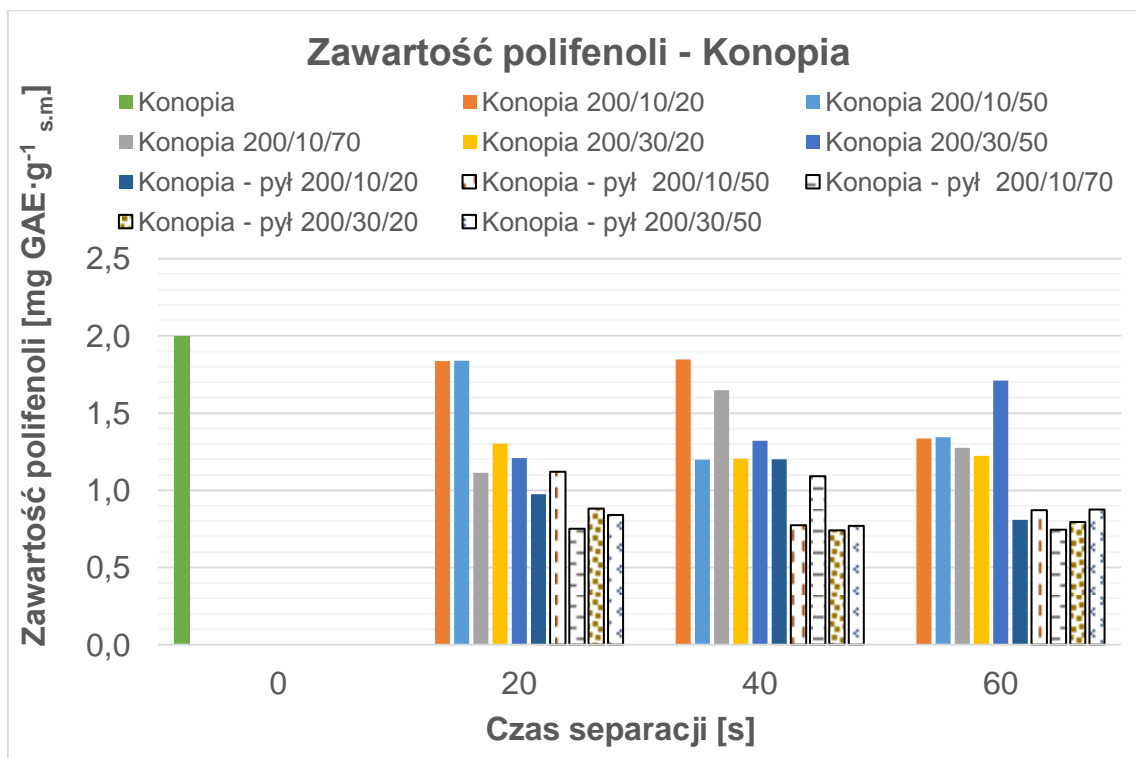
Zawartość polifenoli w pyłach uzyskanych w procesie separacji waha się od 0,907 mg  $\text{GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  dla rumianku k+z 200/30/50/20 do 1,772 mg  $\text{GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  dla rumianku k+z 200/50/50/20 co oznacza sporą stratę samego surowca przy tych parametrach procesu.



Rys. 61. Zawartość polifenoli w rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

Rumianek zanieczyszczenia + piasek (rys. 61) charakteryzuje się najmniejszą zawartością polifenoli w porównaniu do innych surowców - a ich ilość wynosi  $1,446 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  w przypadku surowca przed separacją i  $1,200\text{-}1,336 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  dla rumianku z+p po separacji.

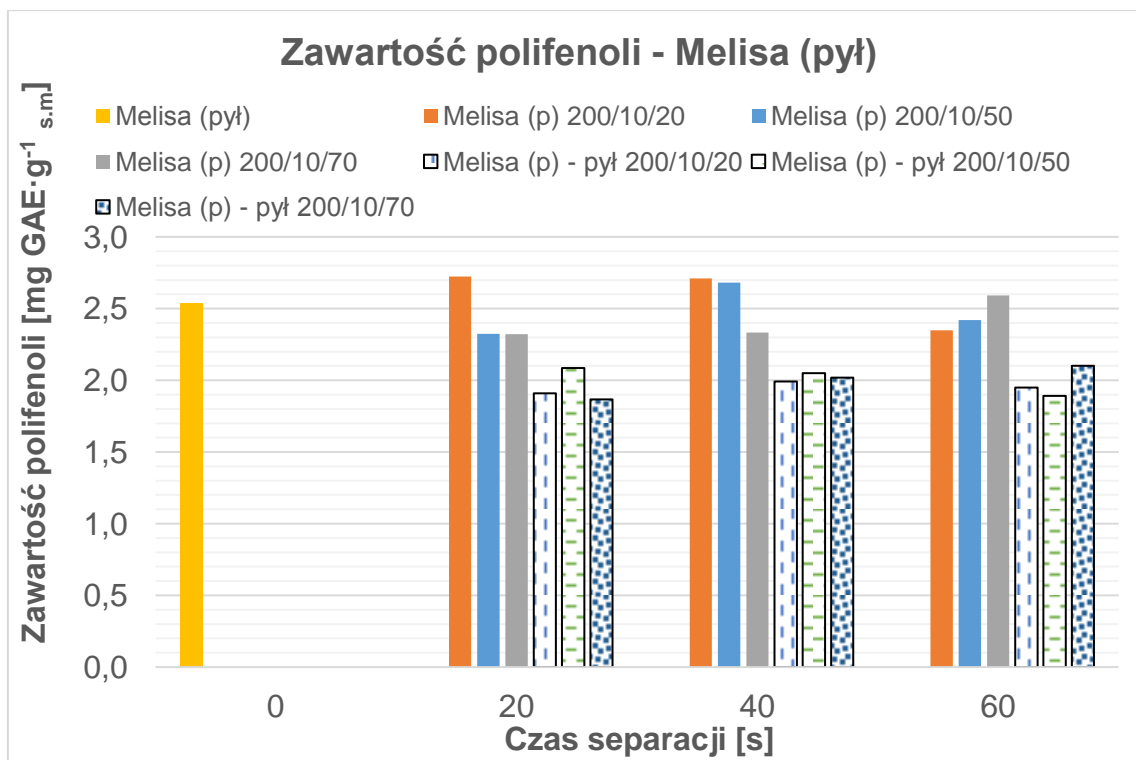
Zawartość polifenoli w pyłach uzyskanych w trakcie procesu jest nieco niższa i waha się od  $0,727 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  przy parametrach procesu  $200/50/70/40$  do  $0,978 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  przy  $200/50/70/20$ .



Rys. 62. Zawartość polifenoli w konopi przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

Analizując wykres (rys. 62) możemy stwierdzić, że największą zawartość polifenoli w przypadku konopi posiada surowiec niepoddany procesowi separacji – 1,997 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>. W przypadku surowca poddanego procesowi separacji ilość polifenoli to od 1,114 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> dla konopi 630/10/70/20 do 1,848 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> dla konopi 630/10/20/40. W przypadku konopi odseparowanej przy prędkości obrotowej głowicy 30 obr·min<sup>-1</sup> i natężeniu przepływu powietrza 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> wydłużenie czasu separacji wpływa także na zwiększenie zawartości polifenoli i wynosi 1,209 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> przy czasie separacji 20s, 1,321 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> przy 40s, oraz 1,711 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> przy 60s.

Ilość polifenoli w pyłach uzyskanych po separacji konopi jest nieco niższa, jednak tak jak w przypadku pozostałych surowców wciąż te związki występują. Zawartość związków polifenolowych w tym przypadku waha się od 0,741 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> przy konopi 630/30/20/40 do 1,200 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> przy konopi 630/10/20/40 – możemy więc zauważyć, że zarówno surowiec jak i pył uzyskany przy parametrach procesu 630/10/20/40 charakteryzują się najwyższym poziomem związków fenolowych.



Rys. 63. Zawartość polifenoli w melisie (pył) przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

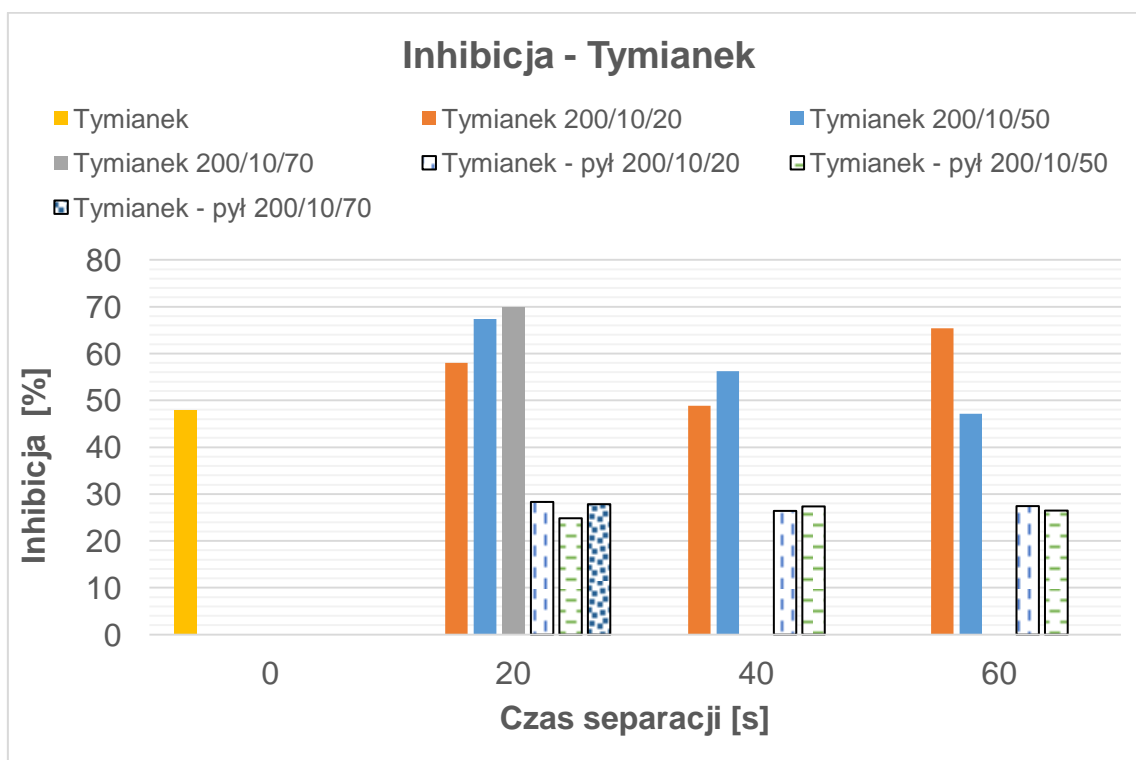
Melisa (pył), podobnie jak w przypadku rumianku kwiat + zanieczyszczenia, w stanie przed separacją nie posiada największej zawartości związków polifenolowych (rys. 63) – jego poziom wynosi 2,534 mg GAE·g<sup>-1</sup> s.m., podczas gdy w przypadku melisy (pył) ilość polifenoli wynosi od 2,322 do 2,724 mg GAE·g<sup>-1</sup> s.m. Najwyższą wartość uzyskano przy melisie (pył) odseparowanej przy parametrach procesu 200/10/20/20, natomiast najniższą – 200/10/70/20. Przy zwiększaniu prędkości obrotowej głowicy oraz natężenia przepływu strumienia powietrza przy czasie separacji 20s i 40s zawartość polifenoli maleje, natomiast w przypadku 60s. – zwiększa się.

Pyły uzyskane z separacji melisy (pył) posiadają największą zawartość polifenoli w porównaniu do pyłów uzyskanych z pozostałych surowców, a ich ilość waha się od 1,867 do 2,100 mg GAE·g<sup>-1</sup> s.m.

## 6.7. Wyniki pomiaru potencjału antyoksydacyjnego

Potencjał antyoksydacyjny stanowi kolejny główny wyznacznik, charakteryzujący skuteczność procesu separacji pyłów mineralnych z surowca – w tym przypadku również wartość tego parametru w surowcu powinna być większa, natomiast w oddzielonych pyłach – jak najmniejsza. Inaczej niż w przypadku zawartości związków polifenolowych, poddanie surowców procesowi separacji nie sprawia, że mają one także mniejszy potencjał

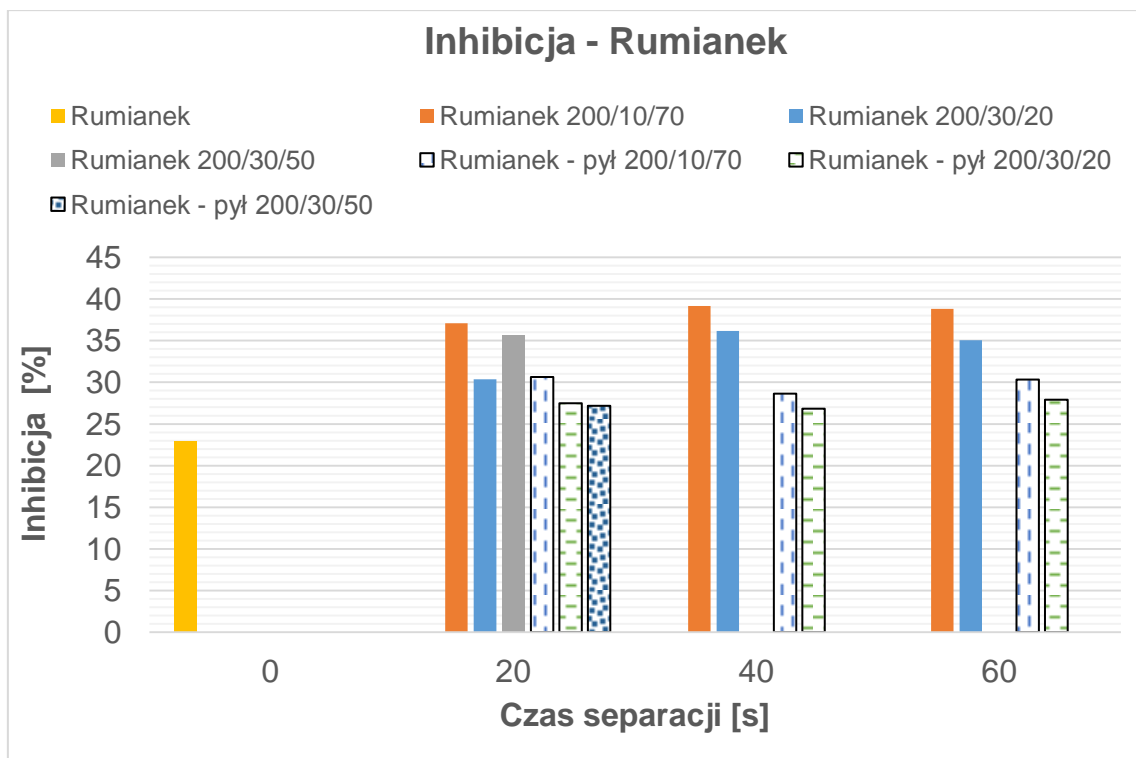
antyoksydacyjny. Wręcz przeciwnie – surowce niepoddane procesowi separacji charakteryzują się mniejszym [%] inhibicji od próbki uzyskane z surowca po procesie separacji. Pyły uzyskane po separacji charakteryzują się spadkiem [%] inhibicji w stosunku do separowanego materiału. Podobnie jak w przypadku zawartości polifenoli na podstawie uzyskanych wyników nie możemy jednoznacznie stwierdzić, że [%] inhibicji będzie proporcjonalnie rosnąć lub maleć wraz ze zwiększeniem parametrów procesu.



Rys. 64. Inhibicja tymianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

Z otrzymanych wyników możemy wnioskować, że inaczej niż w przypadku zawartości związków polifenolowych, poddanie surowca procesowi separacji nie sprawia, że ma on także mniejszy potencjał antyoksydacyjny. Wręcz przeciwnie – tymianek niepoddany procesowi separacji (rys. 64), charakteryzuje się jednym z najmniejszych % inhibicji 47,89, natomiast próbka uzyskana z surowca poddanego procesowi separacji przy największych parametrach natężenia przepływu ( $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ), cechuje także największy potencjał antyoksydacyjny – 69,89%.

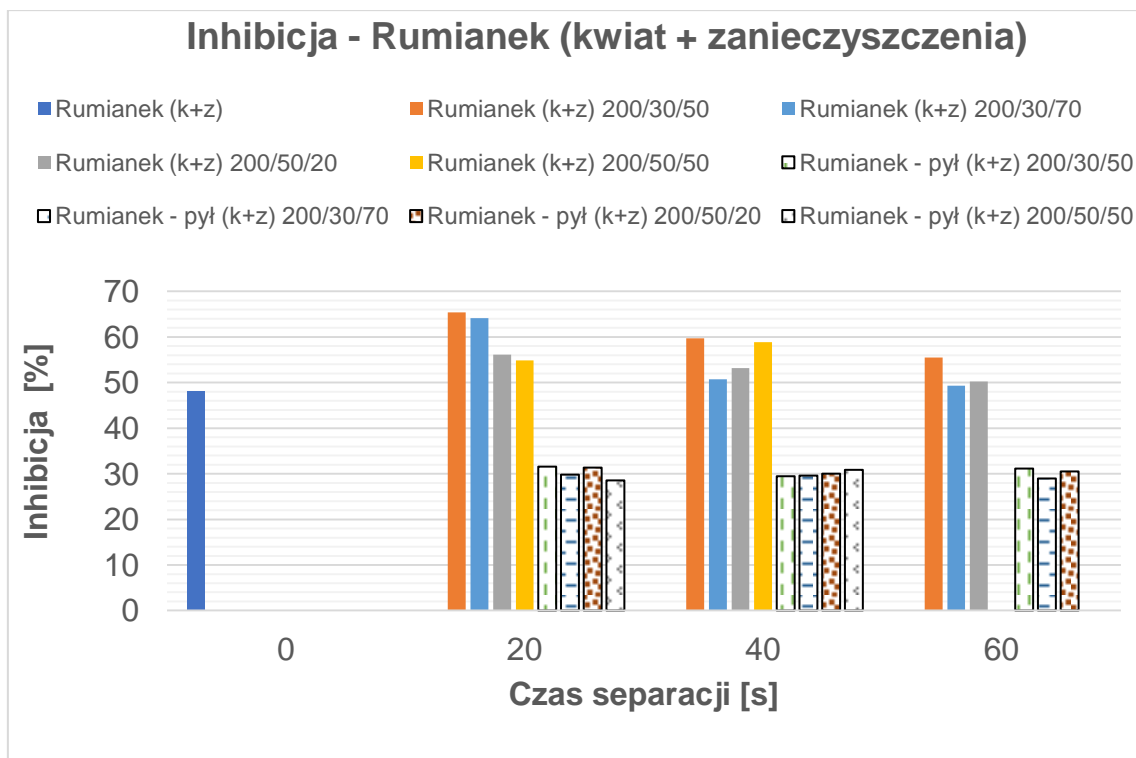
Natomiast pyły uzyskane po separacji charakteryzują się spadkiem [%] inhibicji nawet o połowę w stosunku do separowanego materiału, więc utrata potencjału antyoksydacyjnego tymianku jest znacznie większa, niż strata zawartości polifenoli.



Rys. 65. Inhibicja rumianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

Podobnie jak w przypadku tymianku, rumianek (rys. 65) przed procesem separacji ma mniejszy potencjał antyoksydacyjny (inhibicja 22,94%) niż odseparowany surowiec. Rumianek po procesie separacji charakteryzował się najmniejszym % inhibicji, na poziomie 30,37 przy parametrach procesu separacji 200/30/20/20, natomiast największym przy 200/10/70/40 - inhibicja 39,16%.

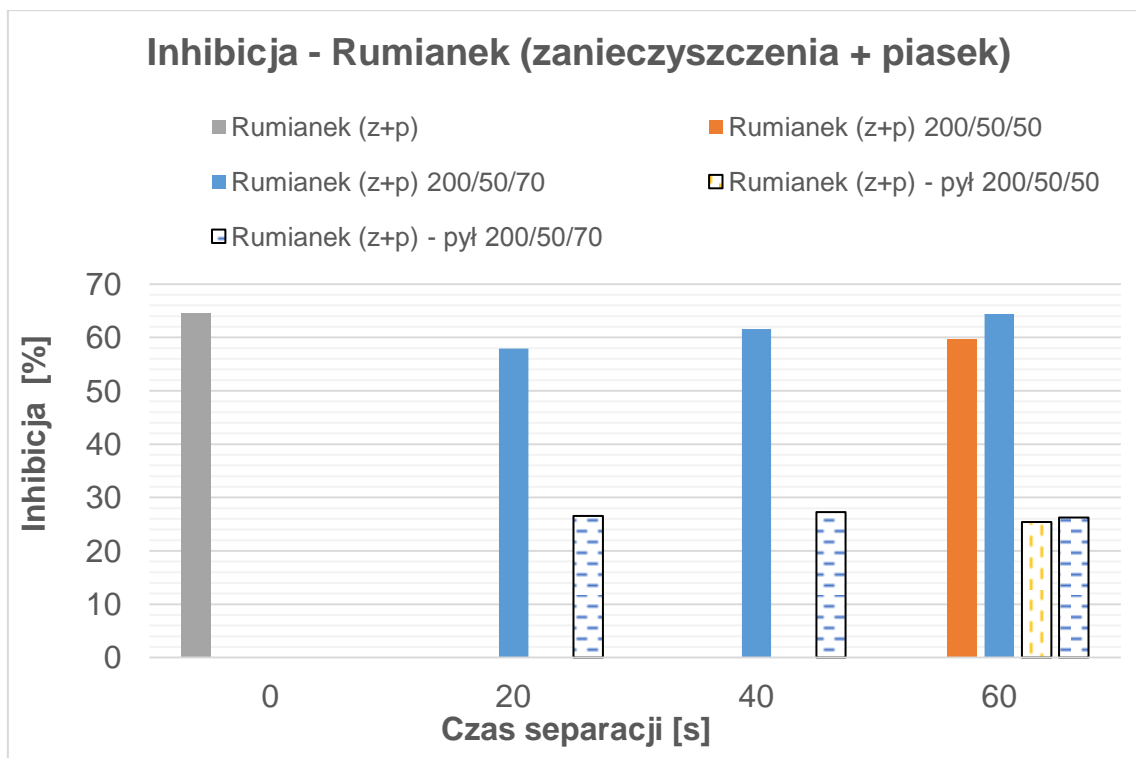
Potencjał antyoksydacyjny pyłu uzyskanego w procesie separacji, choć jeden z najniższych w porównaniu do pyłów uzyskanych z separacji innych surowców, również jest stosunkowo wysoki - % inhibicji wynosi w tym przypadku 12,84-16,63.



