

## **AUTOREFERAT**

dr inż. Urszula Sadowska  
Instytut Eksploatacji Maszyn,  
Ergonomii i Procesów Produkcyjnych  
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki  
31-149 Kraków, ul. Balicka 116B  
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie  
31-120 Kraków, Aleja Mickiewicza 21  
e-mail: [urszula.sadowska@ur.krakow.pl](mailto:urszula.sadowska@ur.krakow.pl)

Kraków, 2019

## SPIS TREŚCI

1. Dane personalne
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)
  - 4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego
  - 4.2. Dane bibliograficzne
  - 4.3. Omówienie celu naukowego, osiągniętych wyników i ich wykorzystania
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych i kierunki dalszych prac
6. Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne i popularyzatorskie
7. Podsumowanie bibliometryczne osiągniętego dorobku publikacyjnego

## 1. Dane personalne

Imię i nazwisko:

**Urszula Sadowska**

## 2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

### **2005 – stopień doktora nauk rolniczych w zakresie inżynierii rolniczej**

Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Agrotechnologii

Temat rozprawy doktorskiej: **Wpływ gęstości siewu jęczmienia nago i okrytoziarnistego na straty i uszkodzenia w czasie zbioru kombajnowego**

Promotor: Prof. dr hab. inż. Henryk Piróg

Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Dorota Bobrecka-Jamro,  
Prof. dr hab. inż. Janusz Kolowca

### **1988 – tytuł magistra inżyniera**

Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczy

## 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

<b>1988 - 1989</b> pracownik techniczny	Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Instytut Mechanizacji i Energetyki Rolnictwa
<b>1989 - 1990</b> asystent stażysta	Instytut Mechanizacji i Energetyki Rolnictwa
<b>1990 - 2005</b> asystent	Instytut Mechanizacji i Energetyki Rolnictwa, od 1993 r. Katedra Podstaw Rolnictwa AR Kraków
	<b>1992</b> <i>Urlop macierzyński i wychowawczy</i>
	<b>1994 - 1997</b> <i>Urlop macierzyński i wychowawczy</i>
	<b>1998 - 2002</b> <i>Urlop macierzyński i wychowawczy</i>
<b>2005 - aktualnie</b> adiunkt	Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Podstaw Rolnictwa, po reorganizacji - Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych

## 4. Wskazanie osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym, stanowiącym podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego, wynikającym z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r.

o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.) jest **autorska monografia naukowa**.

#### **4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

**Energochłonność produkcji roślin zielarskich na przykładzie mięty pieprzowej (*Mentha piperita* L.) i melisy lekarskiej (*Melissa officinalis* L.)**

#### **4.2. Dane bibliograficzne:**

Autor: Urszula Sadowska

Rok wydania: 2019

Wydawca: Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej

ISBN 978-83-64377-40-2; 13,5 arkuszy wydawniczych

Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Tomasz Dobek – ZUT Szczecin

Dr hab. inż. Józef Gorzelany prof. UR – UR Rzeszów

#### **4.3. Omówienie celu naukowego, osiągniętych wyników i ich wykorzystania**

### **Wstęp**

Współcześnie szerokie wykorzystanie ziół daje się obserwować w różnych dziedzinach życia. Według Światowej Organizacji Zdrowia szacuje się, że prawie 80% ludzi na świecie wykorzystuje produkty ziołowe dla celów zdrowotnych (Khan i Smillie, 2012). Polska produkcja ziół należy do ważniejszych w Europie. Rodzimy rynek produktów zielarskich, w tym rynek leków roślinnych, oceniany jest na około 250 mln Euro (Jambor, 2007). Przekształcające się nawyki żywieniowe sprawiły, że zarówno Ameryka, jak i rozwinięte kraje europejskie zaczęły pozyskiwać większe ilości przypraw i ziół (Williams, 2006). W Polsce w latach 2009-2013 liczba przedsiębiorstw zajmujących się produkcją przypraw zwiększyła się o 11,8% i w roku 2013 wynosiła 284 (Olewnicki, 2015).

Do niedawna, zarówno w naszym kraju, jak i na całym świecie, dominował zbiór ziół ze stanu naturalnego. W Polsce pierwsze plantacje zielarskie pojawiły się dopiero na początku XX w (Senderski, 2009), przez co uprawa ziół jest jedną z najmłodszych gałęzi produkcji roślinnej. Współcześnie dąży się do ograniczania zbieractwa na rzecz kontrolowanych upraw, z których można pozyskać surowiec jednorodny chemicznie,

spełniający wymagania normatywne. Według Jambora (2007), plantacje roślin leczniczych zajmują w Polsce powierzchnię ponad 30 tys. hektarów. Zdaniem Sadowskiego i Kozłowskiej-Burdziak (2013) uprawa roślin zielarskich obejmuje powierzchnię ponad 14 tys. ha, co tym samym daje Polsce miejsce w czołówce europejskich producentów tego surowca.

Polska jest krajem o dużych możliwościach produkcyjnych oraz przetwórczych wysokiej jakości surowca zielarskiego. Jednak w przypadku tak specyficznej grupy roślin, pożądanym jest uzyskiwanie nie tylko odpowiedniej wielkości plonów, ale także o wymaganej przez poszczególne gałęzie przemysłu jakości (Seidler-Łożykowska, 2009; Newerli-Guz, 2016).

Do jednych z ważniejszych i zalecanych do uprawy w Polsce gatunków roślin zielarskich można zaliczyć miętę pieprzową (*Mentha piperita* L.) i melisę lekarską (*Melissa officinalis* L.) (Newerli-Guz, 2016). Należą do tej samej rodziny botanicznej, jasnotowatych *Lamiaceae*. Własności lecznicze przypisuje się im przede wszystkim ze względu na zawartość olejków eterycznych, dlatego też gatunki te mają szerokie zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym i spożywczym. Z różnych gatunków zaliczanych do rodzaju *Mentha* pochodzi około 2000 ton światowego olejku eterycznego, co stanowi drugą najważniejszą grupę roślin olejkowych po roślinach cytrusowych (Mucciarelli i wsp., 2001). Z kolei melisa lekarska zawiera znacznie mniej olejku eterycznego, ale zaliczany jest on do najcenniejszych (Góra i Lis, 2017). Prowadzenie upraw roślin zielarskich, podobnie jak innych, związane jest z zużyciem energii, nie tylko w postaci bezpośrednich jej nośników, takich jak olej napędowy czy energia elektryczna, ale również jako energii pośredniej, rozumianej jako wkład energetyczny na produkcję ciągników, maszyn, nawozów, środków ochrony roślin, itp. (Hülsbergen i in., 2001). Ponadto, wkład energii pochodzącej z paliw kopalnych jest ściśle związany z emisjami zanieczyszczeń powietrza i gazów cieplarnianych, np. CO<sub>2</sub> ze spalania paliw kopalnych (Erdal i in., 2007). Według Pinstrup-Andersen (1999) rolnictwo w skali globalnej odpowiada za około 5% całkowitej zużywanej energii. Parton i in. (2011) podają, że głównym źródłem gazów cieplarnianych z rolnictwa jest emisja N<sub>2</sub>O z gleb nawożonych mineralnymi nawozami azotowymi. Erdal i in. (2007) oraz Gołasa (2014) zwracają uwagę na kwestie ekonomiczne wymuszające coraz to bardziej efektywne wykorzystanie energii w gospodarstwach rolnych, zwłaszcza tam, gdzie efektywność energetyczna jest na najniższym poziomie i jednocześnie ponoszone są wysokie nakłady na nośniki energii. Efektywność wykorzystania energii w rolnictwie jest jednym z warunków

zrównoważonego rolnictwa. Stanowi istotny czynnik wpływający zarówno na wysokość kosztów produkcji, jak również na uzyskiwane zyski z prowadzonej działalności, co pozwala na ochronę zasobów kopalnych i zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza.

Racjonalna technologia produkcji poszczególnych gatunków roślin rolniczych powinna charakteryzować się możliwie oszczędnym, ale zarazem wydajnym wykorzystaniem zasobów pracy ludzkiej i środków produkcji, przy osiągnięciu maksymalnych efektów energetycznych prowadzonej produkcji. Złożone interakcje między wkładem energii z paliw kopalnych, plonem, produktywnością i efektywnością zużycia energii w produkcji roślinnej i oddziaływaniem na środowisko, wskazują na konieczność zbadania bilansu energetycznego rolnictwa (Lin i in., 2017). Przedstawienie nakładów ponoszonych na dany rodzaj produkcji w jednostkach energii jest bardzo uniwersalne, ponieważ umożliwia porównywanie poszczególnych technologii zarówno w czasie, jak i przestrzeni, co w dobie powszechnej globalizacji jest szczególnie istotne. Doskonaląc metody i metodyki takich badań, należy aktualizować dotychczasowe umowne wskaźniki energetyczne (Wójcicki, 2015).

Według prezesa zarządu głównego Polskiego Komitetu Zielarskiego oraz wiceprezesa zarządu sekcji fitoterapii Polskiego Towarzystwa Lekarskiego dr Jambora (2007) Polska ma możliwości być jednym z wiodących na świecie krajów w dziedzinie zielarstwa. Istnieje zatem potrzeba kompleksowego poznania czynników wpływających na energochłonność tej specyficznej i bardzo wymagającej gałęzi produkcji rolniczej, która może stanowić szansę dla rozwoju polskiego rolnictwa oraz wskazanie newralgicznych miejsc tej działalności, wymagających działań zmierzających do poprawy istniejącego stanu rzeczy. Przeprowadzona analiza literatury przedmiotu wykazała brak publikacji dotyczących oceny energochłonności uprawy mięty pieprzowej i melisy lekarskiej, stąd pojawiła się potrzeba jej przeprowadzenia i podjęcia dalszych kroków dotyczących weryfikacji prowadzonych technologii uprawy w odniesieniu do wartości energii na wyjściu i wejściu.

### **Problem badawczy, cel i zakres badań**

Rośliny zielarskie są surowcem bardzo pożądanym na rynku farmaceutycznym, spożywczym i kosmetycznym. Prowadzenie uprawy ziół może stać się potencjalną szansą rozwoju wielu gospodarstw.

Polowa produkcja roślinna jest związana nie tylko z finalnym wytwarzaniem energii w procesie fotosyntezy, ale także znacznym jej zużyciu w procesie produkcyjnym. W świetle zmian klimatycznych i powszechnego dążenia do zrównoważonego rozwoju, problem racjonalnego wykorzystania energii oraz ewentualnych oszczędności przy tych samych efektach produkcyjnych jest ciągle aktualny. Energochłonność produkcji przedstawiana w jednostkach fizycznych może stanowić miarę porównawczą w czasie i przestrzeni oraz przy ocenie wybranych technologii pod kątem ograniczania zużycia energii. Problem energochłonności upraw zielarskich nie jest w literaturze przedmiotu znany. Analogicznie jak w produkcji roślinnej nasuwają się pytania: Jaki jest średni poziom skumulowanych nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję mięty pieprzowej i melisy lekarskiej? Które zaproponowane technologie uprawy charakteryzują się niższym zużyciem energii skumulowanej? Na jakim etapie produkcji występują największe różnice? Który strumień energii ma decydujące znaczenie w zmniejszaniu energochłonności uprawy? Jaki jest wpływ powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie na poszczególne rodzaje skumulowanych nakładów energetycznych? Istnieje pilna potrzeba odpowiedzi na postawione pytania badawcze. Otrzymana w ten sposób wiedza, może umożliwić określenie energetycznej efektywności produkcji ziół oraz prognozowanie zapotrzebowania na zużycie energii w polskim systemie rolnym dotyczącym zielarstwa.