Rys. 66. Inhibicja rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

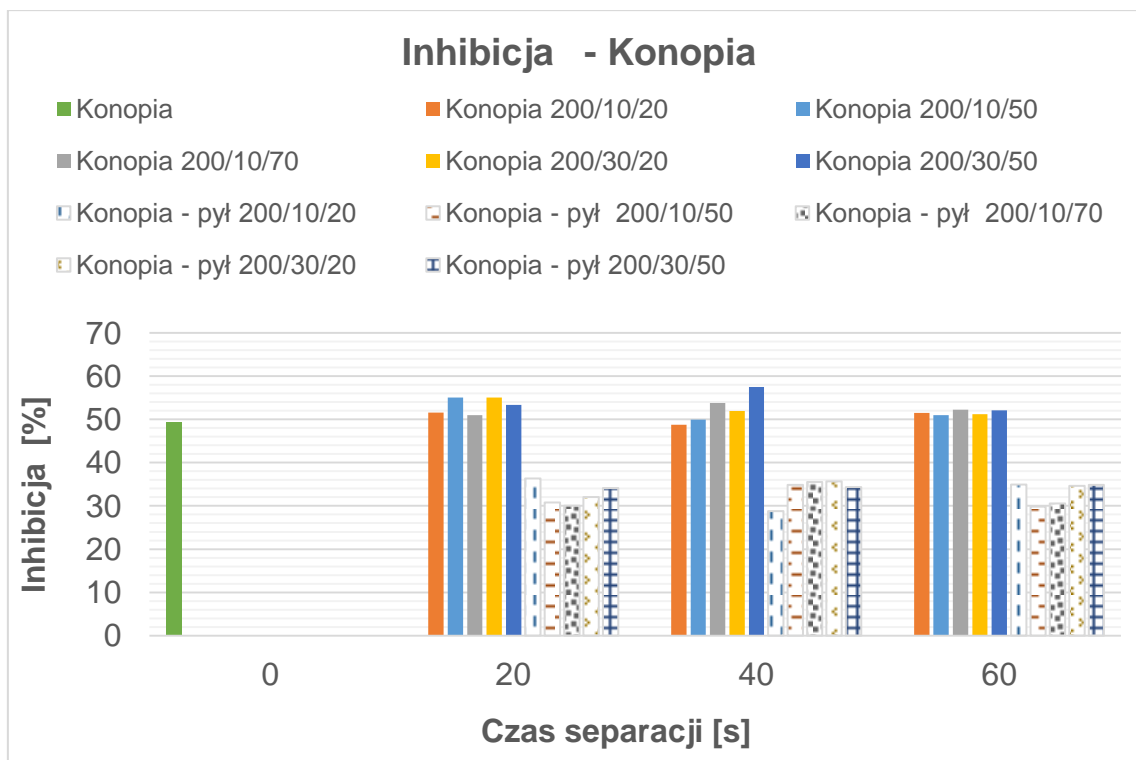
Potencjał antyoksydacyjny rumianku kwiat + zanieczyszczenia (rys. 66) jest zbliżony do potencjału tymianku - w stanie przed separacją % inhibicji wynosi 48,21. W przypadku surowca poddanego procesowi separacji przy parametrach procesu 200/30/50 oraz 200/30/70 wraz ze zwiększaniem czasu separacji potencjał antyoksydacyjny maleje – odpowiednio 65,37%, 59,68% i 55,47% dla natężenia przepływu strumienia powietrza  $50\text{m}^3/\text{h}$  oraz 64,11, 50,74 i 49,31 przy natężeniu przepływu  $70\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . Jednak wszystkie wartości % inhibicji dla surowca poddanego procesowi separacji są wyższe od rumianku k+z przed separacją i wynoszą od 49,31% do 65,37%. Potencjał antyoksydacyjny pyłu uzyskanego w procesie separacji jest dwukrotnie mniejszy i mieści się w zakresie 28,53-31,58%.





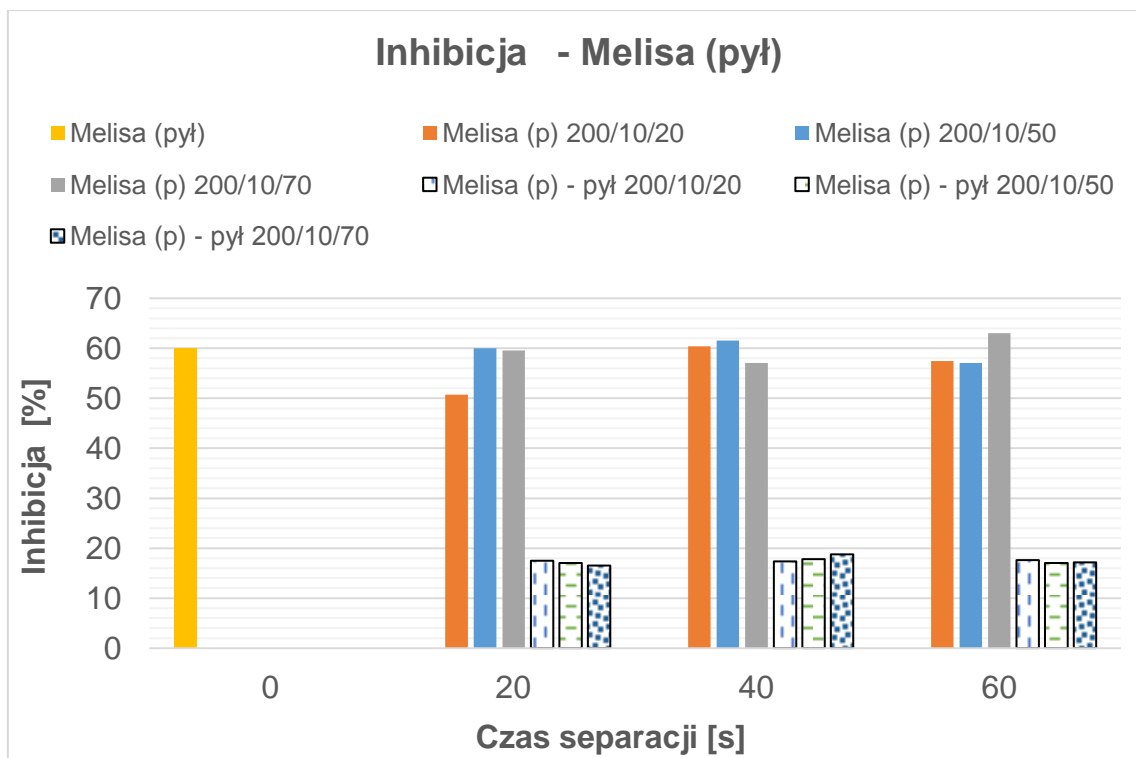
Rys. 67. Inhibicja rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

W przypadku rumianku zanieczyszczenia + piasek (rys. 67) % inhibicji surowca przed procesem separacji wynosi 64,63, podczas gdy jego wartość w przypadku rumianku z+p poddanego procesowi separacji mieści się w zakresie 67,89%-74,42%. Najmniejsza wartość występuje w przypadku rumianku z+p 200/50/70/20, natomiast największa 200/50/70/60. Analizując wyniki pokazane na wykresie możemy zauważyć, że w przypadku rumianku z+p separowane go przy parametrach procesu 200/50/70 wraz z wydłużeniem czasu separacji zwiększa się również potencjał antyoksydacyjny. Oddzielone pyły mają ponad dwukrotnie niższy % inhibicji - od 25,37% w przypadku pyłu uzyskanego przy rumianku z+p 200/50/50/60 do 27,26% przy 200/50/70/40.



Rys. 68. Inhibicja konopi przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

W przypadku konopi (rys. 68) % inhibicji surowca niepoddanego procesowi separacji nie jest jednoznacznie wyższy w porównaniu do surowca po separacji. Potencjał antyoksydacyjny konopi wynosi 49,37% natomiast najniższą wartość % inhibicji występuje dla konopi 630/10/20/40 i wynosi 48,74%. Jednak kolejne wartości już są wyższe i wahają się od 49,89% dla konopi 630/10/50/40 do 57,47% przy parametrach procesu 630/30/50/40. W przypadku pyłów również najniższa wartość % inhibicji występuje w przypadku konopi separowanej przy parametrach procesu 630/10/20/40 wynosząc 28,74%. Natomiast najwyższy potencjał antyoksydacyjny wykazuje pył z konopi 630/10/20/20 - 36,32%.

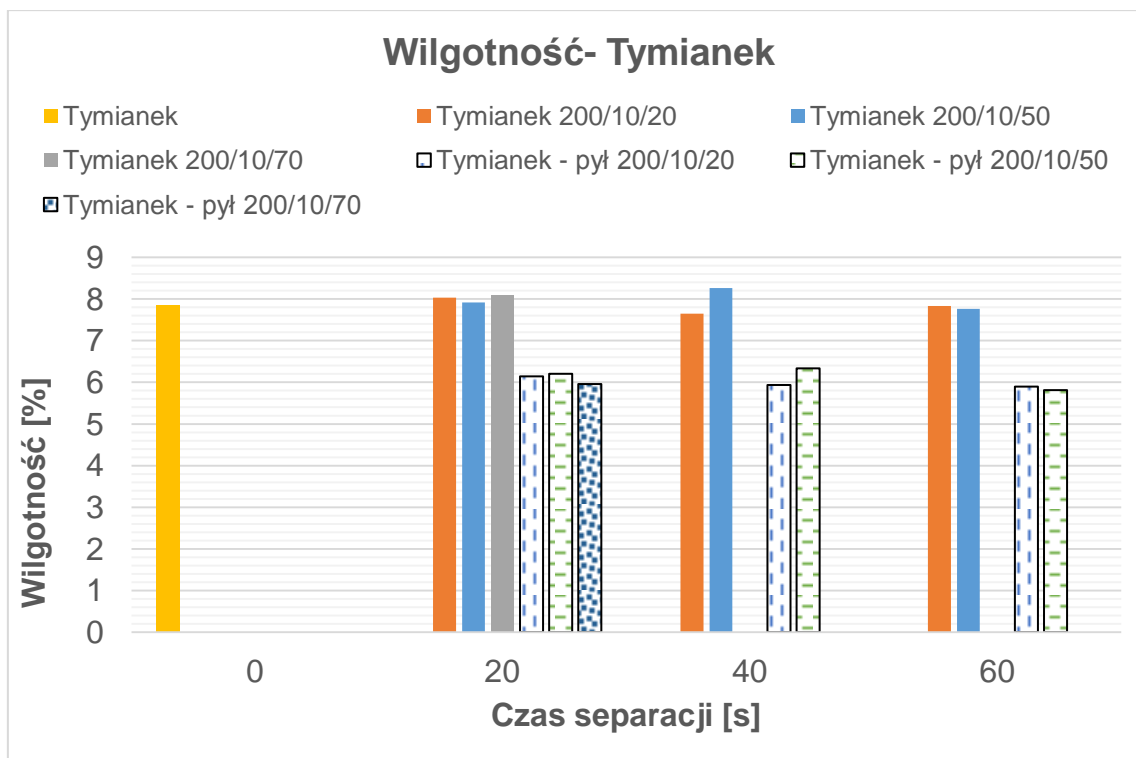


Rys. 69. Inhibicja melisy (pył) przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

Inhibicja melisy (pył) przed separacją wynosi 60%, tyle samo co w przypadku melisy 10/50/20 (rys 69). Potencjał pozostałych surowców waha się od 50,54% dla melisy 200/10/20/20 do 63,06% dla najwyższych parametrów procesu separacji melisy (pył) - 200/10/70/60. Pyły uzyskane z separacji melisy (pył) charakteryzują się zdecydowanie niższym potencjałem antyoksydacyjnym - jego najniższa wartość wystąpiła dla melisy (pył) 200/10/70/20 - 16,53 a najwyższa 18,74% przy 200/10/70/40.

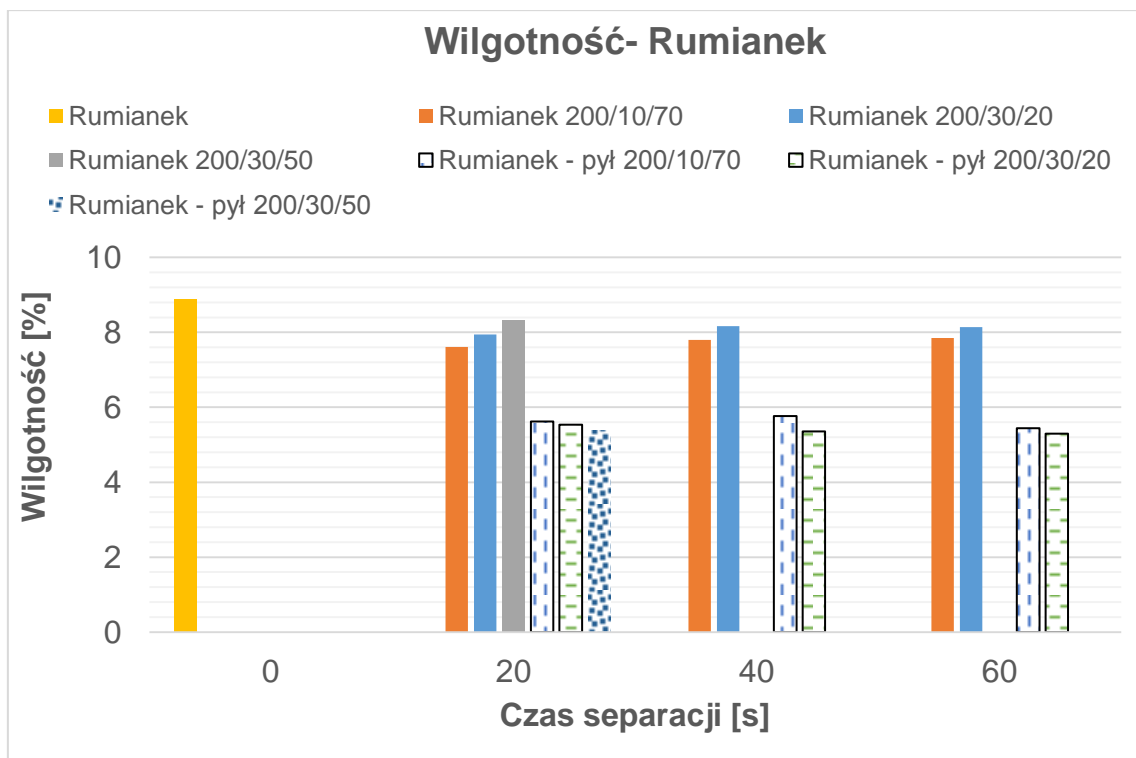
## 6.8. Wyniki pomiaru wilgotności

Wilgotność wszystkich surowców mieściła się w granicach wilgotności uznanej za bezpieczną w procesie magazynowania. Analiza wilgotności pozwala stwierdzić, że w przypadku rumianku i melisy (pył) poddanych procesowi separacji zwiększanie parametrów procesu (prędkości obrotowej głowicy z 10 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup> do 30 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup> oraz natężenia przepływu powietrza z 20 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup> do 70 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>) zwiększało także wilgotność surowca. Dla pozostałych surowców zależność ta nie występuje. Pyły uzyskane w procesie separacji charakteryzują się niższą wartością wilgotności od surowca zielarskiego – wyjątek stanowi jedynie konopia. Przyczyną prawdopodobnie jest fakt, że w odseparowanych pyłach jest mniej materiału biologicznego.



Rys. 70. Procentowa wilgotność tymianku przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów

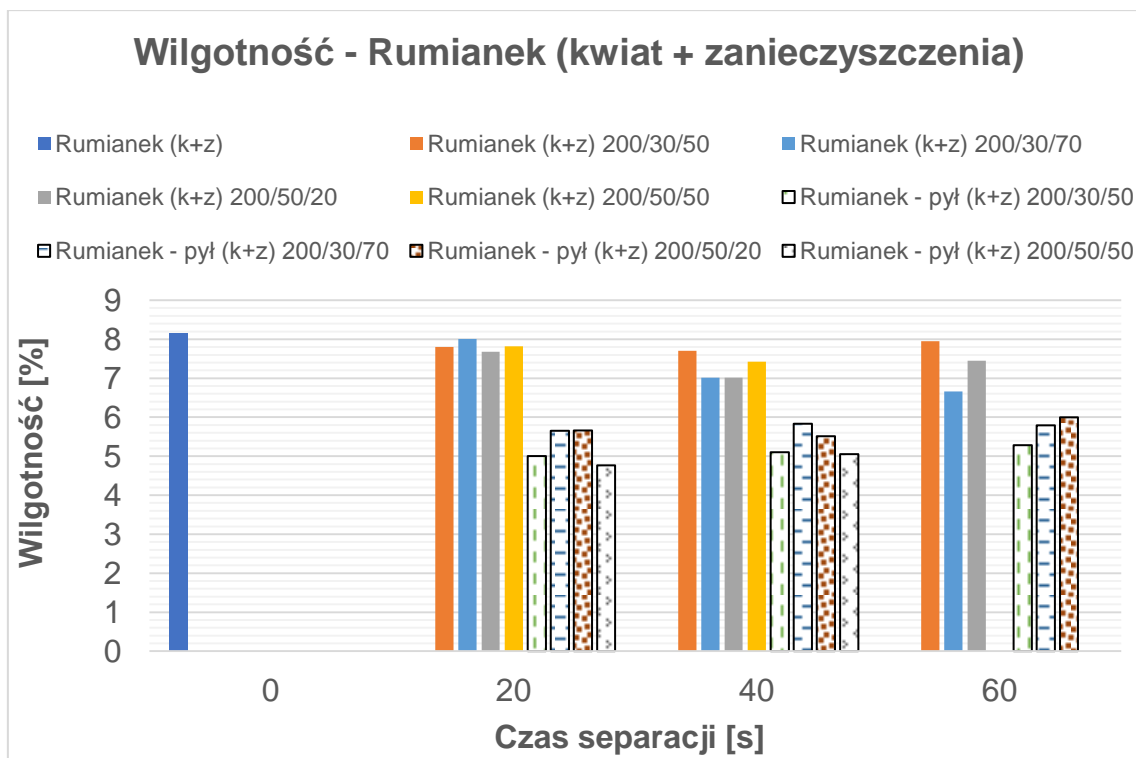
Wyniki z przeprowadzonych oznaczeń wilgotności tymianku przedstawiono na wykresie (rys. 70). Zawartość wody w tymianku niepoddanego procesowi separacji oraz surowca odseparowanego nie różnią się znacząco – 7,84% w przypadku tymianku oraz od 7,65% do 8,26% w przypadku tymianku po separacji. Odseparowane pyły charakteryzowały się nieco niższą wilgotnością od tymianku – w tym przypadku zawartość wody wahała się od 5,89% do 6,33%.



Rys. 71. Procentowa wilgotność rumianku przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów

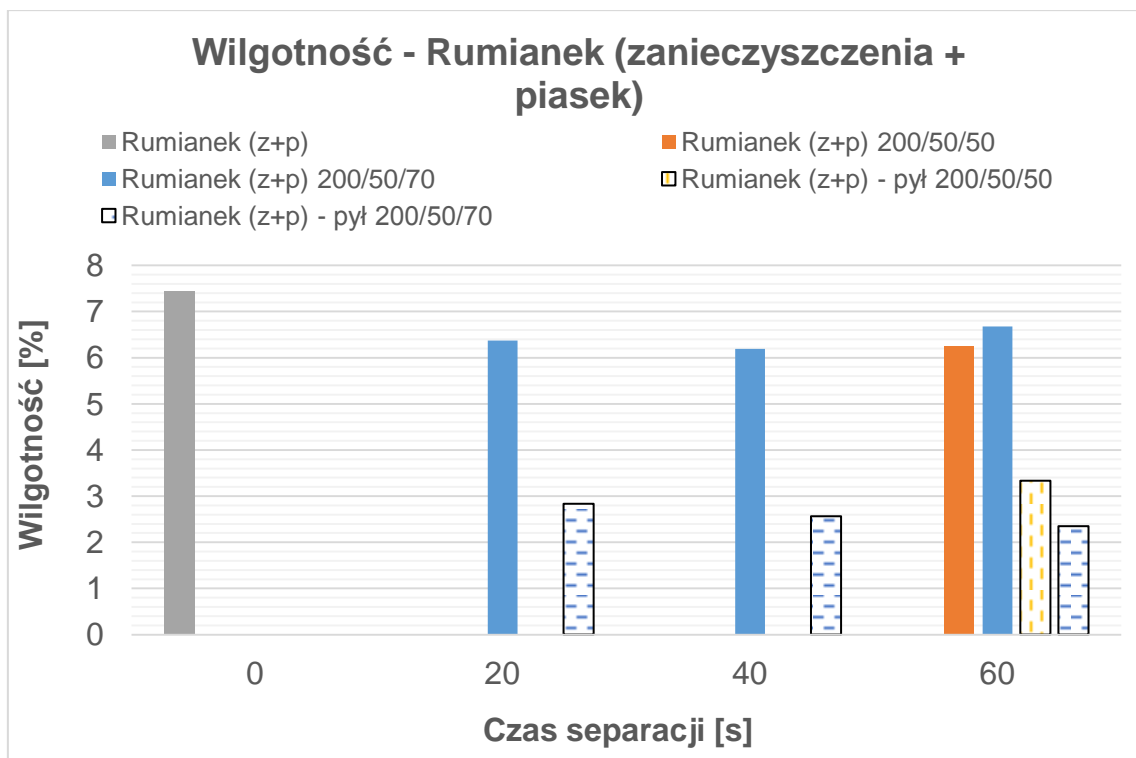
W przypadku rumianku surowiec niepoddany procesowi separacji charakteryzował się wyższą wilgotnością od surowca po procesie separacji, która wynosiła 8,88% (rys. 71). W przypadku rumianku poddanemu procesowi separacji zwiększanie parametrów procesu (prędkości obrotowej głowicy z 10 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup> do 30 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup> oraz natężenia przepływu powietrza z 20 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup> do 50 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>) zwiększało także wilgotność surowca. Pośród rumianku poddanego procesowi separacji największą wilgotnością charakteryzowała się próbka odseparowana przy parametrach procesu 200/30/50/20.

W przeciwieństwie do surowca po separacji wilgotność pyłów uzyskanych w tym procesie cechowała się zmniejszeniem procentowej wilgotności wraz ze zwiększeniem parametrów procesu separacji.



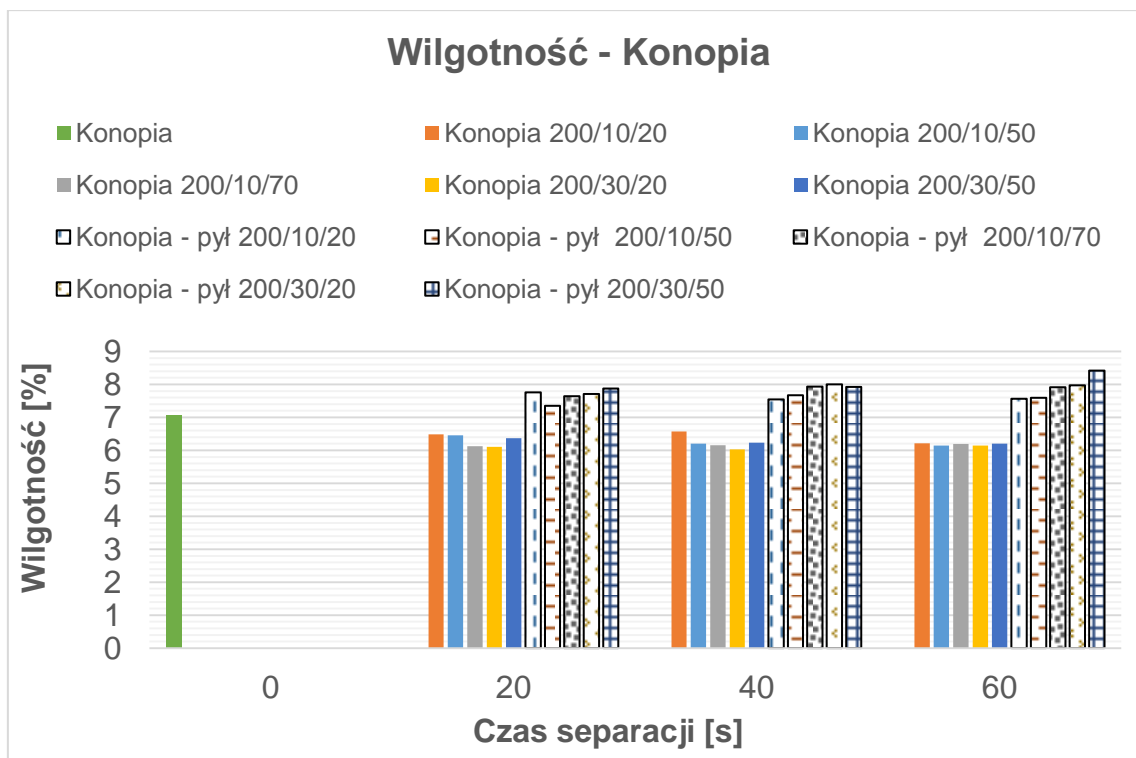
Rys. 72. Procentowa wilgotność rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów

Podobnie jak w przypadku tymianku, zawartość wody w rumianku k+z (rys. 72) niepoddanego procesowi separacji oraz surowca odseparowanego w czasie 20s nie różnią się znacząco – 8,14% w przypadku rumianku k+z oraz od 7,68% do 8,01% w przypadku rumianku k+z po separacji. Dla rumianku k+z procentowa wilgotność przy czasie separacji 40% wynosi 7,01%-7,71%, natomiast przy 60s – od 6,66% do 7,95%. Również w tym przypadku odseparowane pyły charakteryzowały się nieco niższą wilgotnością od pierwotnego surowca – ich wilgotność wahała się od 4,77% do 5,99%.



Rys. 73. Procentowa wilgotność rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów

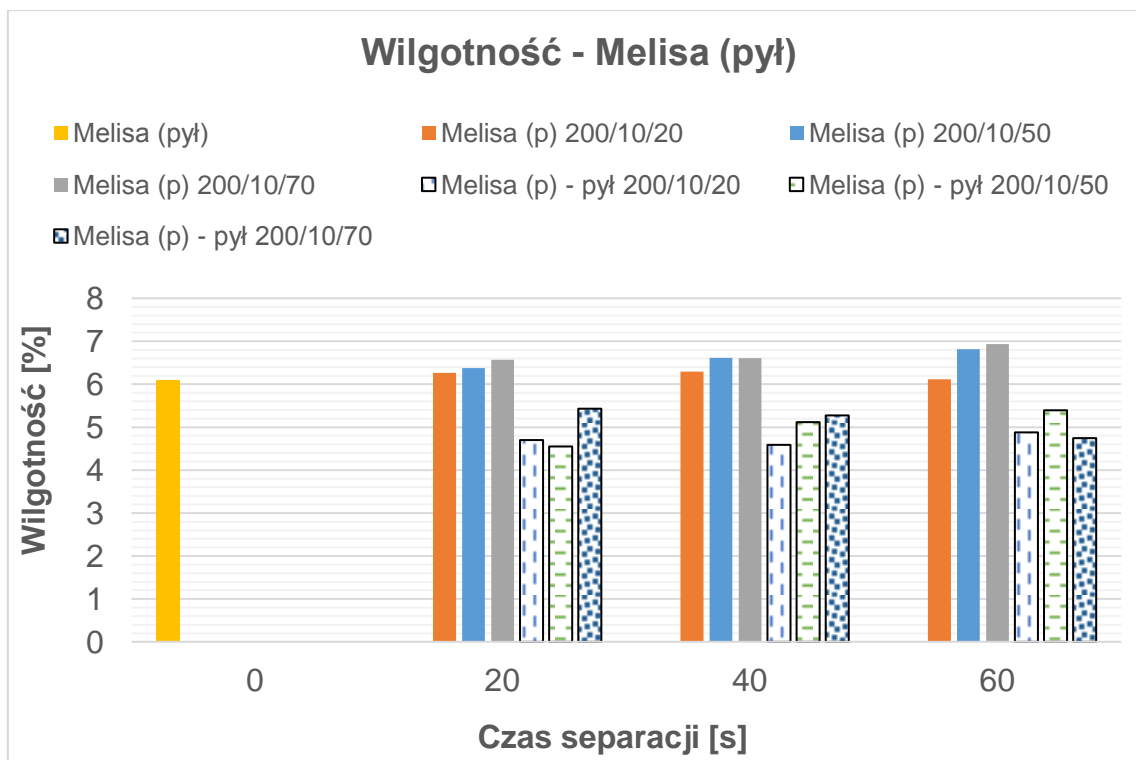
Procentowa wilgotność rumianku zanieczyszczenia + piasek (rys. 73) przed procesem separacji wynosi 7,43%, podczas gdy wilgotność rumianku z+p poddanego procesowi separacji waha się od 6,19% dla rumianku z+p 200/50/70/40 do 6,67% dla rumianku 200/50/70/60. Wilgotność pyłów poseparacyjnych jest około dwukrotnie mniejsza i waha się od 2,57% do 3,34%.



Rys. 74. Procentowa wilgotność konopi przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów

Wilgotność konopi niepoddanej procesowi separacji (rys. 74) wynosi 7,07%, podczas gdy wilgotność konopi po procesie separacji waha się od 6,03% dla konopi 630/30/20/40 do 6,57% przy parametrach procesu 630/10/20/40, więc różnica nie jest znacząca. Jednak w przeciwieństwie do pozostałych surowców konopia, zarówno przed jak i po procesie separacji, charakteryzuje się mniejszą wilgotnością niż uzyskane w procesie separacji pyły – ich wilgotność mieści się w zakresie od 7,35% do 8,42%.



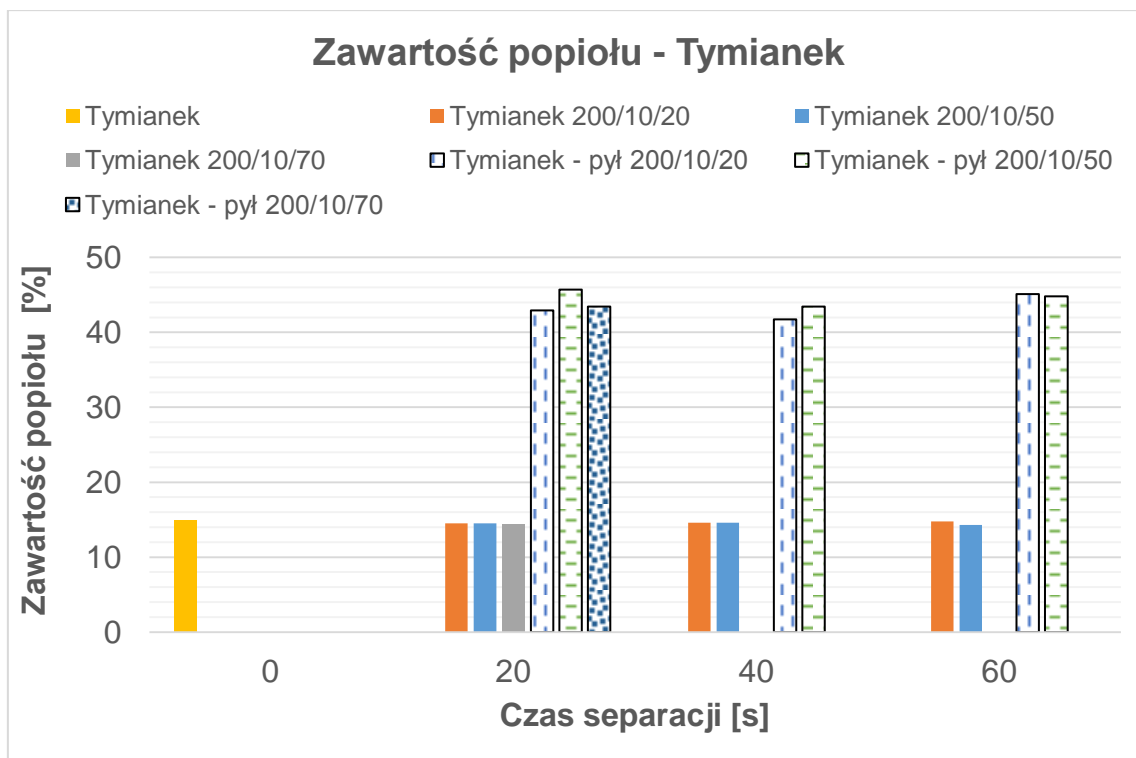


Rys. 75. Procentowa wilgotność melisy (pył) przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów

Wilgotność melisy (pył) niepoddanej procesowi separacji (rys. 75) jest nieco niższa, niż melisy po procesie separacji i wynosi 6,09%. Wartość wilgotności dla melisy (pył) poddanej procesowi separacji waha się od 6,12% dla melisa (pył) 200/10/20/60 do 6,94% przy parametrach procesu 200/10/70/60. Wilgotność pyłu po separacji jest najmniejsza dla 200/10/50/20 - 4,55%, a największa (wynosząca 5,43%) dla pyłu odseparowanego przy parametrach procesu 200/10/70/20.

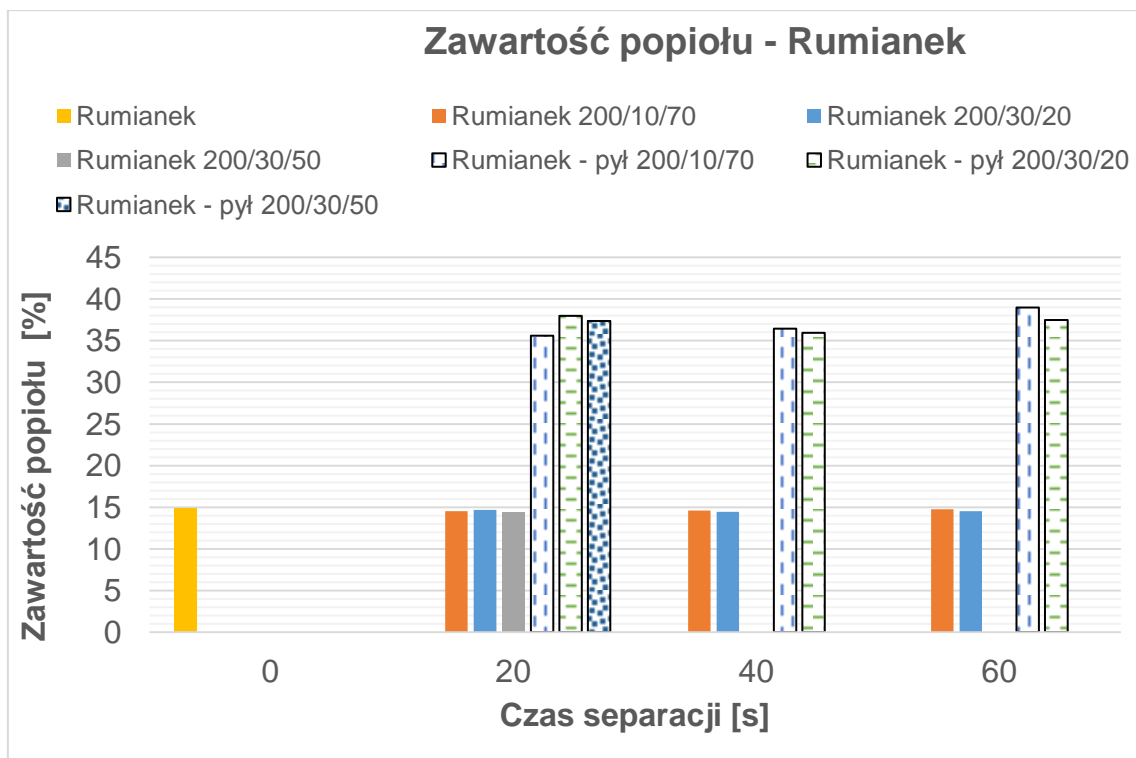
## 6.9. Wyniki pomiaru zawartości popiołu

Zawartość popiołu stanowi trzeci główny wyznacznik, charakteryzujący skuteczność procesu separacji pyłów mineralnych z surowca – jednak w tym przypadku wartość tego parametru dla surowca podstawowego powinna być niższa, natomiast w oddzielonych pyłach – jak największa. Wyższa zawartość popiołu w uzyskanych pyłach, w porównaniu do surowca zielarskiego, świadczy o usunięciu w procesie separacji większości zanieczyszczeń mineralnych, co jest zgodne z założeniami problemu badawczego. Nie można jednak całkowicie wykluczyć obecności drobnych tych związków w odseparowanym surowcu. Na podstawie analizy wyników badań nie możemy określić jednoznacznego wpływu zwiększenia parametrów procesu separacji na zawartość popiołu w odseparowanych surowcach.



Rys. 76. Procentowa zawartość popiołu w tymianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

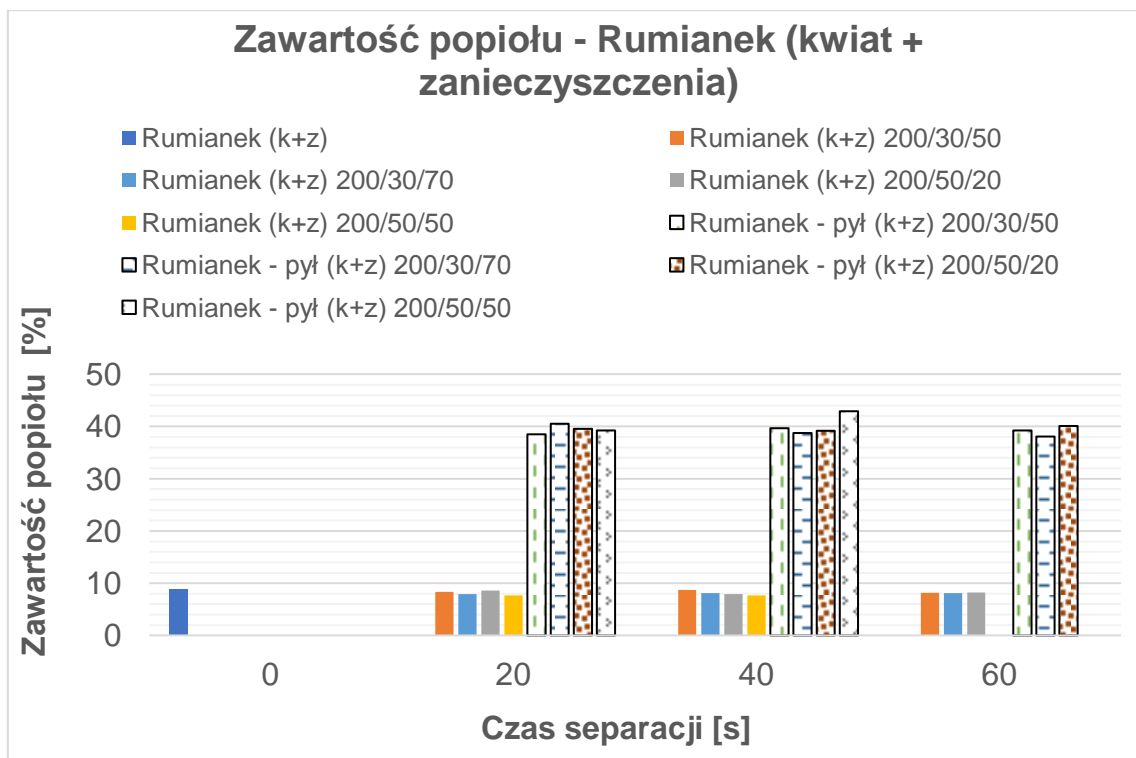
Największą zawartością popiołu, a tym samym większą ilością związków mineralnych, charakteryzują się pyły uzyskane w procesie separacji tymianku (rys. 76), w których jego udział wynosi od 41,745% w przypadku pyłu odseparowanego od tymianku przy parametrach procesu 200/10/20/40 do 45,717% przy tymianku 200/10/50/20. Sam surowiec, zarówno przed jak i po procesie separacji cechuje mniejsza zawartość popiołu, którego ilość waha się od 14,317% do 14,751% w przypadku surowca poddanego procesowi separacji oraz 14,993% w tymianku przed separacją.



Rys. 77. Procentowa zawartość popiołu w rumianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

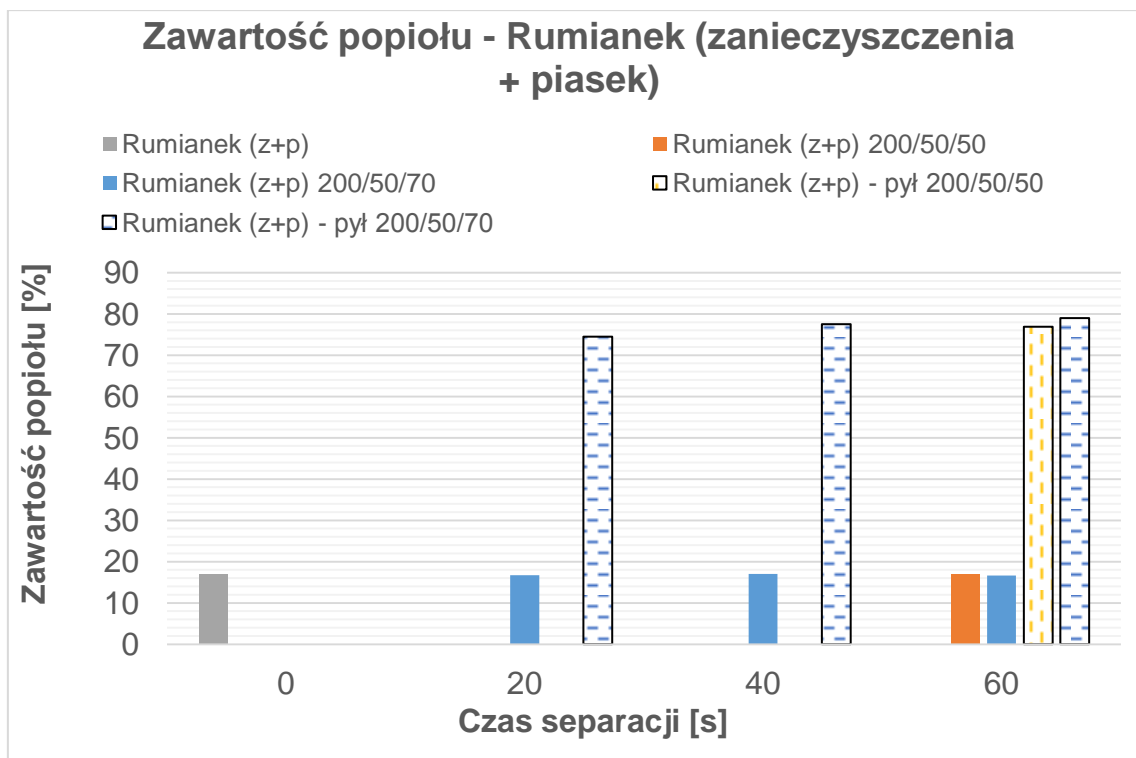
Rumianek niepoddany procesowi separacji (rys. 77) zawiera 14,86% popiołu. W przypadku surowca separowanego w czasie 20s najwięcej popiołu zawiera rumianek odseparowany przy parametrach procesu 200/30/20 – 14,68%, natomiast przy 40s i 60s – rumianek 200/10/70.

Pyły odseparowane od rumianku charakteryzują się ponad dwukrotnie większą zawartością popiołu w porównaniu do surowca przed separacją. W przypadku pyłów odseparowanych przy parametrach procesu 200/10/70 wraz z wydłużeniem czasu separacji zwiększa się również zawartość popiołu – odpowiednio 35,58% przy 20s, 36,42% przy 40s i 38,99% przy 60s.



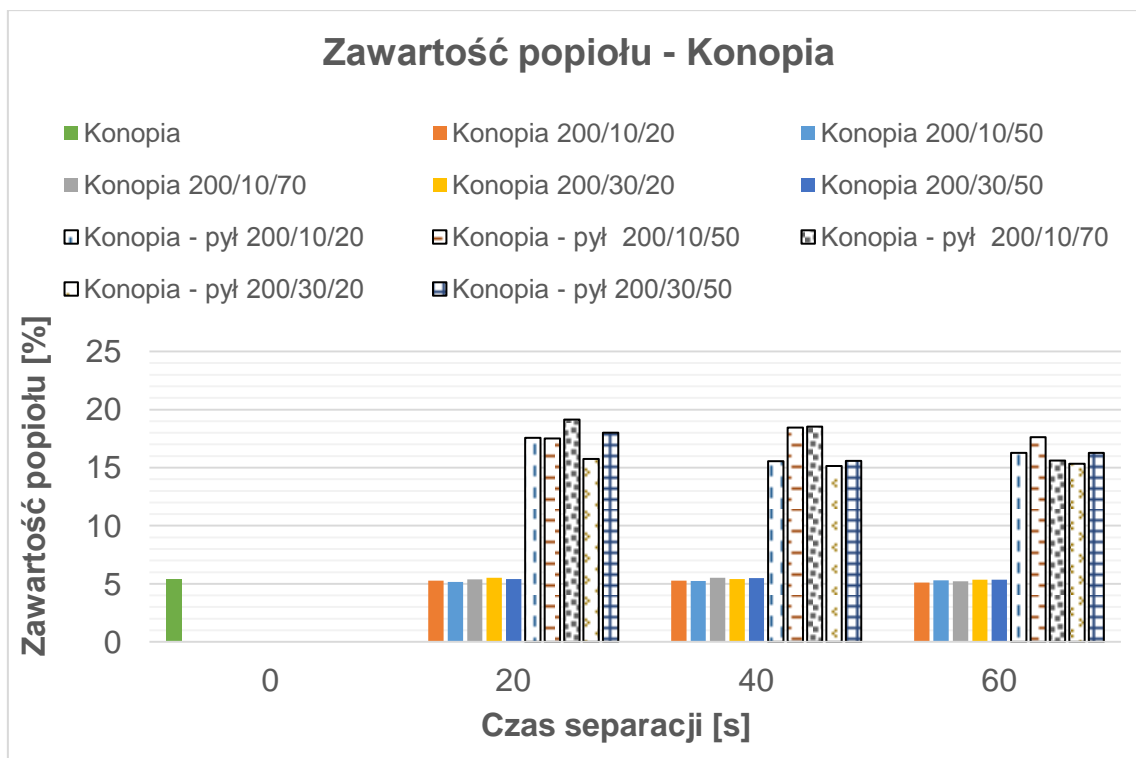
Rys. 78. Procentowa zawartość popiołu w rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

Rumianek kwiat + zanieczyszczenia niepoddany procesowi separacji (rys. 78) posiada największą zawartość popiołu na poziomie 8,92%, jednak w przypadku surowca po procesie separacji ilość związków mineralnych jest niewiele niższa – ich wartość waha się od 7,66% dla rumianku k+z odseparowanego przy parametrach procesu 200/50/50 do 8,71% przy 200/30/50/40. Zawartość popiołu w pyłach uzyskanych w procesie separacji jest prawie pięciokrotnie wyższa wynosząc 38,1-42,94%



Rys. 79. Procentowa zawartość popiołu w rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

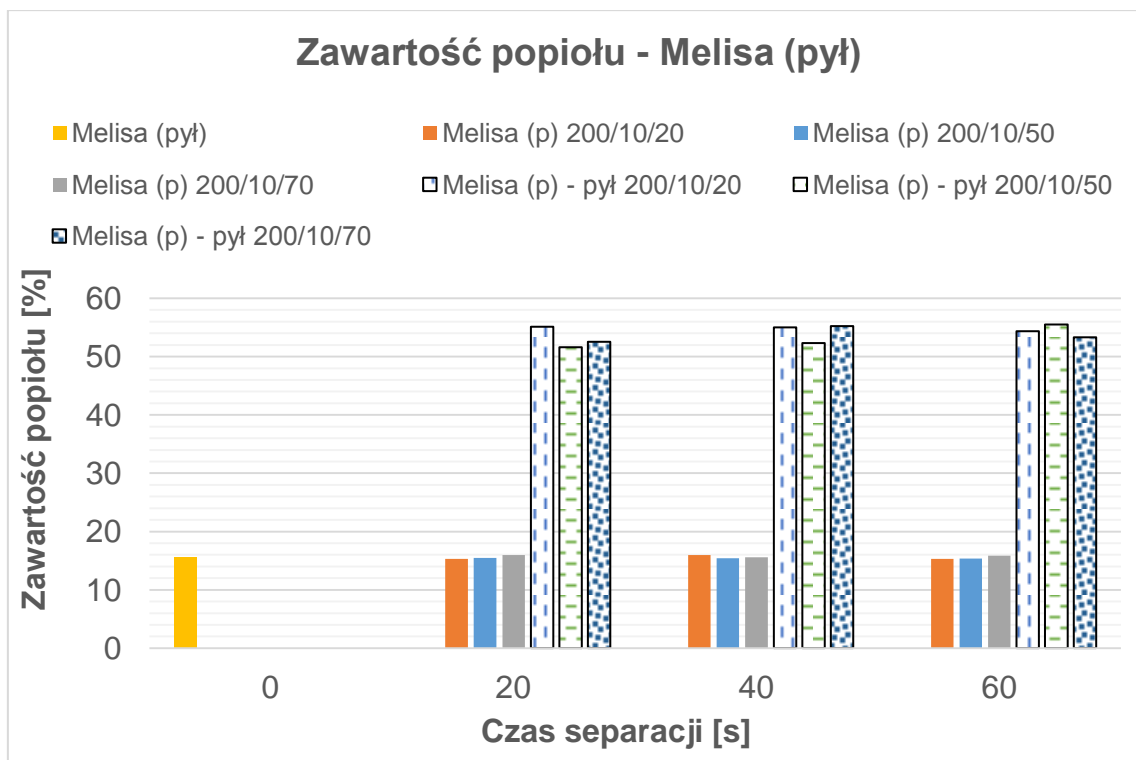
W przypadku rumianku zanieczyszczenia + piasek (rys. 79) największą zawartość popiołu posiada rumianek z+p odseparowany przy parametrach procesu 200/50/40 – 17%. Niewiele mniej popiołu (16,95%) zawiera rumianek z+p 200/50/50/60. Rumianek niepoddany procesowi separacji charakteryzuje się zawartością popiołu na poziomie 16,87%. Najmniejszą ilość związków mineralnych odnotowano przy rumianku z+p 200/50/70/20 – 16,73% oraz 200/50/70/60 – 16,66%. Pyły uzyskane po procesie separacji rumianku z+p posiadały największą zawartość popiołu w porównaniu do pyłów uzyskanych przy separacji pozostałych surowców – ich ilość waha się do 74,49% do 78,97%.