Podstawowym celem prowadzonych badań była kompleksowa ocena energochłonności skumulowanej produkcji, a w dalszej kolejności efektywności energetycznej różnych technologii produkcji mięty pieprzowej i melisy lekarskiej na terenie trzech województw Polski południowo-wschodniej. Dla realizacji tego celu przyjęto następujące cele szczegółowe:

1. Ocenę energochłonności poszczególnych strumieni energetycznych w odniesieniu do produkcji badanych gatunków ziół, stosowanych technologii i roku prowadzenia plantacji.
2. Określenie energochłonności skumulowanej badanych gatunków roślin zielarskich w zależności od analizowanych technologii produkcji i w przypadku mięty pieprzowej, arealu uprawy ziół w gospodarstwie.
3. Określenie efektywności energetycznej i energochłonności upraw mięty pieprzowej i melisy lekarskiej w poszczególnych technologiach i latach prowadzenia plantacji.
4. Ocenę możliwości zmniejszenia energochłonności upraw roślin zielarskich, a tym samym poprawy uzyskiwanych wskaźników energetycznych.

5. Określenie wpływu stosowanej dawki nawozów azotowych na cechy ilościowo - jakościowe uzyskiwanego plonu.

Zakresem badań objęto 26 plantacji mięty pieprzowej i 20 melisy lekarskiej położonych na terenie województwa świętokrzyskiego, lubelskiego i małopolskiego. Osiągnięcie założonych w pracy celów było możliwe dzięki opracowaniu przeglądu literatury oraz przeprowadzeniu badań ankietowych, doświadczalnych oraz laboratoryjnych. Zaprezentowane w niniejszym opracowaniu syntetyczne wyniki, uwidaczniają potrzebę modyfikacji stosowanych w praktyce rolniczej technologii pod kątem możliwości ich optymalizacji.

Na podstawie przeprowadzonych rozważań sformułowano hipotezy badawcze:

1. Wybór technologii uprawy mięty pieprzowej na rozsadniku skutkuje zróżnicowaniem nakładów w dalszych latach wegetacji.
2. Zastosowanie technologii siewu nasion melisy lekarskiej bezpośrednio do gruntu będzie się charakteryzować korzystniejszymi wartościami wskaźników oceny energetycznej.

### **Materiał i metodyka badań**

Do realizacji postawionego celu badawczego wykorzystano w pierwszym etapie wyniki otrzymane na podstawie ankiet prowadzonych w gospodarstwach zajmujących się uprawą mięty pieprzowej i melisy lekarskiej, natomiast w drugim etapie, wyniki pozyskane z własnych doświadczeń polowych i laboratoryjnych, jako dopełnienie wcześniejszych. Badania terenowe przeprowadzono w latach 2016-2018 w gospodarstwach zlokalizowanych w województwie małopolskim na terenie gminy Michałowice, świętokrzyskim, gmina Michałów, Pińczów, Wodzisław oraz w przypadku melisy lekarskiej w województwie lubelskim, gmina Fajslawice. Dobór gospodarstw do badań opierał się na zasadzie próby celowej. Kryterium doboru stanowiła specjalizacja produkcji ustalona na podstawie udziału w strukturze zasiewów mięty pieprzowej lub melisy lekarskiej, położenie w wymienionym regionie i chęć współpracy plantatorów. Badaniami objęto 26 gospodarstw uprawiających miętę pieprzową i 20 gospodarstw, melisę lekarską.

Pierwszym etapem badań terenowych było sporządzenie ankiety ogólnej charakterystyki gospodarstwa, gdzie zawarto standardowe pytania na temat powierzchni użytków rolnych oraz gruntów ornych, klasy gleby, wykształcenia rolników, przedziału



wiekowego, struktury zasiewów, oraz wyposażenia technicznego gospodarstwa wraz z wiekiem ciągników i maszyn wykorzystywanych w polowej produkcji roślinnej.

Do oceny energochłonności produkcji mięty pieprzowej i melisy lekarskiej sporządzono karty technologiczne, w których ustalono kolejno ciąg następujących po sobie zabiegów i czynności technologicznych niezbędnych do wytworzenia produktu końcowego, z uwzględnieniem konserwacji wytworzonego surowca, co jest charakterystyczne dla tego typu produkcji. W związku ze specyfiką produkcji badanych gatunków ziół, karty technologiczne sporządzono oddzielnie dla każdego gatunku. W przypadku mięty pieprzowej, trzy karty; dla rozsadnika (matecznika), pierwszego roku prowadzenia plantacji oraz drugiego roku uprawy. Z kolei dla melisy lekarskiej utworzono kartę produkcji sadzonek pod osłonami (tam gdzie taka technologia była stosowana) i oddzielne karty dla pierwszego oraz dwie dla drugiego roku uprawy (z wyróżnieniem typowych metod uprawy i produkcji nasiennej). Na podstawie tych danych, przeprowadzono analizę procesu produkcji na jej poszczególnych etapach, dla gatunków roślin zielarskich objętych badaniem. Obliczono nakłady materiałowo-energetyczne w różnej formie dla wyszczególnionych technologii uprawy i w przypadku mięty pieprzowej, wielkości powierzchni uprawy ziół w badanych gospodarstwach. Gospodarstwa te podzielono na 3 grupy o całościowej powierzchni uprawy ziół od 1-3 ha, 4-9 ha oraz 10 ha i więcej.

Dane techniczno-eksploatacyjne ciągników i maszyn wykorzystywanych w uprawie badanych gatunków ziół, niezbędne do obliczeń energochłonności, pozyskano z katalogów ciągników i maszyn rolniczych Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, Woźniak (2004/5), Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego, Seliga i in. (2017), zasobów internetowych, danych od plantatora oraz bezpośredniego kontaktu z przedstawicielami firm handlujących maszynami rolniczymi.

Teoretyczną wydajność olejku eterycznego z produkcji mięty pieprzowej w poszczególnych gospodarstwach obliczono w oparciu o średnią zawartość olejku w danym roku badań jako wydajność olejku eterycznego, poprzez pomnożenie procentowej zawartości olejku eterycznego z uzyskanym plonem wysuszonych liści. Dane dotyczące średniej zawartości olejku w mięcie pieprzowej oraz wilgotności względnej surowca pozyskano z przedsiębiorstwa przetwarzającego ziele do którego większość rolników sprzedawała wytworzony plon oraz przeprowadzonych badań we własnym laboratorium na próbkach pobranych bezpośrednio od poszczególnych plantatorów, wg wymagań farmaceutycznych dla tego surowca (FP, VI).

Dla melisy lekarskiej przyjęto minimalną, wymaganą normatywnie zawartość olejku (0,05%) i maksymalną dopuszczalną wilgotność surowca dla klasy I (12%), zgodnie z PN-82/R-87011 Surowce zielarskie – Liście suszone.

Do analizy energochłonności produkcji mięty pieprzowej i melisy lekarskiej zastosowano metodykę energochłonności skumulowanej (wg IBMER, Anuszewski i in. 1979, Wójcicki, 2000). Zgodnie z tymi założeniami energia zużywana bezpośrednio lub pośrednio do wytworzenia końcowego produktu pochodzi z czterech strumieni obejmujących: strumień paliw, pracy żywej, materiałów i surowców, maszyn i urządzeń oraz obiektów .

Energochłonność skumulowaną dla produkcji poszczególnych gatunków roślin zielarskich obliczono jako sumę poszczególnych składowych, według wzoru:

$$E_s = E_p + E_m + E_z + E_r \quad (\text{MJ}) \quad (1)$$

gdzie:

$E_s$  – energochłonność skumulowana niezbędna do wytworzenia danego produktu, (MJ)

$E_p$  – energia skumulowana w bezpośrednich nośnikach energii (paliwa – olej napędowy i energia elektryczna), (MJ)

$E_m$  – energia skumulowana w surowcach i materiałach (nasiona, sadzonki, rozłogi, nawozy, środki chemicznej ochrony), (MJ)

$E_i$  – energia skumulowana w inwestycjach, (MJ)

$E_r$  – energia skumulowana w pracy żywej, (MJ)

Energię wniesioną w postaci nośników energii - paliwa ( $E_n$ ) obliczono jako iloczyn zużycia danego nośnika w (kg) i odpowiedniego wskaźnika energetycznego w ( $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

$$E_n = Q \cdot x_n \quad (\text{MJ}) \quad (2)$$

gdzie:

$Q$  – ilość zużytego nośnika (kg) i (kWh)

$x_n$  – wskaźnik energetyczny dla danego nośnika energii ( $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) i ( $\text{MJ}\cdot\text{kWh}^{-1}$ )

Ilość zużytego nośnika ( $Q$ ) wyliczono według wzoru (Karwowski 1998):

$$Q = N_s \cdot q \cdot T_{07} \cdot w \quad (\text{kg}) \text{ i } (\text{kWh}) \quad (3)$$

gdzie:

$N_s$  – moc nominalna silnika (kW)

$q$  – jednostkowe zużycie paliwa przez silnik ( $\text{kg}\cdot\text{kWh}^{-1}$ )

$T_{07}$  – czas wykonania zabiegu (h)

$w$  – współczynnik obciążenia silnika przy danym zabiegu (-)

Energię wniesioną do produkcji ziół w postaci materiałów i surowców ( $E_m$ ) obliczono jako iloczyn zużycia danego surowca (materiału) w (kg) i wartość energii w nim zawartej, przyjmując z wartościami podanymi w tab. 1 odpowiednie wskaźniki energochłonności jednostkowej.

$$E_m = Z_m \cdot x_n \quad (\text{MJ}) \quad (4)$$

gdzie:

$Z_m$  – zużycie surowca (materiału) (kg)

$x_n$  – wskaźnik energochłonności jednostkowej materiału ( $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

W związku z tym, że wielu autorów uważa, iż ekwiwalenty energetyczne muszą być dostosowane do warunków regionalnych i ulepszeń w produkcji (Bohny 1993, Uhlin 1999), w obliczeniach stosowano wskaźniki przyjęte do obliczeń w polskich warunkach oraz wynikające z obliczeń własnych.

Energochłonność skumulowaną w pracy ludzkiej (pracy żywej) ( $E_z$ ) obliczono jako iloczyn nakładów pracy w (rbh) i odpowiedniego wskaźnika energetycznego w ( $\text{MJ} \cdot \text{rbh}^{-1}$ )

$$E_z = N_{SR} \cdot x_2 \quad (\text{MJ}) \quad (5)$$

gdzie:

$N_{SR}$  – całkowite nakłady pracy (rbh)

$x_2$  – wskaźnik energetyczny dla pracy ludzkiej ( $\text{MJ} \cdot \text{rbh}^{-1}$ )

Wskaźnik energochłonności pracy ludzkiej przyjęto jako  $50 \text{ MJ} \cdot \text{rbh}^{-1}$

W niniejszej pracy pracochłonność produkcji rozumiana jest jako nakłady pracy ludzkiej poniesione na jednostkę powierzchni ( $\text{rbh} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Dodatkowo, nakłady pracy są przedstawione w Rocznych Jednostkach Pracy (AWU – Annual Work Units). 1 AWU obliczono poprzez podzielenie liczby godzin przepracowanych w ciągu roku przez roczną liczbę godzin odpowiadającą pełnemu etatowi. W Polsce od roku obrachunkowego 2011 jako ekwiwalent pełnego etatu przyjęto 2120 godzin pracy w roku.