Rys. 80. Procentowa zawartość popiołu w konopi przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

Zawartość popiołu w konopi przed procesem separacji wynosi (rys. 80) 5,39%, czyli niewiele powyżej średniej zawartości popiołu w konopi po procesie separacji wynoszącej 5,34% - przy czym najniższą wartość stanowi zawartość popiołu konopi 360/10/20/60 – 5,12%, natomiast najwyższą konopi odseparowanej przy parametrach procesu 630/10/70/40 oraz 360/30/20/20 – 5,52%.

Pyły uzyskane z procesu separacji konopi posiadają najmniejszą ilość popiołu w porównaniu z pyłami uzyskanymi z innych surowców – od 15,14% w przypadku konopi 630/30/20/40 do 19,12% przy 630/10/70/20.



Rys. 81. Procentowa zawartość popiołu w melisie (pył) przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach

Zawartość popiołu w melisie (pył) poddanej procesowi separacji waha się do 15,31% przy parametrach procesu 200/10/20/60 do 15,98% przy 200/10/70/20 (rys 81). W melisie (pył) przed procesem separacji wartość ta wynosi 15,62%. W przypadku melisy 200/10/20 przy czasie separacji 20s. i 60s. zawartość popiołu zwiększa się wraz ze zwiększeniem natężenia przepływu strumienia powietrza z  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  przez  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  do  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  – odpowiednio 15,32%, 15,5% i 15,98% dla 20s oraz 15,31%, 15,35% i 15,88% dla czasu separacji 60s. Zawartość związków mineralnych w pyłach poseparacyjnych mieści się w przedziale 51,62-55,5%.

### 6.10. Analiza statystyczna

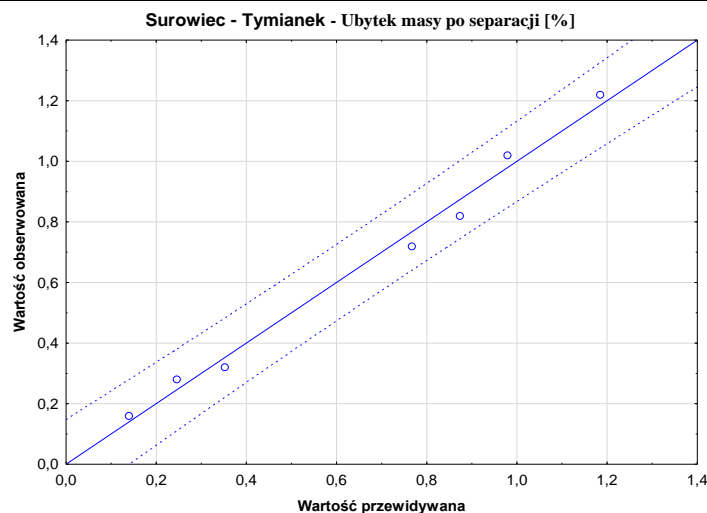
Otrzymane dla surowca wyniki ubytku masy po separacji, zawartości polifenoli oraz potencjału antyoksydacyjnego i zawartości popiołu pozwoliły na opracowanie równań regresji metodą czynnika w oparciu o stosowane zakresy natężenia przepływu ( $v$ ), obrotów dyszy pneumatycznej separującej ( $n$ ) oraz czasu procesu ( $t$ ). Równanie poddano estymacji nieliniowej eliminując efekty nieistotne co zostało przedstawione dla poszczególnych surowców w tabelach 1 do 5 wraz z otrzymanymi współczynnikami determinacji.

Dodatkowo zależność wartości obserwowanych od obliczonych poszczególnych wyznaczników wraz z 95% przedziałem ufności przedstawiono na rysunkach 82 do 98.

W przypadku tymianku udało się opracować zależności matematyczne charakteryzujące się wysokimi współczynnikami determinacji w zakresie 0,8 do 0,99 (tabela 1) dla ubytku surowca masy po separacji i zawartości popiołu w surowcu po separacji. Jednak w przypadku zawartości polifenoli wartość ta była tylko zadawalająca ( $R^2=0,73$ ) zaś dla potencjału antyoksydacyjnego otrzymana zależność charakteryzowała się bardzo niską wartością jakości dopasowania ( $R^2=0,42$ ).

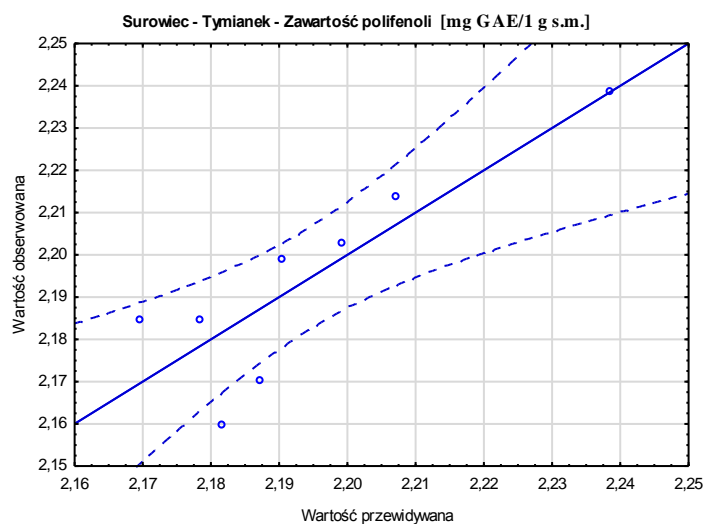
Tabela 1. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych tymianku uzyskane po procesie separacji w analizowanym zakresie badawczym

Parametr	Wzór	$R^2$
Ubytek masy po separacji [%]	$u_o = 619,1 \cdot v - 227,3 \cdot n + 91,71 \cdot t + 22,73 \cdot v \cdot n - 9,17 \cdot v \cdot t - 6191$	0,99
Zawartość polifenoli [mg GAE/g s.m.]	$p_{oli} = -0,005 \cdot v - 0,45 \cdot n + 104,31 \cdot t + 0,045 \cdot v \cdot n - 10,43 \cdot n \cdot t + 2,239$	0,73
Potencjał antyoksydacyjny - [%] inhibicji	$i_{ant} = 1,521 \cdot v + 0,096 \cdot n - 2,518 \cdot t + 0,23 \cdot v \cdot n - 9,17 \cdot v \cdot t - 47,89$	0,42
Zawartość popiołu [%]	$u_o = -0,029 \cdot v - 1,346 \cdot n - 105,2 \cdot t + 0,134 \cdot v \cdot n + 10,52 \cdot v \cdot t + 14,99$	0,8

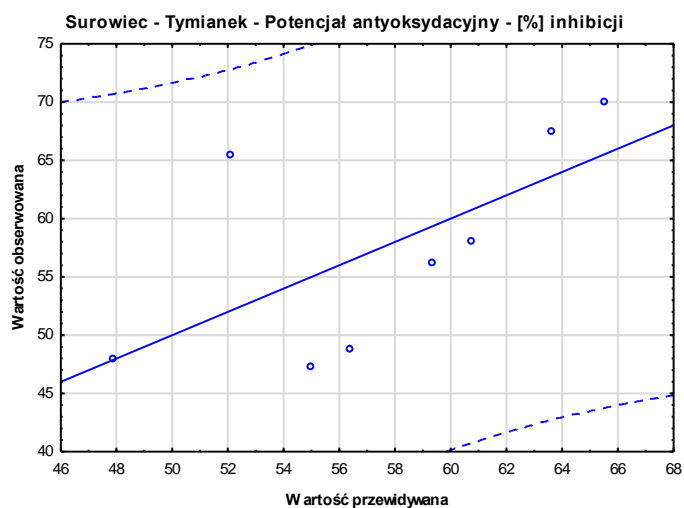


Rys. 82. Ubytek masy po separacji tymianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

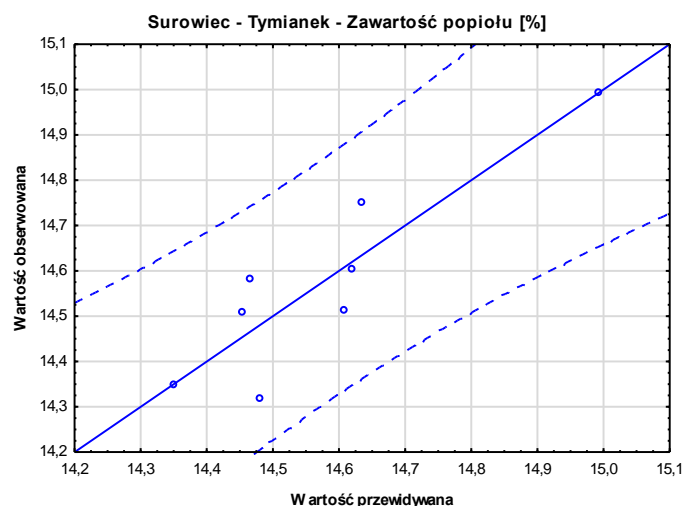




Rys. 83. Zawartość polifenoli po separacji w tymianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności



Rys. 84. Potencjał antyoksydacyjny po separacji w tymianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

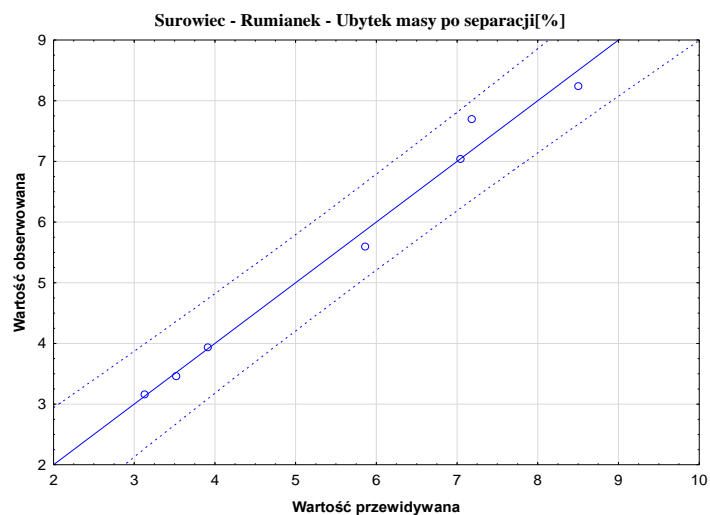


Rys. 85. Zawartość popiołu po separacji w tymianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

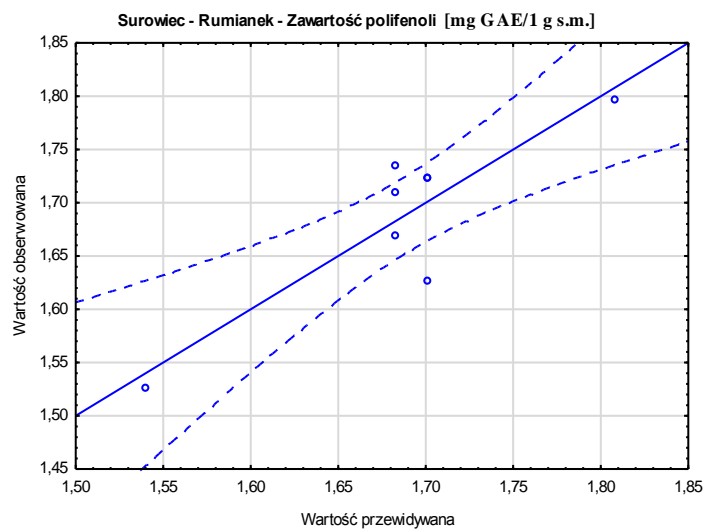
Dla rumianku udało się opracować zależność matematyczną charakteryzującą się wysokim współczynnikiem determinacji 0,99 (tabela 2) ubytku surowca masy po separacji. W przypadku zawartości polifenoli oraz potencjału antyoksydacyjnego wartość ta była tylko zadawalająca ( $R^2=0,78$  oraz  $R^2=0,70$ ), natomiast dla zawartości popiołów surowcu po separacji otrzymana zależność charakteryzowała się niską wartością jakości dopasowania ( $R^2=0,59$ ).

Tabela 2. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych rumianku uzyskane po procesie separacji w analizowanym zakresie badawczym

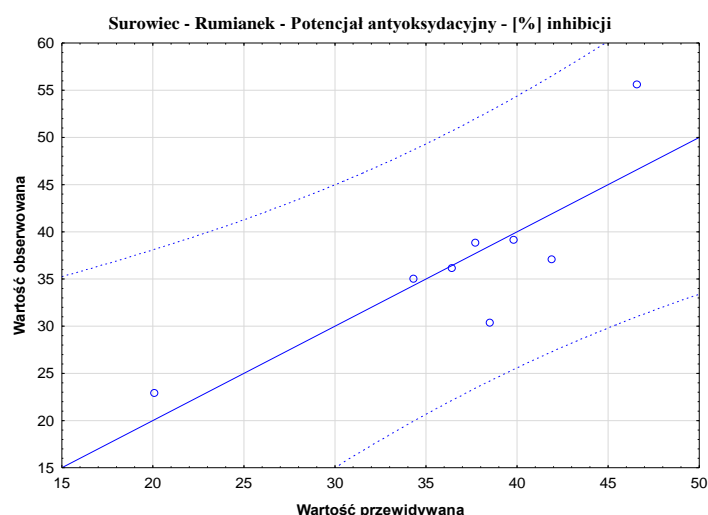
Parametr	Wzór	$R^2$
Ubytek masy po separacji [%]	$m_u = -825,36 \cdot v - 330,11 \cdot n - 1568,54 \cdot t + 16,51 \cdot n \cdot t + 41,28 \cdot v \cdot t - 31365,65$	0,99
Zawartość polifenoli [mg GAE/g s.m.]	$p_{oli} = -0,0002 \cdot v \cdot n + 1,809$	0,78
Potencjał antyoksydacyjny – [%] inhibicji	$i_{ant} = 0,504 \cdot v + 0,269 \cdot n - 0,104 \cdot t + 20,08$	0,70
Zawartość popiołu [%]	$u_o = -17,356 \cdot v - 9,302 \cdot n - 123,68 \cdot t + 1,178 \cdot v \cdot n - 1,302 \cdot n \cdot t - 3,255 \cdot v \cdot t + 14,855$	0,59



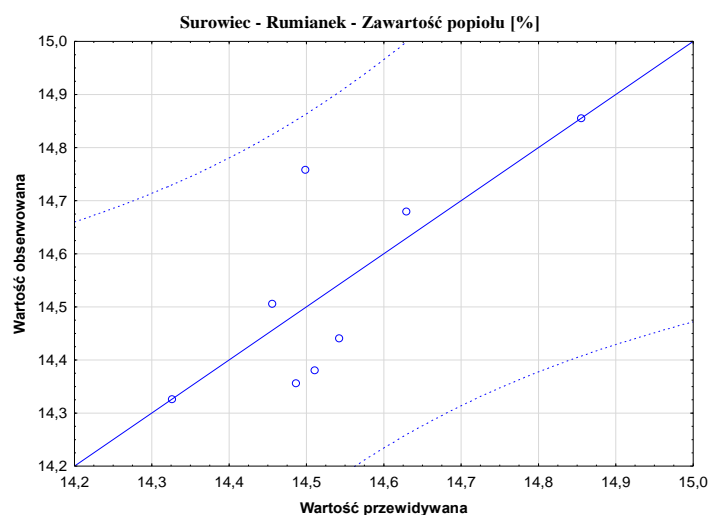
Rys. 86. Ubytek masy po separacji rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności



Rys. 87. Zawartość polifenoli po separacji w rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności



Rys. 88. Potencjał antyoksydacyjny po separacji w rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

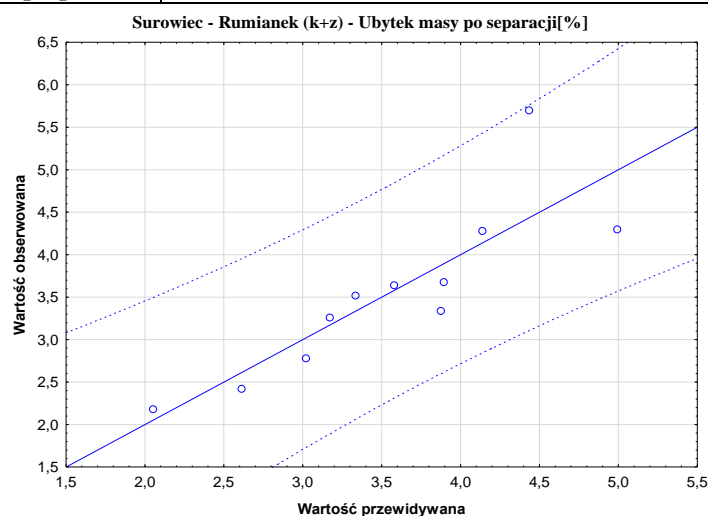


Rys. 89. Zawartość popiołu po separacji w rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

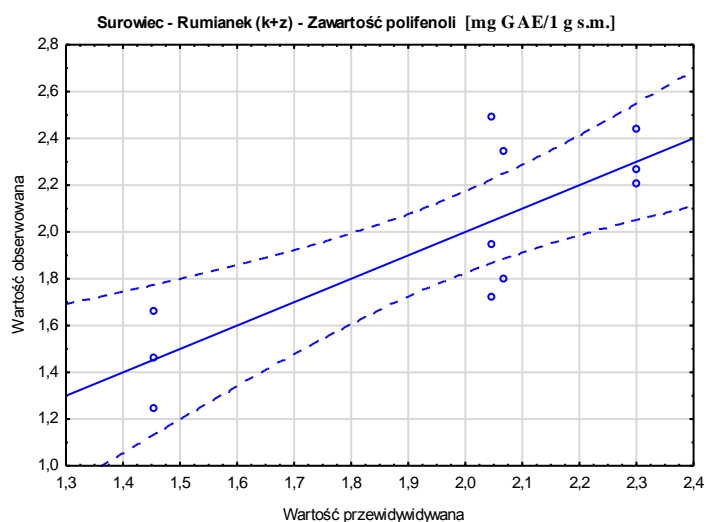
W przypadku rumianku kwiat + zanieczyszczenia udało się opracować zależność matematyczną charakteryzującą się dobrym współczynnikiem determinacji 0,84 (tabela 3) dla potencjału antyoksydacyjnego. Jednak w przypadku pozostałych parametrów – ubytku masy po separacji, zawartości polifenoli oraz zawartości popiołu w surowcu po separacji, wartości te były tylko zadawalające (analogicznie  $R^2=0,73$ ,  $R^2=0,67$  oraz  $R^2=0,64$ ).