Energochłonność skumulowana w wykorzystywanych maszynach i agregatach ( $E_i$ ):

$$E_i = E_z + E_{cz} + E_p \quad (\text{MJ}) \quad (6)$$

Energochłonność produkcji maszyny, ciągnika ( $E_z$ ) obliczono wg wzoru:

$$E_z = \frac{m}{W_{rz} \cdot t} \cdot T_{07} \cdot x_3 \quad (\text{MJ}) \quad (7)$$

gdzie:

$m$  – masa ciągnika (maszyny) (kg)

$W_{rz}$  – roczne wykorzystanie rzeczywiste maszyn i ciągników ( $\text{h} \cdot \text{rok}^{-1}$ )

$t$  – okres eksploatacji (amortyzacji) (lata)

$T_{07}$  – czas wykonania zabiegu (h)

$x_3$  – wskaźnik energetyczny inwestycyjny dla maszyn i ciągników ( $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Roczne wykorzystanie maszyn i ciągników oszacowano na podstawie badań własnych w gospodarstwach rolnych produkujących ziola.

Energochłonność skumulowaną w częściach zamiennych i naprawach ( $E_{cz}$ ) obliczono wg wzoru:

$$E_{cz} = \frac{k_{ns} \cdot m}{n} \cdot T_{07} \cdot (x_4 + x_5) \quad (\text{MJ}) \quad (8)$$

gdzie:

$m$  – masa ciągnika (maszyny) (kg)

$k_{ns}$  – skumulowany współczynnik napraw i obsługi technicznej (-)

$n$  – zdolność produkcyjna (h)

$T_{07}$  – czas wykonania zabiegu (h)

$x_4$  – wskaźnik energetyczny inwestycyjny dla części wymiennych ( $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

$x_5$  – wskaźnik energetyczny inwest. dla materiałów do napraw ( $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Energochłonność skumulowaną w przechowywaniu maszyn i ciągników ( $E_p$ ) obliczono wg wzoru:

$$E_p = \frac{f}{W_{rz}} \cdot T_{07} \cdot x_6 \quad (\text{MJ}) \quad (9)$$

gdzie:

$f$  - powierzchnia przechowywania ciągnika (maszyny) ( $\text{m}^2$ )

$W_{rz}$  – roczne wykorzystanie rzeczywiste ( $\text{h} \cdot \text{rok}^{-1}$ )

$T_{07}$  – czas wykonania zabiegu (h)

$x_6$  – wskaźnik energetyczny inwestycyjny dla budynków (garaży) ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ).

Obliczenia energochłonności odniesiono do jednostki powierzchni upraw badanych gatunków ziół (ha).

Przy przeliczaniu nawozu naturalnego w postaci obornika na zawartość NPK w tym nawozie, przyjmowano następujący udział procentowy: N-0,5%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  -0,3%,  $\text{K}_2\text{O}$ -0,7%

W pierwszej kolejności oddzielnej analizie poddano poszczególne strumienie energii, a następnie dokonano podsumowania zbiorczego całościowych nakładów energetycznych dla badanych gatunków roślin, wyodrębnionych technologii i grup powierzchniowych.

Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji określono wg zależności (Harasim 1997):

$$E_e = \frac{P_e}{E_{prod}} \quad (10)$$

gdzie:

$E_e$  - wskaźnik efektywności energetycznej

$P_e$  – wartość energetyczna z uzyskanego plonu (sucha masa) ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

$E_{prod}$  - energochłonność produkcji rocznej ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

Według powyższej zasady również obliczono wskaźnik efektywności liści, ziela i olejku eterycznego jako iloraz wartości energii uzyskanej z plonem wymienionego surowca do nakładów poniesionych na jego produkcję.

Jako odwrotność wskaźnika efektywności energetycznej obliczono wskaźnik energochłonności produkcji i wskaźniki energochłonności ziela, liści i olejku eterycznego.

Zysk energetyczny obliczono jako:

$$Z_{en} = W_p - E_s \quad (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}) \quad (11)$$

gdzie:

$Z_{en}$  - zysk energetyczny

$W_p$  - wartość energetyczna plonu ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

$E_s$  – energochłonność skumulowana produkcji ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

W pracy przedstawiono analizę efektywności energetycznej, przy uwzględnieniu wartości energetycznej plonów, według metodyki zalecanej przez FAO (Wielicki 1990),

w której przyjęto, że 1 kg suchej masy ma wartość energetyczną równą 18,36 MJ. Do obliczeń przyjmowano wartość energetyczną średnich plonów ziela i liści badanych gatunków roślin uzyskiwanych w gospodarstwach, oddzielnie dla pierwszego i drugiego roku prowadzenia plantacji. Plony główne uzyskiwane w poszczególnych gospodarstwach przeliczano na zawartość suchej masy dla mięty pieprzowej zgodnie z danymi uzyskanymi z firmy skupującej zioła i wynikami badań własnych, natomiast melisy zgodnie z minimalnymi wymaganiami Polskiej Normy.

Do zweryfikowania wpływu stosowanego nawożenia azotowego na wysokość i jakość uzyskiwanych plonów badanych gatunków ziół w warunkach gleb słabszych, prowadzono dwa niezależne doświadczenia ścisłe, osobno dla mięty pieprzowej i melisy lekarskiej. Badania dotyczące wpływu zróżnicowanego nawożenia azotowego na wielkość plonowania ziela mięty pieprzowej i zawartość oraz skład chemiczny olejków eterycznych prowadzono w latach 2017-18. Założono doświadczenie poletkowe na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego klasy bonitacyjnej IVb. Wysadzano ukorzenione sadzonki zielne mięty pieprzowej odmiany Schoko na poletkach 3x3 m w trzech powtórzeniach w rozstawie 40x21 cm, co dawało obsadę 13 roślin·m<sup>-2</sup>. Stosowano zróżnicowane nawożenie N w ilości 75, 100, 125 kg·ha<sup>-1</sup>. Przed założeniem doświadczenia zastosowano nawożenie N w wysokości 2/3 założonej pierwotnie dawki w postaci 34% saletry amonowej, a dalszą część uzupełniono po miesiącu wegetacji roślin. W kolejnym roku badań stosowano te same dawki azotu, 2/3 wiosną po rozpoczęciu wegetacji i kolejną część w odstępie miesięcznym. Nawożenie K stosowano, zgodnie z wcześniejszymi badaniami próbek gleby, w wysokości 240 kg·ha<sup>-1</sup> siarczanu potasowego (50% K<sub>2</sub>O). Nawożenia P nie stosowano, ze względu na to, że gleba przeznaczona pod doświadczenie była zasobna w ten składnik, co wykazały jej wcześniejsze analizy. W trakcie wegetacji mięty pieprzowej prowadzono ocenę produktywności poprzez pomiar tzw. wskaźników wegetacyjnych. Badania wykonywano na 9 roślinach z każdej kombinacji. Ocenę aktywności wegetacyjnej roślin wykonywano poprzez pomiar indeksu zieloności liścia (SPAD) za pomocą chlorofilomierza Minolta SPAD 502DL, wskaźnik zieleni (NDVI) określono urządzeniem GreenSeeker. W trakcie wegetacji, w miarę potrzeb prowadzono mechaniczną walkę z chwastami. Nie stosowano żadnych pestycydów. Wysokość plonowania ustalono poprzez zbiór ziela z całych poletek. Zioła zbierano jednokrotnie w każdym roku badań w fazie kwitnienia. Rośliny koszone za pomocą kosiarki listwowej na wysokości 5 cm nad powierzchnią gleby.

W celu precyzyjnego odniesienia wielkości i jakości plonu melisy lekarskiej w zależności od zastosowanej dawki nawożenia azotowego, wykonano doświadczenie wazonowe. Badania prowadzono w wazonach z tworzywa sztucznego o górnej średnicy 22 cm i wysokości 18 cm, o pojemności 5,075 kg gleby powietrznie suchej. Do badań wykorzystano materiał glebowy pobrany z warstwy 0-20 cm użytku ornego o składzie granulometrycznym piasku gliniastego, o znanym składzie chemicznym.

Schemat doświadczenia obejmował pięć obiektów ze zmiennym poziomem azotu w 9 powtórzeniach. Dawki azotu, w przeliczeniu na wazon (5,075 kg materiału glebowego), wynosiły: 0,8, 1,12, 1,40, 1,68 g. Jako nawóz azotowy wykorzystano saletrę amonową (34%). Natomiast dawkę potasu wyrównywano na wszystkich obiektach nawozowych do jednakowego poziomu i było to 0,9 g w postaci siarczanu potasu (50%). Nawożenia fosforowego nie stosowano ze względu na zasobność gleby w ten składnik. W każdym wazonie zasadzono jedną ukorzoną sadzonkę melisy i zakopano wazon w glebie, która wykorzystywana była do ich napełniania. Odległość między rzędami wynosiła 50 cm, natomiast w rzędzie wazony oddalone było od siebie o około 10 cm.

Podobnie jak w mięcie pieprzowej, w trakcie wegetacji melisy lekarskiej prowadzono ocenę produktywności poprzez pomiar tzw. wskaźników wegetacyjnych.

Zawartości suchej masy ziela i liści mięty pieprzowej oraz melisy lekarskiej oznaczano metodą suszarkowo-wagową w temp. 105°C w 3 powtórzeniach z każdego poletka doświadczalnego.

Ze względu na różną energochłonność i tym samym rentowność tego samego gatunku rośliny w przypadku możliwości wykorzystania (sprzedaży) dwojakiego surowca (ziele bądź liście), określono strukturę plonowania mięty pieprzowej i melisy lekarskiej. Badania struktury plonu ziela mięty pieprzowej prowadzono na 45 roślinach pobranych losowo z każdej kombinacji doświadczenia, natomiast badania struktury melisy lekarskiej prowadzono dla wszystkich roślin pozyskanych w czasie zbiorów. Udział poszczególnych organów określano w procentach wagowych.

Analizę zawartości olejków eterycznych prowadzono na aparatach Clevengera zgodnie z wytycznymi farmaceutycznymi (FP, 2011). Azot ogółem w roślinach oznaczono metodą Kjeldahla (Ostrowska i in.1991).

Analizę statystyczną uzyskanych wyników przeprowadzono, używając programu STATISTICA 9.0. Analizę wariancji przeprowadzono w module ANOVA/MANOVA. Średnie z danych pozyskanych z gospodarstw porównano w oparciu o test Tukey'a dla grup o nierównej liczebności, bądź równej liczebności (w zależności od analizy) dla

$p \leq 0,05$ , średnie z danych eksperymentu polowego w oparciu test Duncana dla  $p \leq 0,05$ . Modele regresji wyznaczono metodą estymacji nieliniowej.