Tabela 3. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych rumianku kwiat + zanieczyszczenia uzyskane po procesie separacji w analizowanym zakresie badawczym

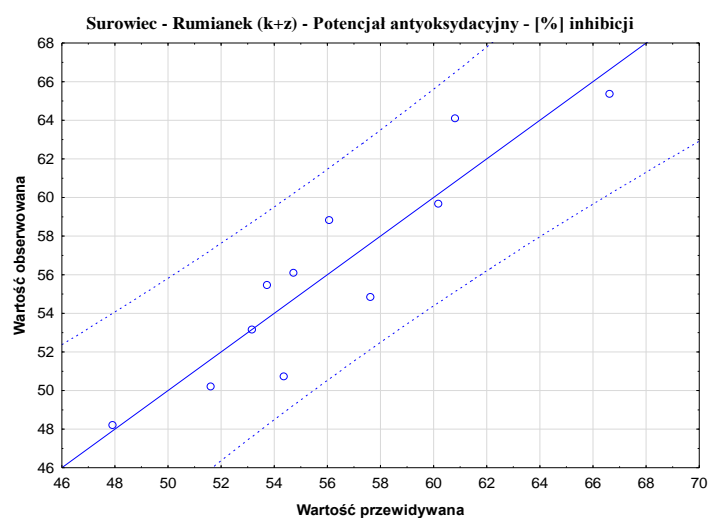
Parametr	Wzór	R <sup>2</sup>
Ubytek masy po separacji [%]	$m_u = 0,016 \cdot v + 0,043 \cdot n + 0,028 \cdot t - 0,143$	0,73
Zawartość polifenoli [mg GAE/g s.m.]	$p_{oli} = 0,135 \cdot v + 0,105 \cdot n - 0,002 \cdot v \cdot n - 4,714$	0,67
Potencjał antyoksydacyjny - [%] inhibicji	$i_{ant} = -1,665 \cdot v - 0,873 \cdot n - 0,689 \cdot t + 0,019 \cdot v \cdot n + 0,012 \cdot v \cdot t + 137,57$	0,84
Zawartość popiołu [%]	$u_o = -0,039 \cdot v - 0,019 \cdot n - 0,002 \cdot t + 10,693$	0,64



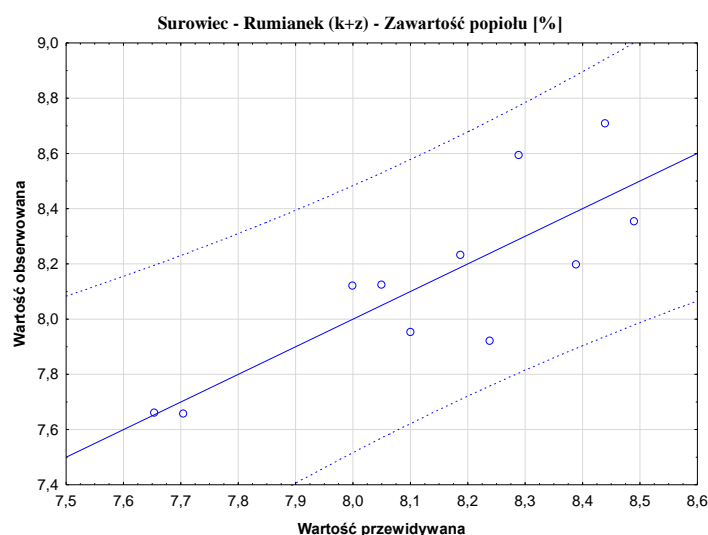
Rys. 90. Ubytek masy po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności



Rys. 91. Zawartość polifenoli po separacji w rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności



Rys. 92. Potencjał antyoksydacyjny po separacji w rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

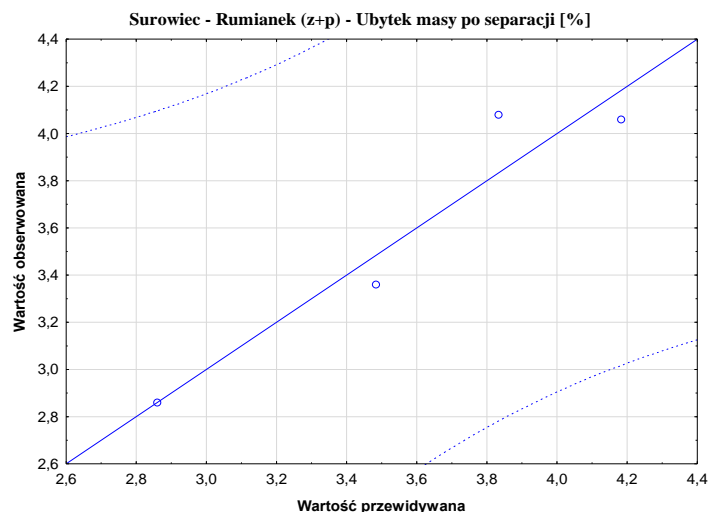


Rys. 93. Zawartość popiołu po separacji w rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

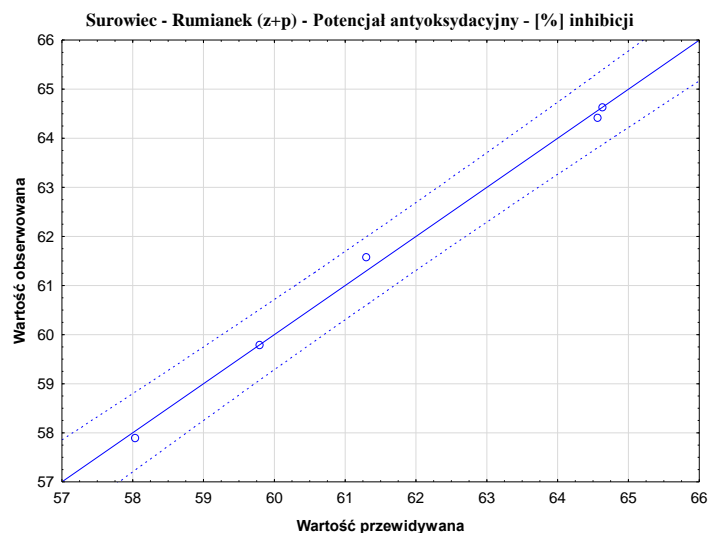
Dla rumianku zanieczyszczenia + piasek udało się opracować zależności matematyczne charakteryzujące się wysokimi współczynnikami determinacji w zakresie 0,91 do 0,99 (tabela 4) dla ubytku surowca masy po separacji i potencjału antyoksydacyjnego. W przypadku zawartości polifenoli oraz zawartości popiołu w surowcu po separacji nie udało się opracować równań charakteryzujących się współczynnikiem determinacji powyżej 0,4.

Tabela 4. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych rumianku zanieczyszczenia + piasek uzyskane po procesie separacji w analizowanym zakresie badawczym

Parametr	Wzór	R <sup>2</sup>
Ubytek masy po separacji [%]	$m_u = 0,066 \cdot n + 0,018 \cdot t - 1,498$	0,91
Potencjał antyoksydacyjny – [%] inhibicji	$i_{ant} = -0,141 \cdot n - 0,28 \cdot t + 0,006 \cdot n \cdot t + 64,63$	0,99



Rys. 94. Ubytek masy po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

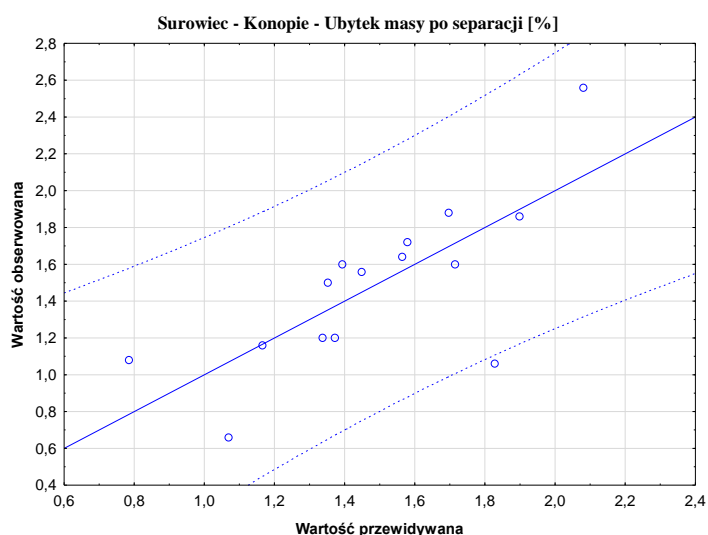


Rys. 95. Potencjał antyoksydacyjny po separacji w rumianku zanieczyszczenia + piasek – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

W przypadku konopi wartości ubytku surowca masy po separacji, potencjału antyoksydacyjnego oraz zawartości popiołu w surowcu po separacji charakteryzowały się niską wartością jakości dopasowania (odpowiednio  $R^2=0,55, R^2=0,52$  oraz  $R^2=0,56$ ). Natomiast dla zawartości polifenoli nie udało się opracować równania charakteryzującego się współczynnikiem determinacji powyżej 0,4.

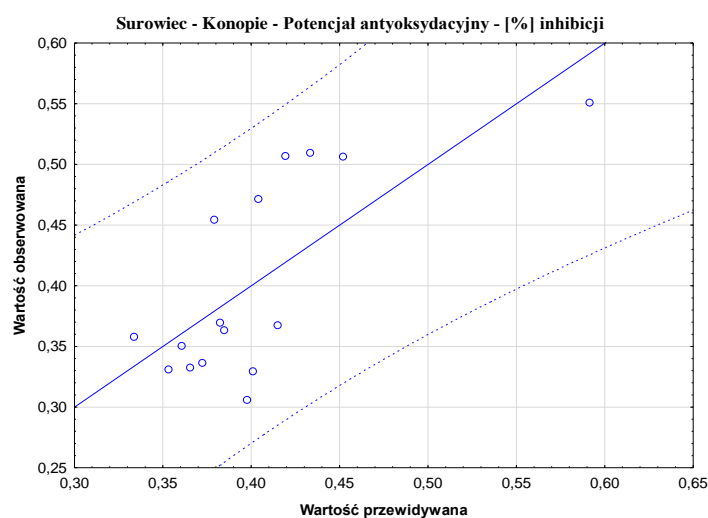
Tabela 5. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych konopi uzyskane po procesie separacji w analizowanym zakresie badawczym

Parametr	Wzór	$R^2$
Ubytek masy po separacji [%]	$m_u = -0,05 \cdot v + 0,152 \cdot n - 0,009 \cdot t - 0,0001 \cdot n \cdot t + 0,0008 \cdot v \cdot t + 1,699$	0,55
Potencjał antyoksydacyjny – [%] inhibicji	$i_{ant} = -0,141 \cdot n - 0,28 \cdot t + 0,006 \cdot n \cdot t + 64,63$	0,52
Zawartość popiołu [%]	$u_o = 0,008 \cdot v - 0,0016 \cdot n - 0,006 \cdot t + 0,0008 \cdot n \cdot t + 5,357$	0,56

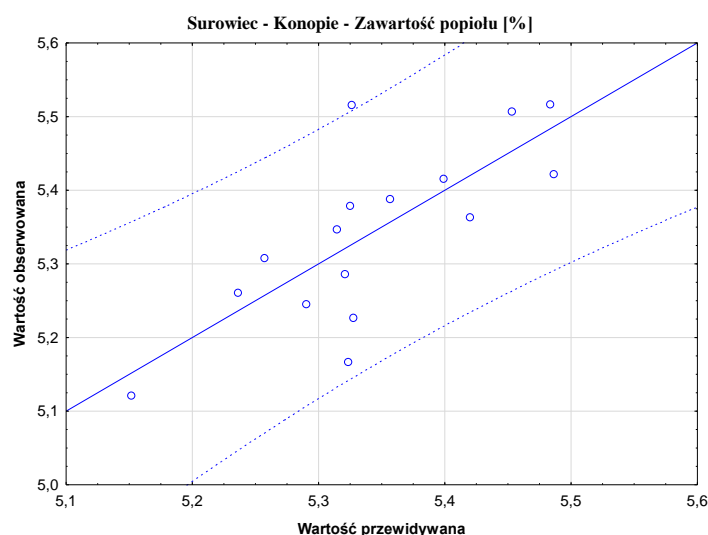


Rys. 96. Ubytek masy po separacji konopi – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności





Rys. 97. Potencjał antyoksydacyjny po separacji w konopi – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności



Rys. 98. Zawartość popiołu po separacji w konopi – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

Dla melisy (pył) nie udało się dla żadnego z analizowanych wyznaczników separacji opracować równań charakteryzującym się przynajmniej niskim współczynnikiem determinacji wyznacznika. Wszystkie otrzymane równania posiadały współczynniki  $R^2$  poniżej 0,4 i z tego powodu zostały pominięte w niniejszym opracowaniu jako zbyt mało istotne.

Otrzymane dla pyłów uzyskanych po procesie separacji wyniki ubytku masy po separacji, zawartości fenoli oraz potencjału antyoksydacyjnego i zawartości popiołu pozwoliły i w tym przypadku na opracowanie równań regresji metodą czynnikową w oparciu o stosowane zakresy natężenia przepływu ( $v$ ), obrotów dyszy pneumatycznej

separującej (n) oraz czasu procesu (t). Równanie poddano estymacji nieliniowej eliminując efekty nieistotne co zostało przedstawione dla poszczególnych surowców w tabelach 6 do 9 wraz z otrzymanymi współczynnikami determinacji.

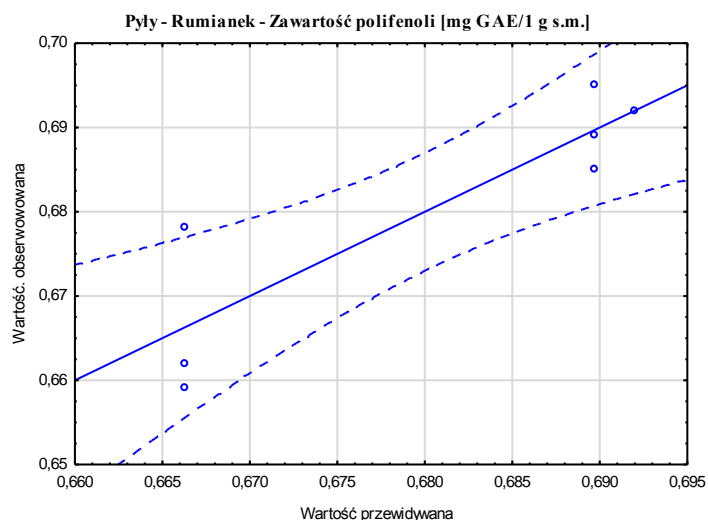
I w tym przypadku również przedstawiono zależność wartości obserwowanych od obliczonych poszczególnych wyznaczników wraz z 95% przedziałem ufności przedstawiono na rysunkach 99 do 105.

Dla pyłów powstałych po przeprowadzeniu separacji dla tymianku nie udało się dla żadnego z analizowanych wyznaczników separacji opracować równań charakteryzujących się przynajmniej niskim współczynnikiem determinacji wyznacznika. Wszystkie otrzymane równania posiadały współczynniki  $R^2$  poniżej 0,4 i z tego powodu zostały pominięte w niniejszym opracowaniu jako zbyt mało istotne.

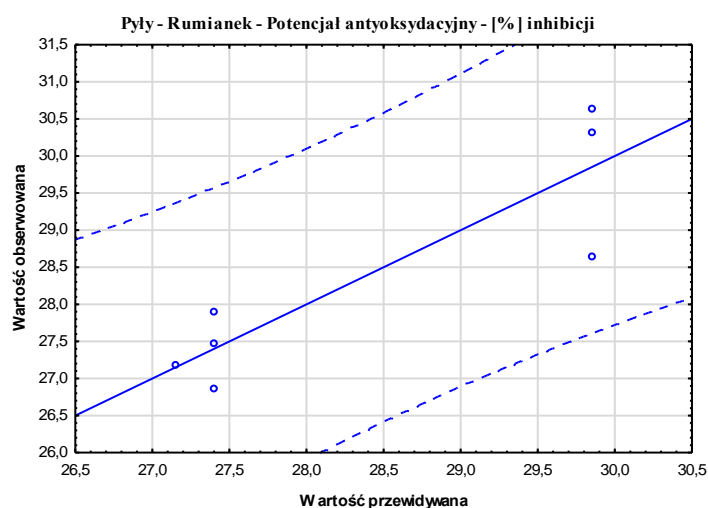
W przypadku rumianku zostały opracowane zależności matematyczne charakteryzujące się dobrymi współczynnikami determinacji w zakresie 0,79 (tabela 6) dla zawartości polifenoli i potencjału antyoksydacyjnego w pyłach uzyskanych po separacji. Dla zawartości popiołu w pyłach po separacji wartość  $R^2$  równań była poniżej 0,4 i nie została umieszczona oraz poddana analizie.

Tabela 6. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych pyłów uzyskanych po procesie separacji rumianku w analizowanym zakresie badawczym

<b>Parametr</b>	<b>Wzór</b>	<b><math>R^2</math></b>
Zawartość polifenoli [mg GAE/g s.m.]	$p_{oli} = -686,47 \cdot v - 294,2 \cdot n + 9,81 \cdot v \cdot n + 20594,8$	0,79
Potencjał antyoksydacyjny – [%] inhibicji	$i_{ant} = 546 \cdot v + 234 \cdot n - 7,8 \cdot v \cdot n - 16351,6$	0,79



Rys. 99. Zawartość polifenoli w pyłach uzyskanych po separacji rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

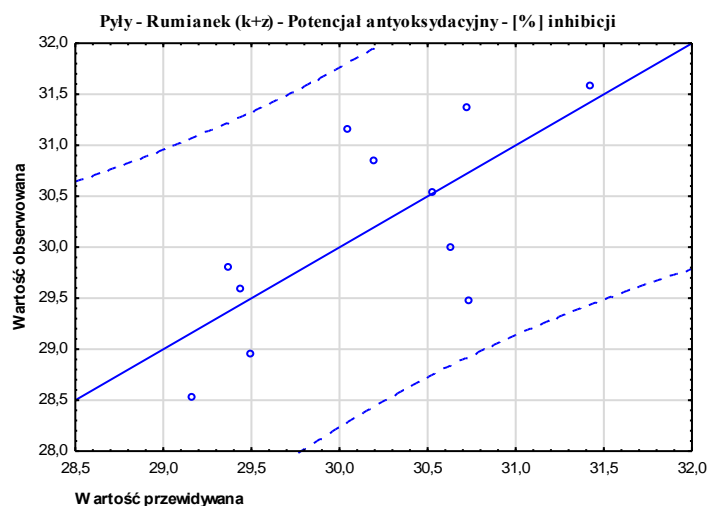


Rys. 100. Potencjał antyoksydacyjny w pyłach uzyskanych po separacji rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

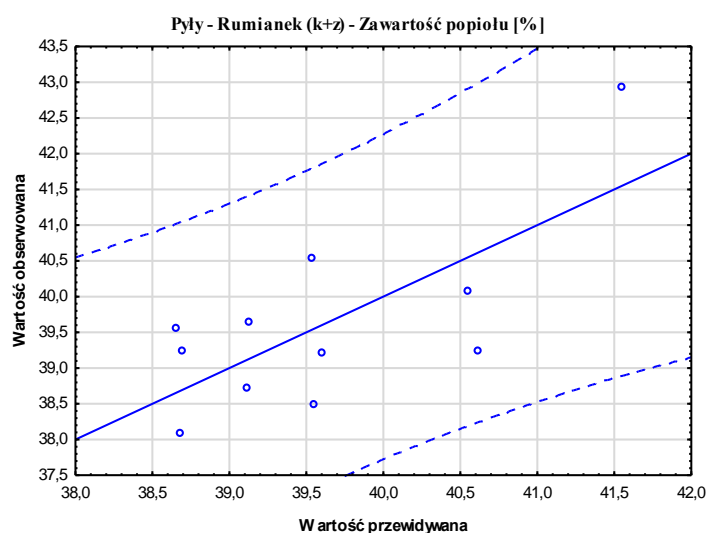
W przypadku rumianku kwiat + zanieczyszczenia zostały opracowane zależności matematyczne charakteryzujące się niską wartością jakości dopasowania w zakresie 0,51-0,52 (tabela 7) dla potencjału antyoksydacyjnego i zawartości popiołu w pyłach uzyskanych po separacji. Dla zawartości polifenoli w pyłach po separacji wartość  $R^2$  równa była poniżej 0,4 i nie została umieszczona oraz poddana analizie.

Tabela 7. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych pyłów uzyskanych po procesie separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia w analizowanym zakresie badawczym

Parametr	Wzór	R <sup>2</sup>
Potencjał antyoksydacyjny – [%] inhibicji	$i_{ant} = -0,325 \cdot v - 0,216 \cdot n + 0,258 \cdot t + 0,025 \cdot v \cdot n + 0,019 \cdot n \cdot t + 0,043 \cdot v \cdot t + 48,898$	0,51
Zawartość popiołu [%]	$u_o = -0,18 \cdot v - 0,099 \cdot n - 0,124 \cdot t + 0,0033 \cdot v \cdot n + 0,0034 \cdot v \cdot t + 45,4$	0,52



Rys. 101. Potencjał antyoksydacyjny w pyłach uzyskanych po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

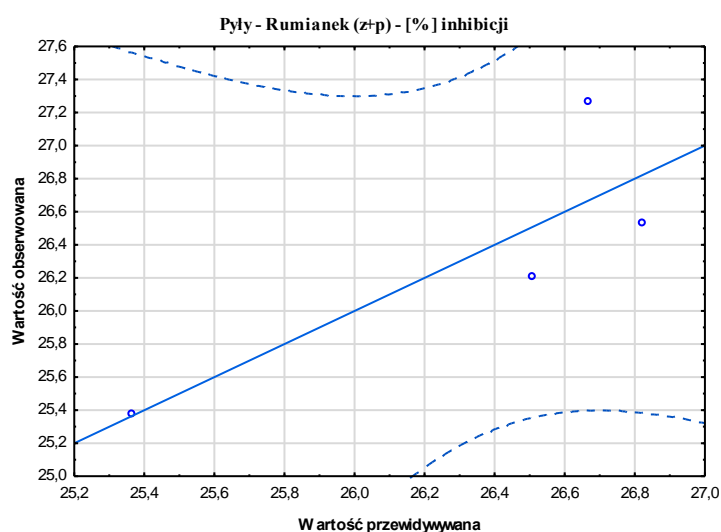


Rys. 102. Zawartość popiołu w pyłach uzyskanych po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

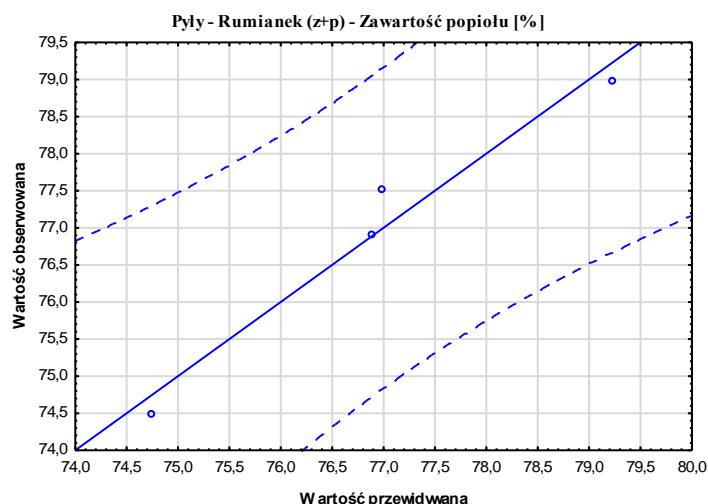
W przypadku rumianku zanieczyszczenia + piasek udało się opracować zależność matematyczną charakteryzującą się wysokim współczynnikiem determinacji 0,96 (tabela 8) dla zawartości popiołu w pyłach uzyskanych po separacji. Jednak w przypadku potencjału antyoksydacyjnego wartość ta była tylko zadawalająca ( $R^2=0,71$ ). Dla zawartości polifenoli w pyłach po separacji wartość  $R^2$  równa była poniżej 0,4 i nie została umieszczona oraz poddana analizie.

Tabela 8. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych pyłów uzyskanych po procesie separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek w analizowanym zakresie badawczym

Parametr	Wzór	$R^2$
Potencjał antyoksydacyjny – [%] inhibicji	$i_{ant} = 0,057 \cdot n - 0,079 \cdot t + 22,99$	0,71
Zawartość popiołu [%]	$u_o = 1174,2 \cdot n + 1369,9 \cdot t - 19,6 \cdot n \cdot t - 82122,7$	0,96



Rys. 103. Potencjał antyoksydacyjny w pyłach uzyskanych po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

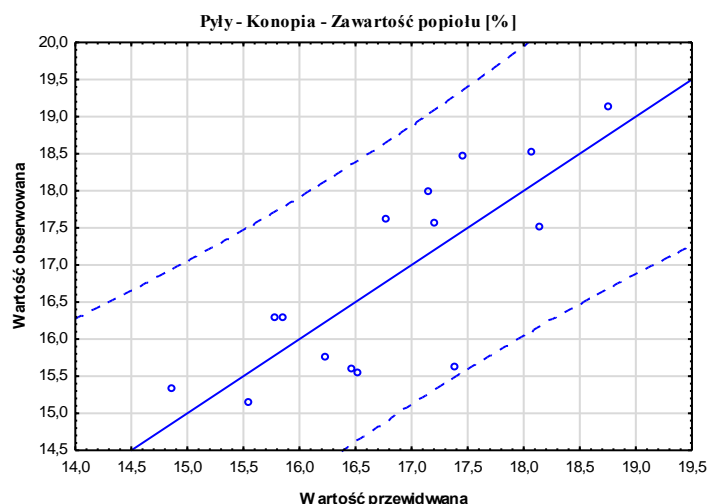


Rys. 104. Zawartość popiołu w pyłach uzyskanych po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

W przypadku konopi została opracowana zależność matematyczna charakteryzująca się zadawalającym współczynnikiem determinacji 0,63 (tabela 9) dla zawartości popiołu w pyłach uzyskanych po separacji. Dla pozostałych parametrów (zawartości polifenoli oraz potencjału antyoksydacyjnego) w pyłach po separacji wartość  $R^2$  równa była poniżej 0,4 i nie została umieszczona oraz poddana analizie.

Tabela 9. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych pyłów uzyskanych po procesie separacji konopi w analizowanym zakresie badawczym

Parametr	Wzór	$R^2$
Zawartość popiołu [%]	$u_o = -0,049 \cdot v + 0,031 \cdot n - 0,034 \cdot t + 17,77$	0,63



Rys. 105. Zawartość popiołu w pyłach uzyskanych po separacji konopi – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności

Dla pyłów powstałych po przeprowadzeniu separacji dla melisy (pył) nie udało się dla żadnego z analizowanych wyznaczników separacji opracować równań charakteryzującym się przynajmniej niskim współczynnikiem determinacji wyznacznika. Wszystkie otrzymane równania posiadały współczynniki  $R^2$  poniżej 0,4 i z tego powodu zostały pominięte w niniejszym opracowaniu jako zbyt mało istotne.

### 6.11. Efektywność procesu separacji

Uwzględniając założone wskaźniki wagi i rozpatrywane kryteria oceny przeprowadzonego procesu separacji wyniki przedstawiono w tabeli 10.

Tabela 10. Wyznaczniki efektywności procesu separacji analizowanych surowców zielarskich

Surowiec	Wielkość oczek sita [ $\mu\text{m}$ ]	Obroty głowicy separującej [ $\text{obr.} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	Natężenie przepływu strumienia separującego [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]	Czas separacji [s]	$\varepsilon$ - Efektywności procesu separacji [%]
Tymianek	200	10	20	20	58,2
		10	20	40	54,3
		10	20	60	63,1
		10	50	20	65,6
		10	50	40	58,4
		10	50	60	54,3
		10	70	20	66,1
Rumianek	200	10	70	20	61,3
		10	70	40	62,7
		10	70	60	63,9
		30	20	20	54,0

		30	20	40	62,0
		30	20	60	58,2
		30	50	20	57,9
Rumianek (kwiat + zanieczyszczenia)	200	30	50	20	56,3
		30	50	40	58,1
		30	50	60	54,5
		30	70	20	69,7
		30	70	40	59,1
		30	70	60	59,2
		50	20	20	56,2
		50	20	40	58,4
		50	20	60	61,9
		50	50	20	63,9
		50	50	40	62,7
		Rumianek (zanieczyszczenia + piasek)	200	50	50
50	70			20	55,6
50	70			40	62,7
50	70			60	63,7
Konopia	630	10	20	20	66,3
		10	20	40	64,8
		10	20	60	58,7
		10	50	20	68,9
		10	50	40	54,8
		10	50	60	58,7
		10	70	20	54,9
		10	70	40	61,7
		10	70	60	59,5
		30	20	20	58,6
		30	20	40	55,6
		30	20	60	55,5
		30	50	20	55,9
		30	50	40	61,0
		30	50	60	65,3
Melisa (pył)	200	10	20	20	59,4
		10	20	40	63,1
		10	20	60	58,1
		10	50	20	58,5
		10	50	40	63,5
		10	50	60	59,3
		10	70	20	59,0
		10	70	40	56,3
		10	70	60	62,7



Za wartości najlepsze przyjęto wartości wyznacznika będące jak najbliżej wartości 100%.

W tabeli 10 wyróżniono wartości uznane za najlepsze dla poszczególnych surowców.

## 7. DYSKUSJA

W powyższej pracy analizie poddano określenie warunków prowadzenia separacji pneumatyczno-sitowej prowadzanej w celu obniżenia ilości zanieczyszczeń mineralnych w surowcach ziołowych. Badano wpływ prędkości obrotowej głowicy, natężanie przepływu strumienia powietrza oraz czas procesu separacji na wyznaczniki pomagające określić skuteczność separacji pneumatyczno-sitowej tj. zawartość polifenoli, potencjał antyoksydacyjny, zawartość popiołu oraz, częściowo, gęstość utrzęsiona. Natomiast pozostałe parametry (kąt zsypania, kąt usypania, rozkład granulometryczny) określały nam właściwości fizyczne surowca. Otrzymane wyniki porównano z wynikami innych autorów.

Piekut, Dec i Zyskowska [Piekut i in. 2016] przeprowadziły badania zmiany zawartości związków fenolowych w wybranych roślinach przyprawowych pod wpływem procesu mrożenia. Do badań wykorzystywały melisę, bazylię, miętę, pietruszkę, lubczyk, oregano, trybulę, szczypior, szalwię, estragon, koper oraz tymianek. Według ich badań zawartość polifenoli w tymianku oraz melisie przed procesem mrożenia wynosi odpowiednio  $2,442 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  oraz  $1,689 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$ . Wyniki badań przedstawione w pracy częściowo różnią się od wyników podanych przez Piekut i in. – zawartość polifenoli w tymianku według przeprowadzonych w niniejszej pracy badań wynosi średnio  $2,188 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$ , a więc wartości są tożsame, natomiast w przypadku melisy jest to średnio  $2,495 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$ , a więc różnią się.

Worobiej, Mądrzak i Piecyk [Worobiej i in. 2015] przeprowadziły badania zawartości wybranych składników biologicznie aktywnych w produktach z konopi siewnych (*CANNABIS SATIVA L.*) oraz kasztanów jadalnych (*CASTANEA SATIVA MILL.*). Do badań wykorzystywały nasiona konopi, mąkę z konopi, mąkę z kasztanów jadalnych oraz płatki z kasztanów jadalnych. Według ich wyników zawartość polifenoli ogółem w nasionach konopi wynosi  $1,65 \pm 0,03 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$ . Wynik ten jest zbliżony z rezultatem badania przedstawionego w pracy, gdzie zawartość związków fenolowych dla konopi wyniosła średnio  $1,427 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$ . Worobiej i in. badały również zawartość popiołu i według ich badań procentowa wartość tego parametru wynosi 4,95%, a wynik mojego badania procentowej zawartości popiołu w konopi wynosi 5,34%, a więc wartości są do siebie zbliżone.

Zawiślak, Panasiewicz, Sobczak i Mazur [Zawiślak i in. 2013] przeprowadzili badania oceny pracy separatora pneumatyczno-sitowego do wybranych materiałów

sypkich. Do badań wykorzystali melisę, rumianek oraz szalwię. Według ich wyników melisa oraz rumianek charakteryzowały się wilgotnością na poziomie odpowiednio 6,46% oraz 4,71%. Wyniki badań przedstawione w mojej pracy częściowo różnią się od wyników podanych przez Zawiślak i in. - procentowa wilgotność melisy wynosi średnio 6,51%, a więc wartość jest zbliżona do tej, którą otrzymali, natomiast w przypadku rumianku jest to średnio 7,98%.

Nie ma w literaturze badań z zakresu separacji pneumatyczno-sitowej ziół, dlatego w powyższej pracy podjęto się przebadania tego typu wariantu separacji.

## 8. WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Zwiększone zainteresowanie zdrową żywnością, wykorzystaniem ziół w roli przypraw produktów żywnościowych, czy coraz szerszy powrót do leczenia naturalnymi ziołowymi roślinami przyczyniło się do znacznego wzrostu zapotrzebowania na surowce zielarskie, które powinny charakteryzować się wyższym stopniem czystości z powodu ewentualnego wykorzystania w celach spożywczych i medycznych (jako składnik leku). W związku z tym prowadzone są badania mające na celu usprawnienie technologii przygotowania ich do użytku, poprzez projektowanie coraz wydajniejszych maszyn i urządzeń. Skuteczne wyeliminowanie zanieczyszczeń z ziół jest bardzo trudne do zrealizowania, ponieważ pyły charakteryzują się zbliżonymi właściwościami (w porównaniu do cech surowca podstawowego), a więc trudno je usunąć bez strat w cennym surowcu. Na tej podstawie możemy wysnuć wniosek, że zioła wymagają specjalnego podejścia technologicznego oraz niekiedy wykorzystania specyficznego i niekonwencjonalnego rodzaju maszyn separujących [Grochowicz 1994].

W trakcie prowadzonych badań dążono do opracowania parametrów technologii separacji surowców zielarskich, których zastosowanie da efekt w postaci wysokiego stopnia oczyszczenia z niepożądanych dodatków, które mogą wpływać na jego końcowe oddziaływanie na organizm konsumenta. Wykonane pomiary umożliwiają poznanie wpływu poszczególnych zmiennych, analizowanych w odniesieniu do sformułowanych problemów naukowych, na właściwości uzyskanego po separacji surowca zielarskiego. Uzyskane dane pozwalają na opracowanie optymalnych parametrów separacji pneumatyczno-sitowej oraz na poznanie i pogłębienie wiedzy z zakresu zmian właściwości uzyskanych surowców w wyniku zastosowania zmiennych parametrów procesu separacji. Otrzymane rezultaty mogą stanowić cenne wskazówki w doborze parametrów prowadzenia procesu oczyszczania tego surowca na podobnych urządzeniach.

Prace badawcze dotyczące podjętych problemów naukowych z zakresu separacji pneumatyczno-sitowej pozwoliły na uzyskanie wysokiej jakości odseparowanego surowca zielarskiego przy niewielkiej jego stracie, co jest istotne i stanowi pozytywny wyróżnik biorąc pod uwagę możliwość przemysłowego zastosowania wykonanych badań. Ubytek masy informuje nas ile tracimy z wstępnej masy surowca. W wyniku procesu separacji w surowcu poseparacyjnym wzrosła zawartość polifenoli i potencjał antyoksydacyjny, zmalała natomiast zawartość popiołu w stosunku do surowca przed separacją. Analogiczne

w oddzielonych pyłach wartości te są mniejsze dla zawartości polifenoli oraz wartości antyoksydacyjnej – są one mniejsze (co dowodzi niewielkiej utraty cennych wartości surowców zielarskich), natomiast zawartość popiołu jest większa, dzięki czemu pozbyto się części niepożądanych związków mineralnych. Pyły oddzielone w wyniku procesu separacji możemy ewentualnie poddać ekstrakcji, by odzyskać jeszcze część tych substancji.

Utraty masy po separacji rumianku jest niższa przy prędkości obrotowej głowicy 30 obr.·min<sup>-1</sup> (2,99-4,93%), niż dla 10 obr.·min<sup>-1</sup> (5,99-9,15%), jednak w tym drugim przypadku zastosowano wyższą wartość natężenia przepływu strumienia powietrza, co mogło wpłynąć na uzyskane wyniki. Dla rumianku kwiat + zanieczyszczenia uzyskano wyniki 2,97-4,03% przy 30 obr.·min<sup>-1</sup> do 3,45-3,71% przy 50 obr.·min<sup>-1</sup>, dla takich samych wartości natężenia przepływu strumienia powietrza (50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>) oraz czasu procesu separacji (20s. i 40s.), więc w tym przypadku zwiększenie prędkości obrotowej głowicy nie jest proporcjonalne do zwiększenia ubytku masy po separacji. Dla konopi uzyskano wartości 1,05-2,31% ubytku masy przy prędkości obrotowej głowicy 10 obr.·min<sup>-1</sup> oraz 1,07-1,95% przy 30 obr.·min<sup>-1</sup>, więc analogicznie jak w przypadku rumianku k+z parametr ten nie miał jednoznacznego wpływu na zwiększenie ubytku masy po separacji.

Dla tymianku zwiększenie natężenia przepływu powietrza zwiększało również ubytek masy po separacji surowca – 0,22-0,31% przy 20 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, 0,59-1,11% przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> i 1,30% przy 70 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>. Taką samą zależność możemy zaobserwować również dla pozostałych surowców – ubytek masy po separacji rumianku 2,99-4,93% przy 20 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, 7,02% przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> oraz 5,99-9,15% przy 70 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, rumianku kwiat + zanieczyszczenia 2-03-3,45% przy 20 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, 2,97-4,03% przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> oraz 3,41-5,65% przy 70 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, rumianku zanieczyszczenia + piasek 2,78% przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> oraz 3,27-3,73% przy 70 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, konopi 1,05-1,40% przy 20 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, 1,07-2,31% przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> oraz 1,81-2,49% przy 70 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, melisy (pył) 30,37-57,77% przy 20 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, 55,01-82,71% przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> oraz 66,53-84,70% przy 70 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>.

W przypadku tymianku wraz z wydłużeniem czasu procesu separacji zwiększa się również ubytek masy po separacji, który wyniósł 0,22-0,59% przy 20s, 0,31-0,85% przy 40s oraz 0,30-1,11% przy 60s przy zachowaniu tych samych parametrów prędkości obrotowej głowicy oraz natężenia przepływu powietrza. Podobne wyniki uzyskano dla rumianku – 2,99-5,99% przy 20s, 3,76-7,74% przy 40s oraz 4,93-9,15% przy 60s,

rumianku zanieczyszczenia + piasek – 3,27% przy 20s, 3,66% przy 40s, oraz 3,73% przy 60s oraz melisy (pył) – 30,37-66,53% przy 20s, 45,15-79,47% przy 40s oraz 57,77-84,70% przy 60s. Dla rumianku kwiat + zanieczyszczenia ubytek masy po separacji wyniósł 2,03-3,45% przy 20 s, 2,75-5,65% przy 40 s oraz 3,45-4,37% przy 60 s, a więc w tym przypadku zależność między czasem separacji a ubytkiem masy po procesie nie jest jednoznaczna. Podobna sytuacja zachodzi przy analizie konopi - charakteryzowała się ona 1,05-2,49% ubytkiem masy przy 20s, 1,25-2,25% przy 40s, oraz 1,09-2,31% przy 60s.

Procent zawartości popiołu dla rumianku wynosi 14,36-14,76% przy 10 obr.·min<sup>-1</sup> oraz 14,44-14,68% przy 30 obr.·min<sup>-1</sup>, a więc zwiększenie prędkości obrotowej głowicy nie wpływa na jednoznacznie na zmniejszenie lub zwiększenie zawartości popiołu. Dla rumianku kwiat + zanieczyszczenia wartości te wynoszą 8,35-8,71% przy 30obr.·min<sup>-1</sup> oraz 7,66% przy 50obr.·min<sup>-1</sup>, przy zachowaniu tych samych parametrów natężenia przepływu powietrza oraz czasu procesu separacji, a więc zwiększenie prędkości obrotowej głowicy wpływa w tym przypadku na zmniejszenie procentowej zawartości popiołu. Natomiast dla konopi wyniki wynoszą 5,12-5,29% przy 10 obr.·min<sup>-1</sup> oraz 5,35-5,52% przy 30 obr.·min<sup>-1</sup> przy zachowaniu tych samych parametrów natężenia przepływu powietrza oraz czasu procesu separacji, a więc zwiększenie prędkości obrotowej głowicy wpływa na wzrost zawartości popiołu.

Procentowa zawartość popiołu w tymianku po separacji wyniosła 14,51-14,75% przy 20 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, 14,32-14,58% przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> oraz 14,35% przy 70 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, a więc w przypadku tego surowca wraz ze wzrostem natężenia przepływu strumienia powietrza zauważyć możemy spadek procentowej zawartości popiołu. W przypadku rumianku wartości te wynosiły 14,44-14,68% przy 20 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, 14,33% przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> oraz 14,36-14,76% przy 70 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, co oznacza, że nie wystąpiła zależność między wzrostem natężenia przepływu powietrza, a wzrostem lub spadkiem zawartości popiołu. Podobnie sytuacja klaruje się w przypadku rumianku kwiat + zanieczyszczenia – 7,92-8,59% przy 20 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, 7,66-8,71% przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> i 7,95-8,13% przy 70 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> oraz rumianku zanieczyszczenia + piasek – 16,95% przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> i 16,66-17% przy 70 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>. Dla konopi odnotowano następujące wyniki: 5,12-5,52% przy 20 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, 5,17-5,51% przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> oraz 5,38-5,52% przy 70 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, tak więc możemy zauważyć nieznaczny wzrost zawartości popiołu wraz ze zwiększaniem badanego parametru procesu separacji. Dla melisy (pył) wartość zawartości popiołu przy 20 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> wyniosła 15,32-15,98%, przy 50 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> 15,35-15,50%

oraz przy  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  15,61-15,98%, więc w tym przypadku wyniki również nie są jednoznaczne.

Procentowa zawartość popiołu w tymianku po separacji wynosiła 14,35-14,51% przy 20s, 14,58-14,60% przy 40s oraz 14,32-14,75% przy 60s – zauważamy tutaj tendencję wzrostową, podobnie jak przy rumianku kwiat + zanieczyszczenia – 7,66-8,59% przy czasie 20s, 7,66-8,71% przy 40s oraz 8,12-8,23% przy 60s. W przypadku rumianku odnotowano 14,33-14,68% przy 20s, 14,44-14,76% przy 40s oraz 14,36-14,51%, a więc najwyższe wyniki uzyskano przy czasie procesu separacji 40s. Podobny rezultat otrzymano po analizie wyników rumianku zanieczyszczenia + piasek – 16,73% przy 20s, 17% przy 40s oraz 16,66-16,95 przy 60s, konopi – 5,17-5,52% przy 20s, 5,25-5,52% przy 40s oraz 5,12-5,36% przy 60s i melisy (pył) – 15,32-15,98% przy 20s, 15,40-15,98% przy 40s oraz 15,31-15,88% przy 60 s.

Zawartość polifenoli oraz potencjał antyoksydacyjny w przypadku rumianku wynoszą odpowiednio  $1,67\text{-}1,73 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 37,11-39,16% inhibicji dla prędkości obrotowej głowicy  $10 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$  oraz  $1,63\text{-}1,72 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 30,37-36,16% inhibicji dla  $30 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ , a więc zwiększenie prędkości obrotowej głowicy wpływa jednocześnie na zwiększenie utraty aktywnych substancji z tego surowca. Dla rumianku kwiat + zanieczyszczenia wartości te wynoszą  $1,24\text{-}1,66 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 59,69-65,37% inhibicji przy  $30 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$  oraz  $1,8\text{-}2,34 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 54,84-58,84% inhibicji dla  $50 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$  przy zachowaniu tych samych parametrów natężenia przepływu powietrza oraz czasu procesu separacji, a więc w tym przypadku zwiększenie prędkości obrotowej głowicy wpływa także na zwiększenie zawartości polifenoli, ale na spadek potencjału antyoksydacyjnego. W przypadku konopi zawartość polifenoli oraz potencjał antyoksydacyjny wynoszą odpowiednio  $1,2\text{-}1,85 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 48,74-55,05% inhibicji przy  $10 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$  oraz  $1,20\text{-}1,71 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 51,16-57,47% inhibicji dla  $30 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$  przy zachowaniu tych samych parametrów natężenia przepływu powietrza oraz czasu procesu separacji. Dla konopi wraz ze zwiększaniem prędkości obrotowej głowicy zwiększa się również potencjał antyoksydacyjny, natomiast wzrost lub spadek zawartości polifenoli nie jest jednoznaczny.

Zawartość polifenoli oraz potencjał antyoksydacyjny wyniosły w przypadku tymianku  $2,17\text{-}2,19 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 48,84-65,37% inhibicji przy  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $2,16\text{-}2,20 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 47,16-67,37% inhibicji przy  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  oraz  $2,21 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$

i 69,9% inhibicji przy  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , a więc dla tego surowca oba badane parametry zwiększały się wraz ze wzrostem natężenia przepływu strumienia powietrza. Dla rumianku odnotowano odpowiednio 1,626-1,72  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 30,37-36,16% inhibicji przy  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , 1,53  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 35,63% inhibicji przy  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  oraz 1,67-1,73  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 37,11-39,16% inhibicji przy  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , a więc zwiększenie natężenia przepływu strumienia powietrza nie wpłynęło jednoznacznie na zwiększenia zawartości polifenoli, jednak bez wątpienia wpływa na wzrost potencjału antyoksydacyjnego. W przypadku rumianku kwiat + zanieczyszczenia wartości te wynosiły 1,72-2,49  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 50,21-56,11% inhibicji przy  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , 1,24-2,35  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 54,84-65,37% inhibicji przy  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  oraz 2,21-2,44  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 49,31-64,11% inhibicji przy  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , a więc dla obu badanych parametrów nie występuje jednoznaczna zależność między wzrostem natężenia przepływu strumienia powietrza a wzrostem lub spadkiem zawartości polifenoli oraz potencjału antyoksydacyjnego. Rumianek zanieczyszczenia + piasek charakteryzował się 1,27  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 59,79% inhibicji przy  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  oraz 1,20-1,34  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 57,9-64,42% inhibicji przy  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , a więc występuje nieznaczny wzrost zawartości polifenoli oraz potencjału antyoksydacyjnego wraz ze zwiększeniem analizowanego parametru procesu separacji. Zawartość polifenoli oraz potencjał antyoksydacyjny dla konopi wyniósł 1,20-1,85  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 48,74-55,05% inhibicji przy  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , 1,2-1,84  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 49,9-57,47% inhibicji przy  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  oraz 1,11-1,65  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 50,95-53,79% inhibicji, a więc wzrost natężenia przepływu strumienia powietrza wpływa na zmniejszenie zawartości polifenoli w tym surowcu oraz zwiększenie potencjału antyoksydacyjnego w przypadku zmiany z  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  na  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Melisa (pył) charakteryzowała się zawartością polifenoli 2,35-2,72  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i potencjałem antyoksydacyjnym 50,74-60,42% inhibicji przy  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , 2,33-2,68  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 57,05-61,58% inhibicji przy  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  oraz 2,32-2,59  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 57,05-63,05% inhibicji przy  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , a więc wraz ze wzrostem natężenia przepływu powietrza zawartość polifenoli w przypadku tego surowca maleje, natomiast potencjał antyoksydacyjny – rośnie.

Zawartość polifenoli oraz potencjał antyoksydacyjny w tymianku po separacji przy czasie procesu 20s wyniosły odpowiednio 2,17-2,21  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 58-69,9% inhibicji, przy 40s 2,19-2,2  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 48,84-56,21% inhibicji oraz przy 60s. 2,16-2,19  $\text{mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$  i 47,16-65,37% inhibicji, a więc w przypadku tego surowca ciężko jednoznacznie określić wpływ wydłużenia czasu procesu separacji na badane parametry.