### Omówienie wyników

#### Analiza wyników badań doświadczalnych

W oparciu o pomiar wskaźników wegetacyjnych prowadzono kontrolę wystąpienia u badanych gatunków roślin zielarskich zjawisk stresowych, spowodowanych niedoborem azotu. Dla mięty pieprzowej nie stwierdzono istotnych różnic w wartościach testu SPAD i NDVI pomiędzy kombinacjami doświadczenia nawożonymi zróżnicowanymi dawkami azotu. Zauważono tylko różnice pomiędzy datami pomiarów. Największe wartości testu SPAD (45,56) i NDVI (0,803) obserwowano w przypadku pomiaru czerwcowego, wynikały one z tego, że rośliny miały wówczas do dyspozycji najwięcej azotu, który mogły wbudować w swoje struktury.

Nie stwierdzono istotnych różnic w plonach świeżej masy ziela mięty pieprzowej pomiędzy wariantami gdzie zastosowano 100 i 125 kg N  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , otrzymane wartości zostały zaliczone do wspólnej grupy homogenicznej. Analiza struktury plonu mięty pieprzowej wykazała istotne zróżnicowanie masy pojedynczych roślin. Najkorzystniejszym wariantem okazało się nawożenie w wysokości 100 N  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , dając najwyższą średnią masę rośliny wynoszącą 7,602 g. W tym samym wariacie nawożenia obserwowano także większą liczbę odgałęzień pierwszego rzędu, średnio 7,7, masę liści pozyskanych z jednej rośliny, średnio 2,236 g oraz masę łodyg, średnia wartość to 4,38 g.

Badanie cech jakościowych ziela mięty pieprzowej oparto na zawartości olejków eterycznych i azotu w zebranej biomase roślinnej. We wszystkich kombinacjach doświadczenia uzyskano wymaganą farmaceutycznie zawartość olejków eterycznych, czyli 1,2  $\text{ml}\cdot 100\text{g}^{-1}$  (FP, IX). Między poszczególnymi wariantami doświadczenia nie stwierdzono różnic statystycznie istotnych. Średnia zawartość olejków eterycznych wynosiła 1,94  $\text{ml}\cdot 100\text{g}^{-1}$  surowca.

Najwyższą zawartość azotu, średnio 2,2% stwierdzono w kombinacji doświadczenia z dawką azotu 100  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Nawożenie azotem w najwyższej dawce nie zwiększało zawartości N w roślinach. W związku z powyższym, należy przypuszczać, że mięta pieprzowa w danych warunkach glebowo-klimatycznych nie wykorzystwała wyższych dawek azotu i optymalnym poziomem nawożenia jest stosowanie w dawce 100  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .



W przypadku badań wskaźników wegetacyjnych melisy lekarskiej stwierdzono istotnie wyższe wartości testu SPAD dla dawek azotu 1,68g, 1,40g, 1,12g, odpowiednio 32,84, 31,93 oraz 31,54 i zaliczono je do wspólnej grupy jednorodnej. Wykazano także różnicę między terminami pomiarów, im później był wykonywany, tym otrzymywano niższe wartości testu. Najwyższe wartości testu otrzymano podczas pomiarów czerwcowych dla dawek 1,68g, 1,40g i 1,12g. W sierpniu najwyższe wartości testu otrzymano dla dawki N 1,68 i 1,40 g, odpowiednio 25,63 i 23,12. Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania w wartościach wskaźnika zieleni (NDVI) pomiędzy rozpatrywanymi kombinacjami dotyczącymi dawki nawożenia azotowego w melisie lekarskiej. Obserwowano różnice tylko pomiędzy terminami badań. Wyższe wartości tego wskaźnika odnotowano podczas badań czerwcowych, ze średnią wartością 0,799.

Wykazano, że najwyższe plonowanie melisy lekarskiej, zarówno pod względem masy uzyskanego ziela, jak i osobno rozpatrywanej masy liści i łodyg, występowało w wariacie gdzie stosowano najwyższe nawożenie azotowe, czyli 1,68 g na wazon, odpowiednio ziela 115,239, liści 80,469, łodygi 34,771 g·wazon<sup>-1</sup>. Najwięcej roślin (48) występowało w kombinacji z największą dawką azotu (1,68 g). Nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości azotu w roślinach melisy lekarskiej nawożonej zróżnicowaną dawką tego pierwiastka. Podobnie, nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości olejku eterycznego pomiędzy roślinami nawożonymi zróżnicowaną dawką azotu. W każdym wariacie zawartość olejków mieściła się w zakresie wymagań normatywnych (PN-82/R-87011). Średnia zawartość olejku eterycznego w melisie wynosiła 0,08 ml·100g<sup>-1</sup>.

### **Charakterystyka badanych gospodarstw**

Specyfiką towarowej produkcji mięty pieprzowej jest wytwarzanie w gospodarstwach zajmujących się uprawą tego gatunku własnego materiału rozmnożeniowego na rozsadnikach, synonim matecznikach. W badanych gospodarstwach wyróżniono dwie technologie prowadzenia rozsadnika. W jednej grupie gospodarstw rozsadniki zakładano z sadzonek zielnych pozyskiwanych ręcznie, w drugiej poprzez wykopywanie podziemnych rozłogów. W obydwu technologiach uprawy odnotowano zbliżoną powierzchnię zarówno gruntów ornych, jak i areał uprawy mięty pieprzowej. Powierzchnia gruntów ornych wynosiła odpowiednio 234,4 ha i 238,5 ha, natomiast uprawy mięty pieprzowej 75,9 i 62,5 ha. W strukturze zasiewów mięta pieprzowa

zajmowała 32,4% w gospodarstwach wykorzystujących sadzonki nadziemne i 26,2% sadzonki rozłogowe.

Badania energochłonności upraw mięty pieprzowej prowadzono także w wydzielonych grupach powierzchniowych w zależności od areалу uprawy ziół w gospodarstwie. Wydzielono trzy grupy, gdzie powierzchnia zajęta uprawą ziół stanowiła 1-3 ha, 4-9 ha oraz 10 ha i więcej. W wydzielonych trzech grupach powierzchniowych gospodarstw udział mięty pieprzowej w strukturze zasiewów wynosił odpowiednio: 16,1%, 21,3%, 46% powierzchni gruntów ornych.

Badaniami energochłonności upraw melisy lekarskiej objęto powierzchnię 411,7 ha użytków rolnych, gdzie areal uprawy melisy lekarskiej stanowił 41,6 ha, co zgodnie z danymi podawanymi przez Seidler-Łożykowską i in. (2015), stanowi 0,83% całej powierzchni uprawy w Polsce. Wydzielone technologie uprawy melisy lekarskiej różnicował sposób zakładania plantacji oraz obserwowano różnice na etapie suszenia i transportu. Plantacje zakładano poprzez wysiew nasion bezpośrednio do gruntu, lub też wysadzano rozsadę wyprodukowaną w tunelu foliowym. Na plantacjach zakładanych z nasion wysiewanych bezpośrednio na polu docelowym, ściętą melisę pozostawiano na jedną dobę na pokosach, a następnie do transportu wykorzystywano przyczepy samozbierające doczepione do ciągników i dalsze dosuszanie prowadzono pod zadaszeniem. Z kolei w gospodarstwach gdzie wykorzystywano sadzonki, suszenie odbywało się bezpośrednio na polu uprawnym i do transportu wykorzystywano przyczepy własnej konstrukcji. W gospodarstwach wykorzystujących rozsadę, plantacje melisy stanowiły 11,3%, natomiast tam gdzie siew nasion prowadzono na polu docelowym 10,1% gruntów ornych.

Przeprowadzona analiza wyposażenia w park maszynowy gospodarstw uprawiających miętę pieprzową i melisę lekarską pozwoliła stwierdzić, iż było ono zgodne z ukierunkowaniem produkcji.

### **Energochłonność skumulowana upraw badanych gatunków ziół**

#### **Mięta pieprzowa**

Mięta pieprzowa jest gatunkiem rośliny, który na skutek zdegradowanych pylników nie wytwarza nasion. Stąd do zakładania plantacji produkcyjnych służą organy wegetatywne. W badanych gospodarstwach zajmujących się uprawą mięty pieprzowej, w celu przygotowania materiału rozmnożeniowego mięty, w roku poprzedzającym

zakładanie plantacji właściwej prowadzono tzw. rozsadniki, inaczej mateczniki. Tym samym, w każdym przypadku korzystano z własnego materiału szkółkarskiego. Wykonując jednoczynnikową analizę wariancji dla poszczególnych składowych energii skumulowanej rozsadnika mięty pieprzowej, stwierdzono tylko istotne różnice pomiędzy rozpatrywanymi technologiami w strumieniu pracy. Niższe nakłady pracy ponoszone były przy zakładaniu rozsadnika z rozłogów podziemnych i wynosiły średnio  $1952 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Mimo wystąpienia zróżnicowania w nakładach pracy żywej i uprzedmiotowionej nie wykazano istotnej różnicy pomiędzy analizowanymi technologiami uprawy w nakładach energii skumulowanej, średnio na prowadzenie rozsadnika wydatkowano  $7476,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Przeprowadzona analiza wariancji nakładów energii skumulowanej ponoszonych w uprawie mięty pieprzowej na rocznych plantacjach w analizowanych technologiach uprawy, nie wykazała istotnych różnic pomiędzy nimi. Średnio na uprawę mięty w pierwszym roku prowadzenia plantacji wydatkowano  $68708,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W pierwszym roku uprawy największą energochłonnością odznaczał się strumień pracy ludzkiej, który różnicował analizowane technologie. Mniejsze nakłady z tytułu prowadzonych prac ponoszono w gospodarstwach, gdzie rozsadnik był zakładany z sadzonek zielnych, ze średnimi wartościami  $21203 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a przyczyniły się do tego mniejsze nakłady energii na sadzenie, zbiór, obróbkę pozbiorną oraz transport. Na drugiej pozycji znalazł się strumień materiałów ze średnią wartością  $17237,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Przeprowadzona analiza wykazała, że dominującą pozycję w nakładach materiałowych miało nawożenie mineralne. Mniejszą energochłonnością aplikacji nawozów mineralnych odznaczały się gospodarstwa stosujące sadzonki nadziemne ( $12355 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). W badanych gospodarstwach odnotowano najwyższą energochłonność w postaci nawozów azotowych. Bardziej energooszczędną pod względem mineralnego nawożenia azotowego była technologia wykorzystująca sadzonki nadziemne, średnio było to  $10090 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  w porównaniu do  $16186 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  wydatkowanych na technologię alternatywną. N mineralny stosowany był w ilości  $131 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  tam, gdzie do zakładania rozsadnika stosowano sadzonki nadziemne i  $210 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  przy sadzonkach rozłogowych, co przełożyło się na wysokie wydatki energetyczne. Dodając do tego N zawarty w nawozach naturalnych, otrzymano odpowiednio wartości, średnio  $156$  i  $257 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Pomiędzy energochłonnością nawozów fosforowych i potasowych w wydzielonych technologiach uprawy nie stwierdzono istotnych różnic. Stwierdzono bardzo wysoką korelację pomiędzy całościowymi nakładami materiałowymi a nakładami ponoszonymi na nawożenie mięty w pierwszym roku wegetacji, współczynnik korelacji r-Pearsona wynosił tu  $0,86$ . Natomiast pomiędzy energochłonnością nawożenia,

a energochłonnością mineralnych nawozów azotowych wystąpiła zależność praktycznie pełna, współczynnik korelacji r-Pearsona stanowił 0,99. Z przedstawionej analizy wynika, że minimalizując energochłonność skumulowaną w materiałach w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej należy szczególnie brać pod uwagę stosowane w nich mineralne nawożenie azotowe. Autorzy wielu prac poświęconych tej tematyce wskazują na wysokie nakłady energii ponoszone w uprawach różnych gatunków roślin, związane ze stosowanym nawożeniem azotowym (McLaughlin i in., 2000; Uzunož i in., 2008; Alluvione, 2011). W stosowanych technologiach uprawy, strumień nośników energii pochłaniał średnio  $15676,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Największą energochłonnością odznaczało się zakładanie plantacji, ze średnią wartością  $5555,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Kolejną, wysoce energochłonną czynnością był transport dosuszonego ziela do gospodarstwa, gdzie bezpośrednio poddawany był dalszej obróbce, lub też ze względu na spiętrzenie rozmaitych prac, gromadzony tymczasowo w stodołach, lub innego typu magazynach, a obróbka pozbiorcza przesunięta była w czasie na okres zimowy. Średnia energochłonność transportu w obydwu technologiach była zbliżona i paliwo stanowiło średnio  $3035 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Analizując energochłonność skumulowaną w postaci środków mechanizacji i budowli w wydzielonych grupach gospodarstw nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wyróżnionymi technologiami. Dla średniej wartości energochłonności  $7365,9 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , środki mechanizacji stanowiły prawie 92%. Z przedstawionych danych wynika, że minimalizując energochłonność skumulowaną w gospodarstwach zajmujących się uprawą mięty, należy w szczególny sposób zwrócić uwagę na optymalne wykorzystanie ciągników, maszyn i urządzeń.

W drugim roku uprawy mięty pieprzowej, podobnie jak w pierwszym, nie obserwowano istotnego zróżnicowania w nakładach energii skumulowanej pomiędzy wydzielonymi technologiami uprawy, średnio stanowiły one  $45920 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Dominującym strumieniem nakładów energii skumulowanej była praca ludzka, średnio  $17495,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , co w ujęciu procentowym w stosunku do całkowitych nakładów energii skumulowanej stanowiło 38,1%. Nie obserwowano istotnych różnic w tym strumieniu pomiędzy wydzielonymi technologiami uprawy. Największe nakłady energii związanej z wykonywanymi pracami mięty pieprzowej przypadają, podobnie jak w pierwszym roku, na prace związane z ręcznie wykonywaną walką z chwastami oraz zbiorem. Średnie nakłady energii na te czynności wynosiły odpowiednio:  $6868,2$  i  $5260,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W drugorocznej uprawie mięty pieprzowej nie stwierdzono różnicy w nakładach materiałowych między rozpatrywanymi technologiami uprawy. Średnie nakłady

w strumieniu materiałów i surowców wynosiły  $12953,9 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Największą energochłonnością odznaczało się nawożenie, ze średnimi wartościami  $12330,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Niezależnie od technologii, największe nakłady energii ponoszone były na nawożenie azotowe. Średnia energochłonność azotu w uprawie mięty pieprzowej w drugim roku to  $10924,0 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , co przekłada się na  $141,9 \text{ N kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej nakłady strumienia paliw średnio w wydzielonych technologiach uprawy mięty pieprzowej wynosiły  $8183,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Najbardziej energochłonnym zabiegiem okazał się transport, ze średnimi nakładami na nośniki energii w wysokości  $3476,8 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Średnia energochłonność inwestycyjna w drugim roku prowadzenia upraw wynosiła  $7365,9 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Mniejsze całkowite wartości energochłonności skumulowanej w maszynach i budowlach w drugim roku prowadzenia plantacji wynikały z mniejszej liczby zabiegów uprawowych w porównaniu do pierwszego roku.

Analiza energochłonności upraw mięty pieprzowej w wydzielonych grupach gospodarstw ze względu na areal uprawy ziół nie wykazała istotnej różnicy w wartościach energii skumulowanej między poszczególnymi grupami. W tak prowadzonej analizie średnia energochłonność skumulowana produkcji mięty na rocznej plantacji wynosiła  $66757,8 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Porównując nakłady energii skumulowanej z poszczególnych źródeł w odniesieniu do 1 ha stwierdzono, podobnie jak i przy analizie z wyodrębnieniem technologii uprawy, największe nakłady wynikające z pracy ludzkiej ( $23829 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) oraz w dalszej kolejności materiałów ( $16831,3 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), paliw ( $15603 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) i środków mechanizacji i budownictwa ( $10494,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). W drugim roku uprawy mięty pieprzowej średnie nakłady energii skumulowanej wynosiły  $43931,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  i obserwowano zmniejszenie średnich nakładów pracy ludzkiej o  $6494,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , materiałów  $4538,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , paliw  $8023,3 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  oraz środków mechanizacji i budownictwa  $3747 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W pierwszym roku uprawy największe nakłady bezpośrednie w postaci nośników energii odnotowano na założenie plantacji, ze średnią wartością obejmującą wszystkie gospodarstwa objęte badaniem  $5393,1 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , natomiast drugim na transport, średnio  $3281,1 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W obydwu latach uprawy w strukturze nakładów nośników energii zauważono istotne różnice w wartościach energii ponoszonych na stosowanie zabiegów pestycydowych. Największe nakłady na stosowanie środków chemicznej ochrony ponoszono w gospodarstwach o największych powierzchniach uprawy ziół, natomiast najmniejsze w grupie od 1 do 3 ha. Przeprowadzona analiza nie wykazała zróżnicowania w materiałowych nakładach energetycznych na poszczególne makroskładniki (NPK)

między wydzielonymi grupami gospodarstw. Niezależnie od powierzchni zajętej uprawą ziół w gospodarstwie, największe nakłady energii ponoszone były na nawożenie azotowe. Średnia energochłonność zastosowanych nawozów azotowych w pierwszym roku wegetacji mięty wynosiła 11817,7 MJ·ha<sup>-1</sup>. Przekłada się to na zastosowanie w nawozach 153 kg·ha<sup>-1</sup> N. Natomiast w drugim roku prowadzenia upraw, energochłonność nawozów azotowych stanowiła 10257,3 MJ·ha<sup>-1</sup>, co odpowiadało 133,2 kg·ha<sup>-1</sup> N. W strukturze energochłonności inwestycyjnej dominujący udział nakładów energetycznych przypadła na maszyny i urządzenia, średnia wartość w pierwszym roku uprawy wynosiła 10029,5 MJ·ha<sup>-1</sup>, natomiast w drugim 6341,7 MJ·ha<sup>-1</sup>, co stanowi odpowiednio 95,6 i 94,3%.

### **Melisa lekarska**

Wykonana analiza statystyczna otrzymanych wyników dotyczących nakładów energii skumulowanej ponoszonych w uprawie melisy lekarskiej wykazała istotne różnice między rozpatrywanymi technologiami uprawy. Gospodarstwa, gdzie wysiewano nasiona melisy bezpośrednio na polu produkcyjnym w pierwszym roku prowadzenia plantacji, odznaczały się niższym, o około 40%, zużyciem energii w stosunku do technologii alternatywnej. Na niższe wartości energii skumulowanej w tej technologii miał wpływ strumień paliw i inwestycji. Największą energochłonnością w obydwu technologiach odznaczał się, podobnie jak w przypadku mięty pieprzowej, strumień pracy ludzkiej stanowiąc średnio 19153,2 MJ·ha<sup>-1</sup>. W strukturze technologii charakteryzującej się niższym zużyciem energii, w ujęciu procentowym, nakłady związane z wykonywaną pracą ludzką, stanowiły średnio aż 51,4%. Jednak porównując otrzymane wartości w jednostkach energii, z ponoszonymi w drugiej rozpatrywanej technologii, daje się zauważyć znaczne podobieństwo otrzymanych wyników. Na kolejnym miejscu uplasował się strumień paliw, jednak w tym przypadku nakłady energii były zróżnicowane technologią. W tym strumieniu zdecydowanie bardziej energooszczędną technologią była ta, która obejmowała siew nasion bezpośrednio na polu docelowym ze średnimi nakładami w wysokości 4665 MJ·ha<sup>-1</sup>, co stanowiło 12,4% nakładów energii skumulowanej. W gospodarstwach, gdzie do zakładania plantacji wykorzystywano uprzednio wyprodukowane sadzonki zielne, ponoszono bardzo duże nakłady na paliwo, średnio było to 32,4% nakładów energii skumulowanej w tej technologii, co przekładało się średnio na 20413 MJ·ha<sup>-1</sup>. Na ten fakt miały wpływ wyższe nakłady na paliwo, zarówno na etapie zakładania plantacji, jak i w czasie transportu. Ten etap produkcji melisy charakteryzował się przedłużającym się

w czasie ręcznym załadunkiem wysuszonego ziela i stopniowym przemieszczaniu się po polu produkcyjnym środków transportu w celu załadunku. Obserwowano również różnice w energii strumienia inwestycji, niższe nakłady, średnio w wysokości  $3360 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  ponoszono w technologii siewu nasion bezpośrednio do gruntu.

W drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej, podobnie jak w pierwszym, a także mięcie pieprzowej, stwierdzono największe nakłady w postaci strumienia energii pracy żywej i uprzedmiotowionej ze średnią wartością wynoszącą  $17504,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , przy czym nie obserwowano różnic w wielkościach tego strumienia energii pomiędzy wyszczególnionymi technologiami uprawy. Bardzo dużą energochłonnością odznaczał się także strumień materiałów, na który wydatkowano średnio  $11154,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , bez istotnych różnic pomiędzy wyodrębnionymi technologiami. Podobnie, nie obserwowano w analizowanych technologiach uprawy melisy, istotnego zróżnicowania pomiędzy strumieniem paliw, a także inwestycji. W związku z tym, że przeprowadzona analiza energochłonności produkcji melisy lekarskiej wskazała technologię charakteryzującą się mniejszymi nakładami energii tylko w pierwszym roku uprawy, wychodząc z założenia, że melisa lekarska na plantacjach produkcyjnych występuje co najmniej 2 lata, poddano analizie statystycznej nakłady energii skumulowanej w dwuletnim cyklu jej produkcji. Wyniki tak prowadzonej analizy wykazały różnice w nakładach energii skumulowanej ponoszone w analizowanych technologiach. Mniejszym zużyciem energii w cyklu dwuletnim charakteryzowała się technologia, gdzie siewu dokonywano bezpośrednio do gruntu i prowadzono suszenie pod zadaszeniem. Średnie różnice między technologiami wynosiły  $34965 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , co wg danych prezentowanych przez Dobka i in. (2010) w polskich warunkach umożliwiłoby zaspokojenie nakładów energii skumulowanej na uprawę 1 ha rzepaku ozimego.