Dla rumianku wartości te wynosiły 1,53-1,73 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 30,37-37,11% inhibicji przy 20s, 1,67-1,06 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 36,16-39,16% inhibicji przy 40s oraz 1,63-1,71 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 35,05-38,84 przy 60s. Tutaj wydłużenie czasu separacji nie wpływa jednoznacznie na zmianę zawartości polifenoli, natomiast w przypadku potencjału antyoksydacyjnego możemy zauważyć tendencję wzrostową dla czasu 20s oraz 40s. Podobnie jest w przypadku rumianku kwiat + zanieczyszczenia –1,24-2,44 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 54,84-65,37% inhibicji przy 20s, 1,66-2,26 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 50,74-59,68% inhibicji przy 40s oraz 1,46-2,49 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 49,31-55,47% inhibicji. Rumianek zanieczyszczenia + piasek charakteryzował się 1,20 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 57,9% inhibicji przy 20s, 1,33mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 61,58% inhibicji oraz 1,23-1,33 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 59,79-64,42% inhibicji przy 60s, a więc w przypadku tego surowca wydłużenie czasu separacji wpływa także na zwiększenie obu badanych parametrów. Dla konopi zawartość polifenoli oraz potencjał antyoksydacyjny wynosiły 1,11-1,84 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 50,95-55,05% inhibicji przy 20s, 1,2-1,85 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 48,74-57,47% inhibicji przy 40s oraz 1,22-1,71 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 50,95-52,21% inhibicji przy 60s, a więc zauważyć możemy tendencję wzrostową w przypadku zawartości polifenoli, natomiast wpływ wydłużenia czasu separacji na potencjał antyoksydacyjny nie jest jednoznaczny. Dla melisy (pył) odnotowano wyniki: 2,32-2,72 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 50,74-60% inhibicji przy 20s, 2,33-2,71 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 57,05-61,58% inhibicji przy 40s oraz 2,35-2,59 mg GAE·g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub> i 57,47-63,05% inhibicji przy 60s, a więc wydłużenie czasu separacji wpływa na zwiększenie potencjału antyoksydacyjnego tego surowca, natomiast wpływ tego parametru na zawartość polifenoli nie jest jednoznaczny.

Opracowane zależności matematyczne poszczególnych wyznaczników charakteryzujących przeprowadzony proces separacji uwzględniając ubytek masy po separacji, zawartości polifenoli oraz potencjału antyoksydacyjnego i zawartości popiołu powinny pozwolić na określenie parametrów procesu separacji na urządzeniu w przybliżonych przedziałach dla tych surowców czy surowców o zbliżonych właściwościach (rozmiary cząstek, kąty zsypania i usypania, wilgotność oraz gęstości).

Na podstawie uzyskanych wyników badań oraz ich analizy sformułowano następujące wnioski, które stanowią rozwiązanie postawionych w pracy problemów badawczych:

1. W wyniku wzrostu prędkości obrotowej głowicy separującej (w analizowanym przedziale 10, 30, 50 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup>) dla surowców w których przeprowadzono analizę (rumianek kwiat + zanieczyszczenia, konopi) stwierdzono:
  - a) Nieznaczne zmiany zawartości popiołu względem surowca wejściowego (wartości różnic oscylowały w granicach błędu pomiaru) dla wszystkich zakresów czasów realizacji procesu i stosowanych natężeń przepływu.
  - b) Wzrost zawartości polifenoli dla wszystkich stosowanych czasów procesu i natężeń przepływu dla rumianku (kwiat + zanieczyszczenia) oraz spadek tej wartości dla konopi.
  - c) Spadek potencjału antyoksydacyjnego dla wszystkich stosowanych czasów procesu i natężeń przepływu dla rumianku (kwiat + zanieczyszczenia) oraz dla konopi przy czasach procesu 20s i 40s.
2. W wyniku wzrostu natężenia przepływu strumienia powietrza separującego (w analizowanym przedziale 20, 50, 70 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>) dla surowców w których przeprowadzono analizę (tymianek, rumianek, rumianek kwiat + zanieczyszczenia, rumianek zanieczyszczenia + piasek, konopi oraz melisa-pył) stwierdzono:
  - a) Nieznaczne spadki zawartości popiołu względem surowca wejściowego dla wszystkich zakresów czasów realizacji procesu i stosowanych prędkości głowicy dla tymianku, rumianku, rumianku (kwiat + zanieczyszczenia), rumianku (zanieczyszczenia + piasek). W przypadku konopi przy natężeniu przepływu 70 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup> dla wszystkich czasów 20s i 40s następował nieznaczny wzrost tej wartości względem wartości obserwowanych przy niższych natężeniach przepływu. Dla surowca melisa (pył) w miarę wzrostu natężenia przepływu dla czasów procesu 20 i 60s zaobserwowano wzrost tej wartości względem wartości obserwowanych przy niższych natężeniach przepływu.
  - b) W większości przypadków spadek zawartości polifenoli względem surowca wejściowego dla wszystkich zakresów czasów realizacji procesu i stosowanych prędkości głowicy dla analizowanych przypadków (z wyjątkiem melisa-pył dla czasów 20s i 40s przy natężeniu przepływu 20 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup> i 10 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup> głowicy).
  - c) Wzrost zdolności antyoksydacyjnych dla surowców zielarskich odpadowych (rumianek zanieczyszczenie + piasek oraz melisa-pył) wartości te uległy zmniejszeniu względem surowca wejściowego dla wszystkich zakresów czasów realizacji procesu i stosowanych prędkości głowicy dla analizowanych przypadków. Dla tymianku, rumianku, rumianku zanieczyszczenia + piasek, konopi

oraz melisa (pył) - zwiększenie natężenia przepływu strumienia separującego powodowało wzrost zawartości polifenoli dla obserwowanych czasów procesu i obrotów głowicy separującej. W przypadku rumianku kwiat + zanieczyszczenia zaobserwowano odwrotną zależność.

3. W wyniku wzrostu czasu realizacji procesu separacji (w analizowanym przedziale 20s, 40s, 60s) dla surowców w których przeprowadzono analizę stwierdzono:
  - a) Nieznaczne spadki zawartości popiołu względem surowca wejściowego dla wszystkich zakresów czasów realizacji procesu i stosowanych prędkości głowicy separującej. Dla tymianku, rumianku, rumianku (kwiat + zanieczyszczenia), rumianku (zanieczyszczenia + piasek) w miarę wzrostu czasu procesu separacji zaobserwowano spadek tej wartości względem wartości obserwowanych przy niższych czasach procesu. Odwrotną tendencją zaobserwowano dla surowca odpadowego melisa (pył).
  - b) Dla analizowanych surowców zielarskich przeprowadzona separacja spowodowała nieznaczny spadek zdolności zawartości polifenoli względem surowca wejściowego dla wszystkich zakresów natężeń przepływu i stosowanych prędkości głowicy separującej. Tymianek przy obrotach głowicy separującej  $10 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$  i natężeniu przepływu  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  oraz  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  w miarę przedłużania się czasu separacji charakteryzował się wzrostem zawartości polifenoli w stosunku do wartości uzyskiwanej przy niższym czasie procesu. Podobną zależność odnotowano dla rumianku (kwiat + zanieczyszczenia) przy obrotach głowicy separującej  $50 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$  i natężeniu przepływu  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  oraz rumianku zanieczyszczenia + piasek. Odwrotną zależność zaobserwowano dla rumianku (przy obrotach głowicy separującej  $30 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$  i natężeniu przepływu  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) oraz melisy-pył (przy obrotach głowicy separującej  $10 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$  i natężeniu przepływu  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ). W pozostałych przypadkach trend zmian był niejednoznaczny.
  - c) Dla analizowanych surowców zielarskich wzrost zdolności antyoksydacyjnych względem surowca wejściowego dla wszystkich zakresów natężeń przepływu i stosowanych prędkości głowicy separującej.
  - d) W przypadku surowców zielarskich odpadowych (rumianek zanieczyszczenia + piasek oraz melisa-pył) wartości te były niższe od obserwowanych w surowcu wejściowym. Dla analizowanych surowców zielarskich w miarę czasu procesu separacji zaobserwowano spadek tej wartości względem wartości obserwowanych

przy niższych czasach procesu. Odwrotną tendencją zaobserwowano dla surowca odpadowego rumianek zanieczyszczenia + piasek, melisa (pył) oraz surowca zielarskiego rumianek przy prędkości obrotowej głowicy 30 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup> i natężeniu przepływu 20 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>.

4. Najwyższe efektywności procesu separacji zanieczyszczeń mineralnych z surowców zielarskich dla przeanalizowanych parametrów procesu (zastosowane sito, prędkość obrotowa głowicy separującej, natężenia przepływu strumienia powietrza separującego oraz czasu procesu) i jednocześnie najniższe straty uwzględniając główne wyznaczniki (zawartość polifenoli, zdolność antyoksydacyjną, zmiana zawartości popiołu) otrzymano:

- dla tymianku – sito 200 $\mu$ m, prędkość obrotowa głowicy separującej 10 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup>, natężenia przepływu strumienia powietrza separującego 70 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>, czasu procesu 20s (w surowcu po separacji zawartość polifenoli wynosiła 2,21 mg GAE $\cdot$ g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>, wartość inhibicji wzrosła o 22%, zawartość popiołu zmalała o 0,64%),
- dla rumianku – sito 200 $\mu$ m, prędkość obrotowa głowicy separującej 10 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup>, natężenia przepływu strumienia powietrza separującego 70 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>, czasu procesu 60s (w surowcu po separacji zawartość polifenoli wynosiła 1,71 mg GAE $\cdot$ g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>, wartość inhibicji wzrosła o 15,9%, zawartość popiołu zmalała o 0,5%),
- dla rumianku (kwiat + zanieczyszczenia) - sito 200 $\mu$ m, prędkość obrotowa głowicy separującej 30 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup>, natężenia przepływu strumienia powietrza separującego 70 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>, czasu procesu 20s (w surowcu po separacji zawartość polifenoli wynosiła 2,44 mg GAE $\cdot$ g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>, wartość inhibicji wzrosła o 15,9%, zawartość popiołu zmalała o 0,96%),
- dla rumianku (zanieczyszczenia + piasek) ze względu na specyfikę surowca będącego odpadem nie zanotowano korzystnego wzrostu (a wręcz ich nieznaczny spadek) po separacji zawartość polifenoli oraz zdolności antyoksydacyjnej czy zawartości związków mineralnych. W związku z powyższym w surowcu tym bezzasadne jest realizowanie jego separacji,
- dla konopi - sito 630 $\mu$ m, prędkość obrotowa głowicy separującej 10 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup>, natężenia przepływu strumienia powietrza separującego 50 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>, czasu procesu 20s (w surowcu po separacji zawartość polifenoli wynosiła 1,84 mg GAE $\cdot$ g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>, wartość inhibicji wzrosła o 5,7%, zawartość popiołu zmalała o 0,22%),

- dla melisy (pyły) ze względu na charakter po odpadowy surowca oczekiwany wpływ procesu separacji był nieznaczny, najlepsze efekty osiągnięto dla sito 200 $\mu$ m, prędkość obrotowa głowicy separującej 10 obr. $\cdot$ min<sup>-1</sup>., natężenia przepływu strumienia powietrza separującego 50 m<sup>3</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>, czasu procesu 40s (w surowcu po separacji zawartość polifenoli wynosiła 2,68 mg GAE $\cdot$ g<sup>-1</sup><sub>s.m.</sub>, wartość inhibicji wzrosła o 1,6%, zawartość popiołu zmalała o 0,22%).

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. Aherne S.A., O'Brien N.M. 2002. Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. *Nutrition*. 18, 75-81.
2. Aoshima H., Hirata S., Ayabe S. 2007. Antioxidative and anti-hydrogen peroxide activities of various herbal teas. *Food Chemistry*. 103, 617-622.
3. Achremowicz K., Szary-Sworst K. 2005. Wielonienasycone kwasy tłuszczowe czynnikiem poprawy stanu zdrowia człowieka. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*. 3(44), 23-35.
4. Asbell B. 1995. *The pill: a biography of the drug that changed the World*. Random House. New York.
5. Bahtiyarca Bagdat R. 2006. The Essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.), its components and using Fields. *J. of Fac. of Agric., OMU*, 21(1):116-121.
6. Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. 2008. Biological effect of essential oils – a review. *Food Chem. Toxicol.* 46, 446-475
7. Ball S. 2001. *Antyoksydanty w medycynie i zdrowiu człowieka*. Medyk. Warszawa.
8. Benedycki S., Benedycka Z., Grzegorzczak S. 2001. Zawartość i akumulacja N, P, K, Ca, Mg i Na w ziołach i *Lolium perenne* w zależności od nawożenia. *Pam. Puławski* 125: 43-48.
9. Borowska J. 2003 Owoce i warzywa jako źródło naturalnych przeciwutleniaczy (1). *Przem. Ferm.* 5,11-12.
10. Borowy T., Kubiak M. 2010. Mikrobiologiczne zanieczyszczenie przypraw naturalnych. *Gosp Mięsna*. 1, 14-6.
11. Buchwald W., Szczyglewska D. 1999. Tymianek pospolity – tradycyjna roślina lecznicza i przyprawowa. *Wiadomości Zielarskie*. T. 41 nr 02, 9-10.
12. Bugno A., Almodovar A., Pereira T., Pinto T., Sabino M. 2006. Occurrence of toxigenic fungi in herbal drugs. *Brazilian J. Microbiol.* 37, 47-51.
13. Burczyk H., Kaniewski R., Konczewicz W. i wsp. 2009. Konopie włókniste źródłem olejków eterycznych. *Pamiętnik Puławski*. 151(1), 37-47.
14. Burt S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review. *International J. Food Microbiol.* 94, 223-253.
15. Byszewski W., Haman J. 1977. *Gleba – maszyna – roślina*. PWN Warszawa.

16. Choszcz D., Jadwisieńczyk K., Konopka S. 2008. Efektywność czyszczenia nasion marchwi (*daucuscarota L.*). *Inżynieria Rolnicza*. 9(107), 33-38.
17. Choszcz D., Konopka S., Wierzbicki K. 2003. Wyniki badań wstępnych skuteczności czyszczenia nasion gryki w fotoelektrycznym separatorze. *Inżynieria Rolnicza*, 7(49) s. 17-22.
18. Cieśla A. 2013. Badania eksperymentalne ruchu strugi naelektryzowanych ziaren w polu elektrycznym separatora odchylającego, *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, ISSN 0033-2097, R. 89, Nr. 12/2013, pp. 215 – 218.
19. Dang M.N., Takácsová M., Nguyen D.V., Kristiánová K. 2001. Antioxidant activity of essential oils from various spices. *Nahrung/Food*. 45(1): 64–66.
20. Dmitrewski J., Gach S., Roszkowski H., Waszkiewicz C. 1981. Elementy teorii i obliczania maszyn czyszczących oraz urządzeń suszarniczych. SGGW. Warszawa.
21. Dobros N. 2017. Zioła o działaniu uspokajającym i przeciwdepresyjnym. *Borgis Post Fitoter*. 18(3): 215-222.
22. Dorna H., Kaniewski R., Jarosz M., Banach J., Szopińska D. 2010. Zdrowotność i kiełkowanie nasion marchwi traktowanych wyciągiem z konopi siewnych (*Cannabis Sativa L.*) *Progress in Plant Protection. Postępy w Ochronie Roślin*. 50(1), 373-377.
23. Doyle M.P., Erickson M.C. 2008. Summer meeting 2007 – the problems with fresh produce: an overview. *J. Appl. Microbiol.* 105, 317-330.
24. Dutkiewicz J., Górny R.L. 2002. Biological factors hazardous to human health: classification and criteria of exposure assessment. *Med Pr.* 53(1): 29–39.
25. Dutkiewicz J., Krysińska-Traczyk E., Skórska C., Sitkowska J., Prażmo Z., Golec M. 2001. Exposure to airborne microorganisms and endotoxin in herb processing plants. *Ann Agric Environ Med.* 8: 201–211.
26. DzU. 2012, poz. 1512 ustawa o nasiennictwie.
27. DzU z 2005 r., nr 179, poz. 1485 ustawa o przeciwdziałaniu narkomanii.
28. Ernst E. 2000. Prevalence of use of complementary/alternative medicine: A systematic review. *Bull World Health Organ.* 78, 252-275.
29. *Farmakopea Polska VII*. 2006, Wydawnictwo PTFarm, Warszawa.
30. *Farmakopea Polska VIII*. 2008, Wydawnictwo PTFarm, Warszawa.

31. Feder S., Kęska W., Kośmicki Z. 2002. Metoda symulacyjnego badania ruchu warstwy ziarna na powierzchni sita. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 486(2), 325-331.
32. Feder S., Kęska W., Włodarczyk K. 2008. Pneumatyczne wspomaganie procesu przesiewania mieszanin ziarnistych na przesiewaczu płaskim. *Inżynieria Rolnicza*, 4, 263-269.
33. Grochowicz J. 1966. Efektywność czyszczenia nasion koniczyny czerwonej metodą magnetyczną. Referat wygłoszony na konferencji naukowej. WSR Wrocław, 7-8.
34. Grochowicz J. 1971. *Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion*. PWRiL, Warszawa.
35. Grochowicz J. 1979. *Mechanizacja rolnictwa: podręcznik dla techników rolniczych*. Tom 3, PWRiL, Warszawa.
36. Grochowicz J. 1989. Study on possibility of grain pneumatic separation in the depend of air velocity conveyance. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* Zeszyt, 354 (in Polish).
37. Grochowicz J. 1994. *Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion*. Wyd. Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin.
38. Grys A., Kania M., Baraniak J. 2014. Rumianek – pospolita roślina zielarska o różnorodnych właściwościach biologicznych i leczniczych. *Postępy fitoterapii*. 2, 90-93.
39. Havsteen B.H. 2002. The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacol The.* 96, 67-202.
40. Heck A.M., Dewitt B.A., Lukes A.L. 2000. Potential interactions between alternative therapies and warfarin. *Am J HealthSyst. Pharm.* 57, 1221-1230.
41. Horabik J. 2001. Charakterystyka właściwości fizycznych roślinnych materiałów sypkich istotnych w procesach składowania. *Acta Agrophisica*, 54.
42. Iscan G., Ozek T., Ozek G., Duran A., Bassar K.H.C. 2004. Essential oils of three species of *Heracleum*. Anticandidal activity. *Chem. Nat. Comp.* 40, 544-546.
43. ISO 14502-1:2005. Determination of substances characteristic of green and black tea — Part 1: Content of total polyphenols in tea — Colorimetric method using Folin-Ciocalteu reagent.



44. Jakóbiec J., Bocheński C., 2005, Badania wpływu parametrów tłoczenia na zawartość kwasów karboksylowych oraz glicerolu w oleju rzepakowym. Materiały konferencyjne EKOENERGIA Lublin.
45. Janda K., Ulfig K. 2005. Czystość mikrobiologiczna suszonych roślin leczniczych. *Panacea*. 3(12), 30-1.
46. Janda-Ulfig K., Ulfig K. 2008. Susze ziołowe i przyprawy jako źródło mikotoksyn. *Przem. Spoż.* 3(62), 36-8.
47. Johnston L., Jaykus L.A., Moll D., Anciso J., Mora B., Moe C.L. 2006. A field study of the microbiological quality of fresh produce of domestic and Mexican origin. *International J. Food Microbiol.* 112 (2), 83-95.
48. Juszczak L. 2008. Chemiczne zanieczyszczenia żywności i metody ich oznaczenia. Cz. II. *Laborat. Przegl. Ogólnop.* 4, 28-31.
49. Kabelitz L. 2002. Sposoby korygowania wad jakościowych surowców roślinnych. *WiadZiel.* 2: 13–16.
50. Kaleta A., Wojdalski J., 2008. Przetwórstwo rolno – spożywcze. Wybrane zagadnienia inżynierijno-produkcyjne i energetyczne. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
51. Kaniewski R, Konczewicz W, Cierpucha W. 2000. New trends in harvesting, processing and utilizing of hemp. *Natural Fibres.* 54, 77-94.
52. Kaźmierczak K., Seidler-Łożykowska K. 2001. Hodowla roślin przyprawowych w IRiPZ. *Annales,IX*, suplem., 307-310.
53. Kędzia B. 2000. Drogi zanieczyszczenia surowców zielarskich drobnoustrojami. *Herba Pol.* 1, 35-51.
54. Kęska W., Feder S., Włodarczyk K. 2005. Wstępne wyniki badań nad pneumatyczną intensyfikacją procesu sortowania mieszanin ziarnistych na sicie wibracyjnym. *Inżynieria Rolnicza*, 3(63), 235-242.
55. Klimek B., Królikowska M., Gudej J., Szepeczyńska K., Szymańska M., Wolbiś M., Wojcik E. 2011. Analiza fitochemiczna roślinnych substancji leczniczych. Uniwersytet Medyczny, Łódź.
56. Konopka S. 2006. Analiza procesu separacji nasion gryki przy wykorzystaniu prętowych powierzchni roboczych tryjerów. *Inżynieria Rolnicza.* R. 10, nr 8(83), 1-123.
57. Konopka S., Choszcz D., Wierzbicki K. 2000. Conception of a device for photoelectric separation of grain mixtures. *Techn. Sc.*, No 3, 15-24.

58. Kośmicki Z., Kęska W., Feder S. 1993. Próba klasyfikacji przemian fizykomechanicznych materiałów, przerabianych przez maszyny rolnicze dla potrzeb projektowania tych maszyn. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 408, 71-76.
59. Kramkowski R. 1997. Inżynieria i aparatura przemysłu spożywczego. Wrocław, Wydaw. Akademii Rolniczej, ISBN 83-85-5824-28.
60. Krygier K., Wroniak M., Grześkiewicz S., Obiedziński M. 2000. Badanie wpływu zawartości nasion uszkodzonych na jakość oleju rzepakowego tłoczonego na zimno. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXI. 587 – 596.
61. Kuczewski J. 1978. Budowa i regulacja maszyn rolniczych. Skrypt dla studentów akademii rolniczych. PWN, Warszawa – Poznań.
62. Kumirska J., Gołębiowski M., Paszkiewicz M., Bychowska A. 2000. Analiza żywności, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
63. Kunicka-Styczyńska A., Śmigielski K. 2011, Bezpieczeństwo mikrobiologiczne surowców ziołowych. Przem. Spoż.6(65), 50-3.
64. Kwapuliński J., Michalewska A., Rochel R., Kowol J. 2005. Intoksykacja surowców roślin leczniczych metalami ciężkimi w świetle obowiązujących uregulowań ustawodawczych oraz zaleceń WHO, Problemy ekologii 9. 4, 202-204.
65. Kwiatek K., Korol W. 2004. Zasady pobierania próbek środków żywienia zwierząt do badań laboratoryjnych. Pasze Przemysłowe, 9, 9-14.
66. Lamer-Zarawska E., Kowal-Gierczak B., Niedworok J. 2007. Fototerapia i leki roślinne. PZWL. Warszawa.
67. Ledziom E., Rybińska K., Postupolski J., Kurpińska-Jaworska J., Szczęsna M. 2011. „Badania i ocena bezpieczeństwa surowców zielarskich w zakresie zanieczyszczenia aflatoksynami”. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny. 62(4), 377-381.
68. Legutowska H. , Kolakowska R. 2004. Rumianek pospolity. Działkowiec. Nr 03, 66-67.
69. Lewandowski A. 1997. Melisa lekarska i jej zastosowanie. Wiadomości Zielarskie. Tom 39, nr 11, s. 19.
70. Li J., Webb C., Pandiella S.S. Campbell. G.M. 2003. Discrete particle motion on sieves – a numerical study using the DEM simulation. Powder Technology, 133. s. 190-203.