### **Plonowanie badanych gatunków ziół**

#### **Mięta pieprzowa**

W prezentowanych badaniach nie stwierdzono istotnego zróżnicowania w plonach ziela, liści, a także olejku eterycznego mięty pieprzowej, pomiędzy porównywanymi technologiami uprawy. Średnio w pierwszym roku uprawy ziela uzyskiwano  $2,35 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , liści  $1,76 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  oraz olejku eterycznego  $43 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ . W każdym gospodarstwie uzyskiwano pożądaną normatywnie zawartość olejków eterycznych. Istotne różnice wystąpiły w plonowaniu pomiędzy latami użytkowania plantacji, co jest zgodne z danymi

literaturowym (Kołodziej, 2010). W drugim roku odnotowano większe średnie wartości w plonie ziela o  $0,63 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $0,89 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  liści w stosunku do roku wcześniejszego. Konsekwencją tego były wyższe o  $11,8 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  plony olejku eterycznego mięty w drugim roku uprawy. Plony ziela, jak i liści oraz hipotetycznie obliczone plony olejku eterycznego podawano łącznie z 2 pokosów.

W pierwszym roku prowadzenia plantacji wykorzystujących na matecznikach sadzonki zielne stwierdzono istotną zależność ponoszonych nakładów pracy żywej od wysokości plonowania ziela i liści, tym samym wskazując, że przyczyniają się one bezpośrednio do uzyskanych plonów, w odróżnieniu od technologii sadzonek rozłogowych, gdzie takiej zależności nie stwierdzono. W drugim roku prowadzenia plantacji mięty stwierdzono istotną korelację nakładów pracy od wysokości uzyskiwanych plonów w obydwu technologiach.

Podobnie, nie stwierdzono różnic w plonowaniu ziela, liści i olejku eterycznego mięty pieprzowej pomiędzy wydzielonymi ze względu na areał uprawy ziół grupami gospodarstw, zarówno w pierwszym, jak i w drugim roku prowadzenia plantacji. Uzyskiwane plony mieściły się w normach krajowych. Dla pierwszego roku wegetacji mięty pieprzowej w grupie gospodarstw o powierzchni ziół 4-9 ha stwierdzono istotną zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej, jak i pracy od plonów ziela i liści. Tym samym wykazano, że nakłady pracy żywej w tej grupie gospodarstw są najbardziej racjonalnie wykorzystane i oddziałują bezpośrednio na wielkość plonowania mięty pieprzowej. W drugim roku uprawy, nakłady pracy żywej były zależne od wysokości plonowania liści w stopniu istotnym w grupie gospodarstw uprawiających zioła na powierzchni 1-3 ha, gdzie współczynnik korelacji r-Pearsona wynosił 0,69.

### **Melisa lekarska**

Analiza statystyczna otrzymanych wyników nie wykazała różnic pomiędzy wysokością uzyskiwanych plonów w obydwu technologiach uprawy. Natomiast obserwowano zróżnicowanie w wysokości plonowania melisy w zależności od okresu czasu jaki minął od założenia plantacji. Melisa w pierwszym roku użytkowania plantacji plonowała średnio w obydwu technologiach w wysokości  $1,97 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  ziela i  $1,05 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  liści, natomiast w drugim roku było to średnio  $4,02 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $2,82 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Zauważalne zróżnicowanie plonowania jest naturalne, ponieważ w roku założenia plantacji zbierany jest tylko jeden pokos w obydwu technologiach, natomiast w drugim, zazwyczaj dwa.



Uzyskiwane w gospodarstwach plony można uznać za wysokie. Dzida i in. (2015) w warunkach doświadczalnych otrzymywali średnie plony suszonego ziela melisy lekarskiej w wysokości  $0,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , natomiast liści  $0,15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  i zwracają uwagę na różnice związane z przebiegiem warunków atmosferycznych. Osiągane w warunkach polowych wyższe plony liści należy tłumaczyć odmiennością pozyskiwania. Prezentowane dane z plantacji produkcyjnych dotyczą liścia młóconego, a jak przewiduje norma (PN-82/R-87011) w tak pozyskanym surowcu może się znajdować do 8% dla klasy II innych części tej samej rośliny. Z kolei Sari i Ceylan (2002) zwracają uwagę na różnice dotyczące plonowania wynikające z klimatu i odmiennych genotypów. Seidler-Łożykowska i in. (2015) wskazują na różnice w plonowaniu melisy w zależności od miejsca i sposobu uprawy. W badaniach Seidler-Łożykowskiej i in. (2015) prowadzonych na terytorium Polski, wyższe plonowanie uzyskiwano przy konwencjonalnej metodzie uprawy, a średni plon świeżego ziela melisy w zależności od miejsca doświadczenia wahał się od 0,449 do  $2,416 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , natomiast nie obserwowano istotnych różnic w zawartości olejków eterycznych, kształtowały się w zakresie  $0,115\text{-}0,150 \text{ ml}\cdot 100\text{g}^{-1}$ . Prezentowane w niniejszym opracowaniu średnie plony olejku eterycznego są naturalną konsekwencją uzyskiwanego plonowania i przy założeniu minimalnej wymaganej normatywnie zawartości, kształtowałyby się średnio w pierwszym roku wegetacji  $0,52 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $1,41 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  drugim.

### **Wskaźniki energochłonności roślin zielarskich**

#### **Mięta pieprzowa**

Przeprowadzona analiza poszczególnych wskaźników oceny energetycznej w pierwszym i drugim roku uprawy mięty pieprzowej w wydzielonych grupach gospodarstw nie wykazała różnic ze względu na stosowaną technologię uprawy, a także areal uprawy ziół. Otrzymane wartości poszczególnych wskaźników z wyszczególnieniem technologii uprawy były zbliżone do uzyskiwanych w analizie z podziałem na grupy wielkościowe. W literaturze przedmiotu spotykano różnice w wysokości wskaźników, zarówno w przypadku technologii uprawy (Piskier, 2010), jak i wielkości powierzchni (Shahin i in., 2008), według tego kryterium duże gospodarstwa uprawiające pszenicę były bardziej skuteczne w wykorzystaniu energii. W drugim roku prowadzenia plantacji w badaniach własnych otrzymywano korzystniejsze parametry obliczanych wskaźników, co w przypadku roślin wieloletnich wydaje się być zjawiskiem normalnym.

Syntetycznym wskaźnikiem efektywności energetycznej produkcji roślinnej do którego odnosi się wiele publikacji jest stosunek energii zawartej w plonach do poniesionych nakładów energetycznych (Esengun i in., 2006; Hatirli i Ozkan, 2006; Kurek, 2011; Wójcicki i Rudeńska, 2014; Wójcicki, 2015). Według Soni i in. (2013) wskaźnik efektywności energetycznej dla głównego produktu dla różnych upraw mieści się (z wyłączeniem energii produktów ubocznych) w przedziale 0,21-13,7. Otrzymane wartości wskaźnika efektywności energetycznej mięty pieprzowej w pierwszym roku prowadzenia plantacji kształtują się średnio w wydzielonych technologiach uprawy w wysokości 0,57. Analizując grupy powierzchniowe w pierwszym roku plantacji uzyskiwano bardzo podobnie wartości tego wskaźnika, średnio 0,58. Zbliżonego rzędu wielkości, dla upraw szklarniowych ogórka i bakłażana osiągnęli Ozkan i in. (2004), współczynniki efektywności energetycznej wynosiły odpowiednio 0,76 i 0,61. W innych badaniach, Canakci i Akinci (2006) uzyskiwali jeszcze niższą efektywność dla szklarniowych upraw ogórka (0,31) i bakłażana (0,23). W drugim roku uprawy w badaniach własnych, wartości wskaźnika efektywności prawie dwukrotnie wzrastały, stanowiąc średnio w wydzielonych technologiach 1,06 i grupach powierzchniowych 1,11. Jednak biorąc pod uwagę podany przez Soni i in. (2013) przedział wielkościowy, nawet w drugim roku uprawy wskaźnik efektywności energetycznej dla mięty nie jest wysoki.

W prowadzonych badaniach osiągnięto niskie wskaźniki efektywności liści, ziela oraz olejków eterycznych pozyskanych z mięty pieprzowej. Dla mięty zebranej w pierwszym roku uprawy, niezależnie od kryterium analizy uzyskiwano zbliżone średnie wartości współczynnika efektywności, dla liści mięty wynosił on  $0,027 \text{ kg} \cdot \text{MJ}^{-1}$ , ziela  $0,036 \text{ kg} \cdot \text{MJ}^{-1}$ , natomiast olejków zaledwie  $0,007 \text{ dm}^3 \cdot \text{MJ}^{-1}$ . W drugim roku uprawy mięty jednostka energii zaangażowana w produkcję dawała prawie dwukrotnie więcej efektu końcowego. Mimo tego, otrzymane wartości nie można zaliczyć do wysokich. Niezależnie od wielkości gospodarstw, otrzymywano średnio dla liści  $0,0533 \text{ kg} \cdot \text{MJ}^{-1}$ , ziela  $0,0706 \text{ kg} \cdot \text{MJ}^{-1}$  i  $0,0013 \text{ dm}^3 \cdot \text{MJ}^{-1}$  olejków eterycznych.

W pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej w obydwu wydzielonych technologiach uprawy stwierdzono ujemne wartości energii netto, średnio  $-30,51 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ , podobnie jak i w analizie obejmującej grupy powierzchniowe, gdzie średnia stanowiła  $29,53 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Jak wykazała przeprowadzona analiza, wysokie skumulowane nakłady energetyczne związane są z zakładaniem samej plantacji. W drugim roku prowadzenia plantacji otrzymywano już dodatnie, aczkolwiek niewielkie wartości, w wydzielonych technologiach średnio  $1,42 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ , natomiast grupach o zróżnicowanym areale uprawy

ziół  $3,09 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W literaturze przedmiotu wykazano, że uprawa roślin ogrodniczych, czy sadowniczych może być związana ze stratami energii (Gökdoğan i in., 2018).

Do wskaźników oceny energetycznej zaliczana jest również energochłonność produkcji. Definiowana jest jako ilość energii zużytej na jednostkę produkcji (Medlock i Soligo, 2001). Wskaźnik energochłonności liści w pierwszym roku prowadzenia plantacji, w zależności od kryterium podziału, oscylował w zakresie  $38,6\text{-}39,4 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , natomiast ziela mięty pieprzowej  $29,1\text{-}29,6 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Nakłady energii skumulowanej na 1 kg zebranego surowca w drugim roku uprawy były już znacznie niższe, ze względu na brak wydatków energii związanych z zakładaniem plantacji, i kształtowały się odpowiednio dla liści  $19,9\text{-}20,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  oraz ziela  $14,9\text{-}15,4 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

### **Melisa lekarska**

Przeprowadzona jednoczynnikowa analiza wariancji dla pierwszego roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej wykazała istotne zróżnicowanie poszczególnych wskaźników oceny energetycznej w zależności od stosowanej technologii produkcji. Wszystkie analizowane wskaźniki potwierdziły lepsze parametry energetyczne technologii, gdzie siewu nasion dokonywano bezpośrednio na polu docelowym, a suszenie prowadzono pod zadaszeniem. W tej technologii ponoszono mniejsze o 40,8% nakłady energii na 1 kg liści, 38,1% ziela oraz 40,9% olejku eterycznego na  $1 \text{ dm}^3$  w stosunku do technologii alternatywnej. Natomiast średnie wartości wskaźników efektywności liści, ziela oraz olejku były większe odpowiednio o 82,3%, 72,7% oraz 87,5% w porównaniu do uzyskiwanych w gospodarstwach stosujących rozsadę i suszenie naturalne bezpośrednio na polu produkcyjnym. Konsekwencją opisanych zależności były większe wartości wskaźnika efektywności energetycznej (0,915), mniejsze energochłonności (1,21) oraz mniejsze straty energii netto (-6,06) uzyskiwane w gospodarstwach stosujących siew nasion bezpośrednio do gruntu. Odnosząc się tylko do drugiego analizowanego gatunku w niniejszym opracowaniu, stwierdzono korzystniejsze parametry oceny energetycznej uprawy melisy lekarskiej w pierwszym roku uprawy w porównaniu do mięty pieprzowej.

W drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej energochłonność energetyczna obydwu technologii była na zbliżonym poziomie, średnio 0,68. Stwierdzono jednak większą efektywność produkcji ziela w technologii bezpośredniego siewu nasion na polu produkcyjnym, średnio o około 41% oraz wartości efektywności energetycznej o 40,1% w stosunku do technologii alternatywnej. Natomiast średni zysk energetyczny

w obydwu technologiach był na zbliżonym poziomie i wynosił  $21,52 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Podobnie jak dla pierwszego roku uprawy, odnotowano większe wartości efektywności energetycznej oraz zysku energetycznego netto, natomiast mniejsze energochłonności, w porównaniu do drugiego roku uprawy mięty pieprzowej. Reasumując, przeprowadzona analiza porównawcza dwóch technologii uprawy melisy lekarskiej wykazała korzystniejsze parametry oceny wskaźników energetycznych w technologii bezpośredniego siewu nasion na polu produkcyjnym oraz wykorzystania przyczep samozbierających i suszenia pod zadaszeniem.

### **Sposoby ograniczania energochłonności badanych gatunków ziół**

Przedstawione w prezentowanej pracy wyniki badań jednoznacznie wskazują, że jednym z czynników decydujących o energochłonności produkcji ziół stanowi nawożenie, w szczególności stosowanie nawozów azotowych. Mając na uwadze ograniczanie nakładów energetycznych w postaci nawozów azotowych musimy pamiętać o końcowym efekcie jaki jest wskaźnik efektywności produkcji. Nasalski i in. (2004) wykazali, że wzrastający poziom nawożenia azotowego determinował wzrost plonu jęczmienia ozimego tylko do granicy  $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Przy kolejnej dawce azotu,  $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  nie tylko nie osiągnięto efektu wzrostu plonu, ale obserwowano jego spadek, co skutkowało osiągnięciem najniższego wskaźnika efektywności energetycznej. Muñoz i in. (2008) w klimacie śródziemnomorskim wykazują możliwość redukcji o 1/3 nawożenia azotowego w uprawach pomidorów bez zmniejszenia plonowania. W przypadku ziół, z punktu widzenia nakładów energetycznych na ich uprawę, na szczególną uwagę zasługuje prowadzenie upraw roślin zielarskich w zrównoważonych systemach rolniczych. W nawiązaniu do rezultatów badań doświadczalnych, gdzie nie stwierdzono istotnej różnicy w wysokości plonowania mięty pieprzowej dla zastosowanych dawek w wysokości  $100$  i  $125 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ , przeprowadzono obliczenia symulacyjne, polegające na zmniejszeniu nawożenia azotowego, stosowanego w poszczególnych gospodarstwach, zarówno w pierwszym, jak i drugim roku prowadzenia plantacji do wartości  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Przeprowadzone kalkulacje uwzględniały tylko strumień materiałów, przy stałych nakładach energii wynikających z pozostałych strumieni energetycznych.

Analizując potencjalne oszczędności energetyczne wynikające ze zmniejszenia dawki stosowanego nawożenia azotowego do  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , stwierdzono obniżenie nakładów energetycznych w pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej, niezależnie od kryterium

podziału. Zjawisko to związane jest z tym, że strategia nawożenia plantacji wieloletnich opiera się na stosowaniu przed jej założeniem wyższego poziomu nawożenia w porównaniu z kolejnymi latami użytkowania, a dodatkowo nawożenie azotowe jest stosowane po pierwszym pokosie ziela. Szczególnie duże zmniejszenie energii ponoszonej z tytułu wysokiego nawożenia azotowego odnotowano w technologii wykorzystującej sadzonki rozłogowe, średnio o 15,89% w stosunku do całościowych nakładów energii skumulowanej, co stanowi aż 11649 MJ·ha<sup>-1</sup>. Znaczne ograniczenie nakładów energii w gospodarstwach wykorzystujących sadzonki rozłogowe na rozsadniku widoczne jest także w drugim roku uprawy, wówczas zmniejszając nawożenie azotowe można zredukować nakłady energetyczne o 10,69%, co stanowi 4837 MJ·ha<sup>-1</sup>. W pierwszym roku wegetacji, w wydzielonych grupach powierzchniowych uprawy ziół można w ten sposób zaoszczędzić 5170,8 MJ·ha<sup>-1</sup>, co stanowi 7,75% zysku energii w stosunku do całkowitych nakładów energii skumulowanej ponoszonych w uprawie mięty w pierwszym roku prowadzenia plantacji. W drugim roku uprawy, nakłady energii skumulowanej przy tym samym kryterium podziału byłyby mniejsze średnio o 2689,7 MJ·ha<sup>-1</sup>, co stanowi 6,1%. Przytoczone informacje dotyczące stosowania nawozów azotowych mogą być wykorzystane w warunkach produkcyjnych.

W celu poszukiwania działań zmierzających do minimalizacji energochłonności skumulowanej upraw mięty pieprzowej, przeprowadzono także dogłębną analizę literatury przedmiotu. Verma i in. (2016) prowadzili badania plonowania mięty pieprzowej i wydajności olejków eterycznych z zastosowaniem nawożenia mieszanego, naturalnego i mineralnego. Jednoczesne wykorzystanie obornika i nawozów sztucznych zwiększyło plon biomasy roślinnej i wydajność olejku z mięty pieprzowej w porównaniu do stosowania wyłącznie nawozów nieorganicznych, a także przyczyniło się do utrzymania żyzności gleby.

Istnieje wiele dowodów na to, że siew mieszany roślin motylkowych z różnymi gatunkami uprawnymi, przy odpowiednim udziale procentowym, w zależności od gleby, regionu badań, gatunków, korzystnie wpływa na plonowanie komponentów mieszanki (Agegnehu, 2006; Song i in., 2007; Neumann i in., 2007; Latatii i in., 2016; Bedoussac i in., 2015; Hauggaard-Nielsen i in., 2009; Duchene i in., 2017). W kraju, ciekawym rozwiązaniem mogą być plantacje mięty pieprzowej, czy też melisy lekarskiej, zakładane współrzędnie z roślinami należącymi do bobowatych (dawniej motylkowych), które same mają zdolność asymilacji wolnego azotu dzięki symbiozie z bakteriami *Rhizobium*.

Aktualnie pojawiają się nowe doniesienia literaturowe traktujące o korzystnym oddziaływaniu roślin bobowatych na rośliny zielarskie (Machiani i in., 2018).

W nawiązaniu do wcześniej prowadzonych rozważań, przeprowadzono ponowne obliczenia wskaźników oceny energetycznej uprawy mięty pieprzowej z uwzględnieniem zmniejszenia poziomu nawożenia azotowego do racjonalnego poziomu, zgodnego z wynikami badań własnych ( $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Zmniejszenie poziomu nawożenia azotowego ma szeroki aspekt praktyczny, to nie tylko redukcja energochłonności skumulowanej w uprawie mięty pieprzowej, ale także zapobieganie pojawianiu się azotanów w surowcu roślinnym, wymywaniu azotu do wód gruntowych oraz jak wykazuje Parton i in. (2011) redukcja emisji gazów cieplarnianych. Według autorów głównym źródłem gazów cieplarnianych z rolnictwa (40%) jest emisja  $\text{N}_2\text{O}$  z gleb nawożonych mineralnymi nawozami azotowymi. Stąd też należy promować technologie uprawy zmierzające do obniżenia emisji gazów cieplarnianych, aby zminimalizować ryzyko zmiany klimatu, a także poprawić stan powietrza i wody. W prowadzonych analizach nie można zapominać także o aspekcie ekonomicznym takich działań, który bezpośrednio dotyka każdego plantatora. Jak wykazali Nasalski i in. (2004) oraz Klikocka i in. (2012) w produkcji roślin zbożowych najważniejszym generatorem kosztów jest nawożenie azotem.

Obliczono, że zmniejszenie nawożenia azotowego do  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  spowodowałyby wzrost wskaźnika efektywności energetycznej w pierwszym roku uprawy, średnio dla gospodarstw wydzielonych ze względu na stosowaną technologię uprawy o około o 8,8%, natomiast areał uprawy ziół 5,2% w stosunku do nawożenia jakie było stosowane w gospodarstwach. Uprawa ziół w drugim roku zwiększyłaby wartość wskaźników efektywności energetycznej, analogicznie o 8,5 i 7,2%. Przy wspomnianych założeniach wskaźnik energochłonności w pierwszym roku prowadzenia plantacji w gospodarstwach wydzielonych ze względu na stosowaną technologię zmniejszyłby się o 8,6%, natomiast w grupach gospodarstw wydzielonych ze względu na areał uprawy ziół, średnio o 7,1%. W drugim roku uprawy przewidywane zmniejszenie energochłonności byłoby odpowiednio o 7,2 i 6,7%. Wprowadzenie racjonalnego nawożenia azotowego zmniejszyłoby też ujemny bilans energetyczny w pierwszym roku uprawy w podanej powyżej kolejności o 5,8 i  $4,8 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$  natomiast w drugim roku uprawy nastąpiłby wzrost zysku energetycznego o 3,7 i  $3,2 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ . W wyniku takich działań w pierwszym roku prowadzenia plantacji w grupach gospodarstw wydzielonych ze względu na stosowaną technologię uprawy nakłady na 1 kg liści zmniejszyłyby się średnio o 8,45%, natomiast ziela o 8,52%. W wydzielonych grupach wielkościowych, wskaźnik energochłonności liści

zmniejszył się o 7,13%, natomiast ziela o 7,11%. W drugim roku prowadzenia plantacji w wydzielonych technologiach uprawy obserwowano zmniejszenie nakładów na 1 kg liści o 8,05%, ziela o 7,86%, a w grupach powierzchniowych o 7,08%, ziela o 7,03%. Mimo, iż przedstawiona analiza porównawcza podstawowych wskaźników energochłonności uprawy w ujęciu procentowym nie wydaje się być bardzo wysoka, należy mieć na względzie wielkości nakładów energii jakie za nimi stoją, co stawia osiągnięte zyski energetyczne całkowicie w innym świetle.