71. Libudzisz Z., Kowal K. 2000. Mikrobiologia techniczna. Tom 1. Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź.
72. Łaszczyk B., Pokrzywa B., Regulski S., Zapendowski F. 1979. Maszyny rolnicze. PWRiL, Warszawa.
73. Maj G., Kuranc A. 2014. Technologie produkcji oraz systemy certyfikacji jakości peletów z biomasy roślinnej. Wybrane problemy z zakresu ekoenergii i środowiska, Monografia Naukowa. Towarzystwo Wydawnictw Naukowych LIBROPOLIS. Lublin, 43-56.
74. Malinowska M., Bielawska K. 2013. Metabolizm i właściwości antyoksydacyjne kumaryn. Bromatologia i Chemia Toksykologiczna, 46, 3, 393-403.
75. Markowska J., Libudzisz Z. 2003. Stan mikrobiologiczny surowców ziołowych w Polsce, III Konferencja Naukowa „Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych”. Łódź. 306–309.
76. Marzec M., Polakowski C., Chilczuk R., Kołodziej B. 2010. Evaluation of Essentials oil content, its chemical composition and proce of thyme (*Thymus vulgaris* L.) Raw material available in Poland. Herb. Pol. 3(56), 37-52.
77. Matławska I. 2005. Farmakognozja, Akademia Medyczna im. Karola Marcinkowskiego, Poznań.
78. Mieszkalski L., Anders A. 1999. Analiza parametrów separacji okrywy nasiennej z mieszaniny powstałej po obłuskaniu nasion rzepaku. Inżynieria Rolnicza, 2 (8), 29-36.
79. Modrzewski R., Ławińska K., Wodziński P. 2017. Przesiewacze obrotowe o zmiennych średnicach sit do segregacji kruszyw. Przemysł Chemiczny. T. 96, nr 10, 2152-2156.
80. Molyneux P. 2004. The Use of Stable Free Radical Diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for Estimating Antioxidant Activity. J. Sci. Technol. 26, 211-219.
81. Moon YJ., Wang X., Moris ME. 2006. Dietary flovonoids : effects on xenobiotic and carcinogen metabolism. Toxicol In Vitro. 20, 187-210.
82. Moradkhani H., Sargsyan E., Bibak H., Naseri B., Sadat-Hosseini M., Fayazi-Barjin A., Meftahizade H. 2010. Melissa officinalis L., a valuable medicine plant. A review. Journal of medicinal plant research. 4. 2753-2759.
83. Nagy S. 1997. Economic adulteration of fruit beverages. Fruit Processing, 4, 125-131.
84. Niewiadomski H. 1993. Technologia tłuszczów jadalnych. PWN Warszawa.

85. Nowiński M. 1980. Dzieje upraw i roślin leczniczych, PWRiL, Warszawa.
86. Olędzka R., Szyszkowska E., 2000. Badanie zawartości pierwiastków w wybranych gatunkach ziół oraz w ich naparach. *Bromat. Chem. Toksykol.* XXXIII, 311-316.
87. Oszczak Z. 2006. Optymalizacja parametrów pracy pneumatycznego separatora kaskadowego. *Inżynieria Rolnicza*, 7, 359-365.
88. Panasiewicz M., Zawiślak K., Kusińska E., Sobczak P. 2008. Purification and separation of loose materials in a pneumatic system with vertical air stream. *Teka Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, Vol. VIII, 171-176.
89. Piekut J., Dec D., Zyskowska A. 2016. Zmiany zawartości związków fenolowych w wybranych roślinach przyprawowych pod wpływem procesu mrożenia. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*. 1/2016. 32-35.
90. Pietruszka B., Brzozowska A. 2002. Uwarunkowania suplementacji diety witaminami i składnikami mineralnymi w Polsce. *Żyw. Człow. Metab.* 29, supl. 215- 219.
91. PN-65/Z-04004: 1965. Ochrona powietrza atmosferycznego przed zapyleniem – Oznaczanie kąta zsypania pyłu.
92. PN-65/Z-04005: 1965. Ochrona powietrza atmosferycznego przed zapyleniem – Oznaczanie kąta nasypu pyłu.
93. PN-65-Z-04003: 1965. Ochrona powietrza atmosferycznego przed zapyleniem – Oznaczanie ciężaru jednostkowego pyłu utrąconego.
94. PN-EN ISO 712:2012. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe – Oznaczanie wilgotności – Metoda odwoławcza.
95. PN-ISO 2171:1994. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe – Oznaczanie popiołu całkowitego.
96. PN-ISO 2591-1:2000. Analiza sitowa – Metody z zastosowaniem sit kontrolnych z tkaniny z drutu i z blachy perforowanej.
97. Pokrzywa P., Cieślik E., Topolska K. 2007. Ocena zawartości mikotoksyn w wybranych produktach spożywczych. *Żywn-Nauk Technol Jakość*. 3(52), 137-46.
98. Price K.R., Johnson I.T., Fenwick G.R., Malinow M.R. 1987. The chemistry and biological significance of saponins in foods and feeding stuffs. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 26, 27-135.

99. Rice-Evans C.A., Miller N.J. Paganga G., 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acid. *Free Rad. Biol. Med.* 20(7), 933-956.
100. Remiszewski M., Kulczak M., Jeżewska M., Korbas E., Czajkowska D. 2006. Wpływ procesu dekontaminacji z zastosowaniem pary wodnej na jakość wybranych przypraw. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.* 3 (48), 23-34.
101. Rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1933 z dnia 27 października 2015 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych we włóknach kakao, chipsach bananowych, suplementach diety, suszonych ziołach i suszonych przyprawach.
102. Rozporządzenie Komisji (WE) 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych (wraz ze zmianami).
103. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 26 maja 2015 r. w sprawie w sprawie laboratoriów urzędowych i referencyjnych oraz zakresu analiz wykonywanych przez te laboratoria. *Dz.U.* 2015, poz. 795.
104. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 13 stycznia 2003 r. w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dozwolonych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających w przetwarzaniu albo na powierzchni żywności. *Dz.U.* 2003, Nr 37, poz. 326.
105. Sadowska A. (red.). 2003. *Rośliny lecznicze w weterynarii i zootechnice.* Wyd. SGGW, Warszawa.
106. Sadowski A., Kozłowska-Burdziak M. 2012. „Przetwórstwo ziół i możliwości jego zwiększenia w województwie podlaskim”. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Rolnictwa i Agrobiznesu Tom XV nr 2*, 325-329.
107. Sago S.K., Little C.L., Greenwood M., Mithani V., Grant K.A., McLaughlin J., de Pinna E., Threlfall E.J. 2009. Assessment of the microbiological safety of dried spices and herbs from production and retail premises in the United Kingdom. *Food Microbiol.* 26: 39–43.
108. Samochovec L. 2002. *Kompendium ziołolecznictwa,* Wydawnictwo Medyczne Urban & Partner, Wrocław.
109. Seńczuk W. 1990. *Toksykologia.* Wydawnictwo ZWL, Warszawa.

110. Smolarz H.D., Wegiera M. 2004. Antrachinony – składniki roślinne o właściwościach nie tylko przeczyszczających. *Postępy Fitoterapii*. 4 (14), 169-172.
111. Sobczak P. 2009. Separacja w produkcji pasz przemysłowych. *Pasze Przemysłowe*, 3/4, 6-9.
112. Sobczak P., Panasiewicz M., Zawiślak K., Mazur J. 2011. The assessment of the process of pneumatic separation of dehusked rapeseeds. *TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, V. XIC, 371-376.
113. Sparg S.G., Light M.E., Van Staden J. 2004. Biological activities and distribution of plant saponins. *J. Ethnopharmacol.* 94, 219-243.
114. Stanciu G, Chirila E., Dobrinas S., Negreanu-Pirjol T. 2010. Studies Regarding the Determination of Antioxidant Properties of New Plant Extracts for Cosmetic Purposes. *REV. CHIM.* 61(1), 41-44.
115. Steinka I., Misiewicz Ł., Kukułowicz A., Ćwikliński M., Dmowski P., Sznajdrowska A. 2011. Próba oceny jakości mikrobiologicznej wybranych suszy roślinnych stosowanych jako używki i preparaty o znaczeniu leczniczym. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej W Gdyni*. 68: 13–20.
116. Stevensen C.J. 1998. Aromatherapy in dermatology. *Clin. Dermatol.* 16, 689-694
117. Szponar L., Stoś K., Ołtarzewski M. 2004. Suplementy diety – możliwości ich wykorzystania w prewencji wybranych niedoborów żywieniowych. *Żyw. Człow. Metab.* 31, Supl. cz.I, 441- 446.
118. Sztaba K. 1993. *Przesiewanie*. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice.
119. Śledź M., Witrowa-Rajchert D. 2012. „Składniki biologicznie czynne w suszonych ziołach czy ciągle aktywne?”. *Kosmos. Problemy nauk biologicznych*. 61(2), 319-329.
120. Tylek P. 2003. Kształt jako cecha rozdzielnia nasion. *Inżynieria Rolnicza*, 11(53), 213-222.
121. Tylek P., Walczyk J. 2002. Separator pneumatyczny do nasion drzew leśnych. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*, 10, 16-25.
122. Uhl J.B., Lamp B.J. 1966. Pneumatic separation of grain and straw mixtures. *Transition of the American Society of Agricultural Engineers* 9, 244–246.
123. Ustawa o przeciwdziałaniu narkomanii z dn. 29 lipca 2005 r., Dz. U. z dn. 2016 r., poz. 224, 437.

124. Wieczorkiewicz-Górnik M., Piątkiewicz A. 2001. Mikrobiologiczne zanieczyszczenia przypraw ziołowych. *Gosp Mięsna*. 8, 46-50.
125. Witoszyńska T., Jendryczko A. 1994. Rośliny lecznicze naturalnym źródłem mikroelementów. *Wiad. Ziel.* 4, 8-9.
126. Wojdyło A., Oszmiański J., Czemerys R. 2007. Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food Chemistry*. 105, 940-949.
127. Worobiej E., Mądrzak J., Piecyk M. 2015. Zawartość wybranych składników biologicznie aktywnych w produktach z konopi siewnych (*CANNABIS SATIVA L.*) oraz kasztanów jadalnych (*CASTANEA SATIVA MILL.*). *BROMAT. CHEM. TOKSYKOL.* XLVIII, 3, 573-577.
128. Wójcicki M. 1958. *Maszyny i narzędzia rolnicze*. PWRiL, Warszawa.
129. Wójcicki M. 1969. *Maszyny i narzędzia rolnicze. Podręcznik dla techników mechanizacji rolnictwa*. PWRiL, Warszawa.
130. Wójcik-Stopczyńska B., Jadczyk D. 2007. The effect of freezing storage on microbiological quality of some spice plants. *Res. Vegetable Crops*. 66, 85-93.
131. Verma S. Pratap P. 2015. Lemon balm (*Melissa officinalis L.*) an herbal medicinal plant with broad therapeutic uses and cultivation practices. A review. *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research*. 2. 928-933.
132. Vitullo M., Ripabelli G., Fanelli I. i wsp. 2011. Microbiological and toxicological quality of dried herbs. *Lett Appl Microbiol.* 52(6), 573-80.
133. Yang X., Bern C., Hurburgh C.R. 1990. Airflow resistance of cleanings removes from corn. *Transition of the American Society of Agricultural Engineers*, 1299.
134. Yao L.H., Jilang Y.M., Shi J., Tomas-Barberan F.A., Datta N., Singanusong R., Chen S.S. 2004. Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Foods Hum. Nutr.* 59, 113-122.
135. Young J.E., Zhao X., Carey E.E., Welti R., Yang Sh. Sh., Wang W. 2005. Phytochemical phenolics In organically grown vegetables. *Mol Nutri. Food Res.* 49, 1136-1142.
136. Zagory D. 1999. Effects of post-processing handling and packaging on microbial populations. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 313-321.
137. Zawiślak K., Panasiewicz M., Sobczak P., Mazur J. 2013. Ocena pracy separatora pneumatyczno-sitowego do wybranych materiałów sypkich. *Inżynieria Przemysłu Spożywczego*. 3/4-2013(7). 25-29.

138. Zielińska-Pisklak M., Szeleszczuk Ł. 2013. Rumianek lekarski – dlaczego warto mieć go w domowej apteczce. *Lek w Polsce*. 9(23), 72-79.
139. Zimniewska M. 2006. Analiza składu surowcowego wyrobów odzieżowych na wybrane parametry fizjologiczne człowieka. Praca doktorska. Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii i Marketingu Tekstyliów, Łódź.
140. Żakowska Z., Stobińska H. 2000. Mikrobiologia i higiena w przemyśle spożywczym. Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź.



## 10. SPIS RYSUNKÓW, FOTOGRAFII I TABEL

### FOTOGRAFIE

Fot. 1. Tymianek .....	15
Fot. 2. Rumianek .....	16
Fot. 3. Konopia.....	18
Fot. 4. Melisa.....	20
Fot. 5. Laboratoryjny separator pneumatyczno sitkowy RHEWUM LPS 200 MC .....	53
Fot. 6. Urządzenie do analizy sitowej typ Retsch AS 200 .....	54
Fot. 7. Urządzenie do pomiaru kąta zsypu .....	55
Fot. 8. Urządzenie do pomiaru kąta usypu.....	56
Fot. 9. Urządzenie do pomiaru gęstości utrząsionej.....	57
Fot. 10. Próbki po zalaniu metanolem.....	57
Fot. 11. Próbki po 24h.....	58
Fot. 12. Odmierzone próbki .....	59
Fot. 13. Próbki po dodaniu odczynnika Folina-Ciocalteu'a.....	59
Fot. 14. Próbki po dodaniu węgla sodu i uzupełnieniu wodą do kreski.....	59
Fot. 15. Próbki po dodaniu odczynnika DPPH .....	60
Fot. 16. Próbki po 45min.....	61
Fot.17. Spektrofotometr UV-1800 Shimadzu UV Spectrophotometer .....	61
Fot. 18. WagosuszarkaRadwag WPS 210S.....	62
Fot. 19. Próbki po wysuszeniu .....	63
Fot. 20. Próbki po spaleniu.....	63

### RYSUNKI

Rys. 1. DHHP: a) wolny rodnik, b) forma zredukowana [Rice-Evans i in. 1996].....	47
Rys. 2. Schemat przebiegu i parametry badań procesu separacji pneumatyczno-sitowej.....	52
Rys. 3. Udział procentowy na sitach surowca przed procesem separacji .....	66
Rys. 4. Udział procentowy na sitach tymianku po separacji.....	67
Rys. 5. Udział procentowy na sitach rumianku po separacji.....	68
Rys. 6. Udział procentowy na sitach rumianku kwiat + zanieczyszczenia po separacji .....	69
Rys. 7. Udział procentowy na sitach rumianku zanieczyszczenia + piasek po separacji.....	70
Rys. 8. Udział procentowy na sitach konopi po separacji.....	71
Rys. 9. Udział procentowy na sitach melisy (pył) po separacji.....	72
Rys. 10. Udział procentowy na sitach pyłu po separacjitymianku.....	73
Rys. 11. Udział procentowy na sitach pyłu po separacji rumianku.....	74
Rys. 12. Udział procentowy na sitach pyłu po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia .....	75

Rys. 13. Udział procentowy na sitach pyłu po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek.....	76
Rys. 14. Udział procentowy na sitach pyłu po separacji konopi.....	77
Rys. 15. Udział procentowy na sitach pyłu po separacji melisy (pył) .....	78
Rys. 16. Procentowy ubytek masy tymianku po separacji.....	79
Rys. 17. Procentowy ubytek masy rumianku po separacji.....	79
Rys. 18. Procentowy ubytek masy rumianku kwiat + zanieczyszczenia po separacji .....	80
Rys. 19. Procentowy ubytek masy rumianku zanieczyszczenia + piasek po separacji.....	81
Rys. 20. Procentowy ubytek masy konopi po separacji.....	81
Rys. 21. Procentowy ubytek masy melisy (pył) po separacji.....	82
Rys. 22. Kąt zsypu tymianku przed i po separacji .....	83
Rys. 23. Kąt zsypu rumianku przed i po separacji .....	84
Rys. 24. Kąt zsypu rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji.....	84
Rys. 25. Kąt zsypu rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji .....	85
Rys. 26. Kąt zsypu konopi przed i po separacji .....	86
Rys. 27. Kąt zsypu melisy (pył) przed i po separacji .....	87
Rys. 28. Kąt zsypu pyłów po separacji tymianku .....	88
Rys. 29. Kąt zsypu pyłów po separacji rumianku .....	89
Rys. 30. Kąt zsypu pyłów po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia.....	89
Rys. 31. Kąt zsypu pyłów po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek .....	90
Rys. 32. Kąt zsypu pyłów po separacji konopi .....	91
Rys. 33. Kąt zsypu pyłów po separacji melisy (pył) .....	91
Rys. 34. Kąt usypu tymianku przed i po separacji.....	92
Rys. 35. Kąt usypu rumianku przed i po separacji.....	93
Rys. 36. Kąt usypu rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji .....	93
Rys. 37. Kąt usypu rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji.....	94
Rys. 38. Kąt usypu konopi przed i po separacji.....	95
Rys. 39. Kąt usypu melisy (pył) przed i po separacji.....	95
Rys. 40. Kąt usypu pyłów po separacji tymianku .....	96
Rys. 41. Kąt usypu pyłów po separacji rumianku.....	97
Rys. 42. Kąt usypu pyłów po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia .....	98
Rys. 43. Kąt usypu pyłów po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek .....	99
Rys. 44. Kąt usypu pyłów po separacji konopi .....	99
Rys. 45. Kąt usypu pyłów po separacji melisy (pył).....	100
Rys. 46. Gęstość utrżęsona tymianku przed i po separacji .....	101
Rys. 47. Gęstość utrżęsona rumianku przed i po separacji .....	102
Rys. 48. Gęstość utrżęsona rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji.....	103
Rys. 49. Gęstość utrżęsona rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji .....	104

Rys. 50. Gęstość utrząsiona konopi przed i po separacji .....	105
Rys. 51. Gęstość utrząsiona melisy (pył) przed i po separacji .....	106
Rys. 52. Gęstość utrząsiona pyłów po separacji tymianku .....	107
Rys. 53. Gęstość utrząsiona pyłów po separacji rumianku .....	108
Rys. 54. Gęstość utrząsiona pyłów po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia.....	108
Rys. 55. Gęstość utrząsiona pyłów po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek .....	109
Rys. 56. Gęstość utrząsiona pyłów po separacji konopi .....	110
Rys. 57. Gęstość utrząsiona pyłów po separacji melisy (pył) .....	110
Rys. 58. Zawartość polifenoli w tymianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach .....	112
Rys. 59. Zawartość polifenoli w rumianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach .....	113
Rys. 60. Zawartość polifenoli w rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach.....	114
Rys. 61. Zawartość polifenoli w rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach.....	115
Rys. 62. Zawartość polifenoli w konopi przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach .....	116
Rys. 63. Zawartość polifenoli w melisie (pył) przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach .....	117
Rys. 64. Inhibicja tymianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach .....	118
Rys. 65. Inhibicja rumianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach.....	119
Rys. 66. Inhibicja rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach	120
Rys. 67. Inhibicja rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach .....	121
Rys. 68. Inhibicja konopi przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach .....	122
Rys. 69. Inhibicja melisy (pył) przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach.....	123
Rys. 70. Procentowa wilgotność tymianku przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów .....	124
Rys. 71. Procentowa wilgotność rumianku przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów .....	125
Rys. 72. Procentowa wilgotność rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów .....	126
Rys. 73. Procentowa wilgotność rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów .....	127
Rys. 74. Procentowa wilgotność konopi przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów .....	128
Rys. 75. Procentowa wilgotność melisy (pył) przed i po separacji oraz uzyskanych pyłów .....	129
Rys. 76. Procentowa zawartość popiołu w tymianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach .....	130
Rys. 77. Procentowa zawartość popiołu w rumianku przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach .....	131
Rys. 78. Procentowa zawartość popiołu w rumianku kwiat + zanieczyszczenia przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach.....	132
Rys. 79. Procentowa zawartość popiołu w rumianku zanieczyszczenia + piasek przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach.....	133

Rys. 80. Procentowa zawartość popiołu w konopi przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach .....	134
Rys. 81. Procentowa zawartość popiołu w melisie (pył) przed i po separacji oraz w uzyskanych pyłach.....	135
Rys. 82. Ubytek masy po separacji tymianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	136
Rys. 83. Zawartość polifenoli po separacji w tymianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	137
Rys. 84. Potencjał antyoksydacyjny po separacji w tymianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	137
Rys. 85. Zawartość popiołu po separacji w tymianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	138
Rys. 86. Ubytek masy po separacji rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	139
Rys. 87. Zawartość polifenoli po separacji w rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	139
Rys. 88. Potencjał antyoksydacyjny po separacji w rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	140
Rys. 89. Zawartość popiołu po separacji w rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	140
Rys. 90. Ubytek masy po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	141
Rys. 91. Zawartość polifenoli po separacji w rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności .....	141
Rys. 92. Potencjał antyoksydacyjny po separacji w rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności .....	142
Rys. 93. Zawartość popiołu po separacji w rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	142
Rys. 94. Ubytek masy po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	143
Rys. 95. Potencjał antyoksydacyjny po separacji w rumianku zanieczyszczenia + piasek– zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności .....	143
Rys. 96. Ubytek masy po separacji konopi – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności .....	144
Rys. 97. Potencjał antyoksydacyjny po separacji w konopi – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	145
Rys. 98. Zawartość popiołu po separacji w konopi – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	145
Rys. 99. Zawartość polifenoli w pyłach uzyskanych po separacji rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności .....	147
Rys. 100. Potencjał antyoksydacyjny w pyłach uzyskanych po separacji rumianku – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności .....	147

Rys. 101. Potencjał antyoksydacyjny w pyłach uzyskanych po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	148
Rys. 102. Zawartość popiołu w pyłach uzyskanych po separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	148
Rys. 103. Potencjał antyoksydacyjny w pyłach uzyskanych po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	149
Rys. 104. Zawartość popiołu w pyłach uzyskanych po separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	150
Rys. 105. Zawartość popiołu w pyłach uzyskanych po separacji konopi – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych wraz z 95% przedziałem ufności.....	151

#### TABELE

Tabela 1. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych tymianku uzyskane po procesie separacji w analizowanym zakresie badawczym.....	136
Tabela 2. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych rumianku uzyskane po procesie separacji w analizowanym zakresie badawczym.....	138
Tabela 3. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych rumianku kwiat + zanieczyszczenia uzyskane po procesie separacji w analizowanym zakresie badawczym.....	141
Tabela 4. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych rumianku zanieczyszczenia + piasek uzyskane po procesie separacji w analizowanym zakresie badawczym.....	143
Tabela 5. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych konopi uzyskane po procesie separacji w analizowanym zakresie badawczym.....	144
Tabela 6. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych pyłów uzyskanych po procesie separacji rumianku w analizowanym zakresie badawczym.....	146
Tabela 7. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych pyłów uzyskanych po procesie separacji rumianku kwiat + zanieczyszczenia w analizowanym zakresie badawczym.....	148
Tabela 8. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych pyłów uzyskanych po procesie separacji rumianku zanieczyszczenia + piasek w analizowanym zakresie badawczym.....	149
Tabela 9. Zależności matematyczne parametrów skuteczności usuwania zanieczyszczeń mineralnych pyłów uzyskanych po procesie separacji konopi w analizowanym zakresie badawczym.....	150
Tabela 10. Wyznaczniki efektywności procesu separacji analizowanych surowców zielarskich.....	151