W związku z tym, że otrzymane wyniki badań doświadczalnych wykazały najwyższe plonowanie melisy w warunkach gleb słabszych przy stosowaniu 1,68 g na donicę (w zamyśle w analogii do N 150 kg·ha<sup>-1</sup>), a stosowane dawki tego makroskładnika w nawozach mineralnych w praktyce produkcyjnej nie wykraczały poza stosowany poziom, nie obliczano, tak jak w przypadku mięty pieprzowej, ponownie wskaźników oceny energetycznej uprawy melisy przy zmniejszonej dawce tego pierwiastka.

### **Wskaźniki energochłonności rozłogów, nasion i preparatów humusowych**

Problematyka energochłonności w rolnictwie w różnych aspektach działalności jest przedmiotem licznych badań od wielu lat. Jednak stosowane metodyki obliczania nakładów energetycznych i wykorzystywane wskaźniki energetyczne w celu określania energochłonności produkcji wymagają często aktualizacji (Uhlir, 1999; Wójcicki, 2014). Szczególną trudność metodyczną sprawiają badania, które nie były dotychczas wykonywane i w przypadku obliczeń nakładów energetycznych, szczególnie, surowców czy też materiałów w literaturze przedmiotu nie są znane dla nich wskaźniki energetyczne. Przeprowadzone badania, dotyczące szacowania nakładów energetycznych ponoszonych na uprawę mięty pieprzowej i melisy lekarskiej, stały się okazją do uzupełnienia tej luki w obszarze tych gatunków i stanowić mogą bazę dla prowadzonych przyszłych badań. Na podstawie wykonanych badań, a także literatury przedmiotu, zaproponowano przyjmować do obliczeń energochłonności skumulowanej 1 kg rocznych rozłogów mięty pieprzowej wartość 10 MJ, 1 kg nasion melisy 30 MJ, dla 1kg kwasów huminowych zawartych w preparacie 30 MJ.

## Stwierdzenia i wnioski

Do oceny energochłonności upraw mięty pieprzowej i melisy lekarskiej zastosowano kompleksowe podejście metodyczne uwzględniające zarówno wyniki badań ankietowych na których podstawie określono energochłonność oraz strukturę poszczególnych strumieni energetycznych, jak i wyniki prowadzonych doświadczeń ścisłych. Na podstawie doświadczeń poletkowych (mięta pieprzowa) i doświadczeń wazonowych (melisa lekarska) dokonano oceny wpływu zróżnicowanych dawek N na plonowanie, strukturę plonu i zawartość związków biologicznie aktywnych w kontekście możliwości zmniejszenia nakładów energii ponoszonych z tytułu mineralnego nawożenia azotowego. Na podstawie uzyskanych wyników badań i ich dyskusji, sformułowano następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Stwierdzono bardzo wysokie nakłady energii skumulowanej ponoszone na uprawę mięty pieprzowej. W rozpatrywanych technologiach uprawy średnia wysokość w pierwszym roku prowadzenia plantacji kształtowała się na poziomie  $68708,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , w tym etap prowadzenia rozsadnika generował średnio  $7476,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W drugim roku prowadzenia plantacji całkowite nakłady energii skumulowanej na produkcję wynosiły średnio  $45920 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

2. W całym cyklu uprawy mięty pieprzowej największą energochłonnością odznaczał się strumień pracy i był zależny od sposobu zakładania rozsadnika oraz roku wegetacji. Mniej pracochłonny był matecznik zakładany z podziemnych rozłogów, ale ten sposób generował większe nakłady pracy w pierwszym roku uprawy. W pierwszym roku uprawy największe nakłady pracy w obydwu analizowanych technologiach wydatkowano na sadzenie, ręcznie wykonywaną walkę z chwastami oraz zbiór. Uprawa w drugim roku mięty pieprzowej w wydzielonych technologiach, również wymagała największych nakładów pracy na plewienie i zbiór.

3. Przeprowadzona analiza wariancji dotycząca wpływu technologii uprawy mięty pieprzowej na energochłonność, nie wykazała istotności różnic pomiędzy otrzymanymi wartościami nakładów energii skumulowanej ponoszonych na uprawę mięty podczas prowadzenia rozsadnika, pierwszego i drugiego roku wegetacji. Tym samym nie ma podstaw do przyjęcia postawionej hipotezy wskazującej na istnienie różnic w nakładach energii skumulowanej między rozpatrywanymi technologiami.

4. Uzyskane wyniki badań jednoznacznie wskazują, że stopień energochłonności produkcji mięty pieprzowej w poszczególnych latach w analizowanych gospodarstwach



położonych na terenie województwa świętokrzyskiego i małopolskiego, nie jest różnicowany wielkością powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie. Gospodarstwa o mniejszej powierzchni uprawy ziół nie wykazują większego wskaźnika efektywności energetycznej. Średnio, niezależnie od powierzchni, kształtuje się on w pierwszym roku uprawy na poziomie 0,58, natomiast w drugim roku 1,11. Stwierdzono niską efektywność i wysoką energochłonność energetyczną uprawy mięty pieprzowej, niezależnie od stosowanej technologii uprawy i wielkości powierzchni ziół w gospodarstwie. Otrzymane średnie wartości poszczególnych wskaźników oceny energetycznej produkcji mięty pieprzowej w wydzielonych technologiach uprawy i grupach wielkościowych plantacji ziół były mało zróżnicowane. Na rocznych plantacjach wskaźnik efektywności energetycznej w zależności od kryterium analizy wynosił średnio 0,57 i 0,58, natomiast energochłonności energetycznej 1,84 i 1,87, przy ujemnych wartościach energii netto. W drugim roku uprawy mięty obserwowano wzrost wskaźnika efektywności energetycznej z 0,57 do 1,06 i spadek wskaźnika energochłonności energetycznej z 1,87 do 0,97 przy ocenie technologii uprawy, analogicznie dla grup powierzchniowych odnotowano zwiększenie wskaźnika efektywności energetycznej z 0,58 do 1,11 oraz zmniejszenie wskaźnika energochłonności energetycznej z 1,84 do 0,94.

5. Uzyskane wyniki z przeprowadzonego doświadczenia poletkowego z udziałem mięty pieprzowej w warunkach gleb słabszych przy zróżnicowanym poziomie nawożenia azotowego wykazały najkorzystniejsze efekty produkcyjne przy stosowaniu  $N 100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , przy niezmienionej zawartości olejków eterycznych. Przeprowadzone obliczenia symulacyjne wykazały, że zmniejszenie dawki nawozów azotowych do  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  spowodowałaby wzrost wskaźnika efektywności energetycznej w pierwszym roku uprawy średnio dla gospodarstw wydzielonych ze względu na stosowaną technologię uprawy o około o 8,8%, natomiast gdy kryterium podziału stanowił areał uprawy ziół o około 5,2% w stosunku do nawożenia jakie było stosowane w gospodarstwach. Według obliczeń efekt zmniejszenia nawożenia azotowego w drugim roku mógłby zwiększyć wartości efektywności energetycznej, odpowiednio o 8,5 i 7,2%.

6. Wyniki badań pozwoliły na wyłonienie bardziej energooszczędnej technologii uprawy melisy lekarskiej. Średnie nakłady energetyczne ponoszone w technologii siewu nasion bezpośrednio na polu docelowym, zbiorze przyczepami samozbierającymi i dosuszaniu prowadzonym pod zadaszeniem, generowały w cyklu dwuletnim mniejsze nakłady energii skumulowanej, w pierwszym roku uprawy melisy wartość  $37638 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Tym samym dla tej technologii otrzymano korzystniejsze wartości poszczególnych

wskaźników oceny energetycznej. W pierwszym roku prowadzenia uprawy wskaźnik efektywności dla tej technologii był większy o około 72%, natomiast wskaźnik energochłonności mniejszy o około 62% w stosunku do technologii alternatywnej. W drugim roku uprawy melisy obserwowano wzrost wskaźnika efektywności energetycznej o około 40% w stosunku do drugiej analizowanej technologii.

7. W analizowanych technologiach uprawy melisy lekarskiej, największe nakłady energetyczne związane były z pracą ludzką i wynosiły średnio w pierwszym roku uprawy  $19177 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , natomiast w drugim  $17571 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Wybrana, bardziej energooszczędna technologia uprawy charakteryzowała się największymi nakładami pracy wydatkowanej na pielienie plantacji. Ten strumień energii był bardzo silnie skorelowany z całkowitymi nakładami energii skumulowanej ponoszonymi w uprawie melisy.

8. Stwierdzono korzystniejsze wartości poszczególnych wskaźników oceny energetycznej melisy w porównaniu do mięty pieprzowej. Wyodrębniona energooszczędna technologia produkcji melisy odznaczała się w obydwu analizowanych latach wyższymi wskaźnikami efektywności energetycznej i niższym wskaźnikiem energochłonności energetycznej w pierwszym roku uprawy w stosunku do technologii alternatywnej.

9. W doświadczeniu wazonowym, największy średni plon melisy stwierdzono w przy stosowaniu nawożenia azotowego w ilości  $1,58 \text{ g}$  na donicę (górna przyjęta dawka na 1 donicę).

10. Obliczone w niniejszej pracy wskaźniki energetyczne rozlogów mięty pieprzowej, nasion melisy i kwasów humusowych mogą być wykorzystane przy ocenie nakładów energetycznych produkcji w innych badaniach.

### Literatura

- Agegnehu, G., Ghizaw, A., Sinebo, W. (2006).** Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 25(3), 202-207
- Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., Grignani, C. (2011).** EUE (efektywność wykorzystania energii) systemów upraw dla zrównoważonego rolnictwa. *Energy*, 36(7), 4468-4481.

- Anuszewski, R., Pawlak, J., Wójcicki, Z. (1979).** Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. *IBMER Warszawa*, 23-28.
- Bedoussac, L., Journet, EP., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, ES., Justes, E. (2015).** Zasady ekologiczne leżące u podstaw wzrostu produktywności osiągniętej dzięki międzyplonom roślin strączkowych roślin zbożowych w rolnictwie ekologicznym. Recenzja. *Agronomia for Sustainable Development*, 35(3), 911-935.
- Bonny, S. (1993).** Is agriculture using more and more energy? A French case study. *Agricultural systems*, 43(1), 51-66.
- Canakci, M., Akinci, I. (2006).** Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy*, 31(8-9), 1243-1256.
- Dobek, T. K., Dobek, M., Šařec, O. (2010).** Ocena efektywności ekonomicznej i energetycznej produkcji pszenicy ozimej i rzepaku ozimego wykorzystanych do produkcji biopaliw. *Inżynieria Rolnicza*, 14, 161-168.
- Duchene, O., Vian, J. F., Celette, F. (2017).** Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 240, 148-161.
- Dzida, K., Zawislak, G., Karczmarz, K. (2015).** Yields and biological value of three herbal species from the Lamiaceae family. *Journal of Elementology*, 20(2).
- Esengun, K., Erdal, G., Gündüz, O., Erdal, H. (2006).** An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey *Renew. Energy*, 32, 1873-1881.
- Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., Gündüz, O. (2007).** Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32(1), 35-41.
- Farmakopea Polska IX. (2011).** Tom I, W-wa, ISBN 978-83-88157-78-3.
- Gökdoğan, O., Erdoğan, O., Oğuz, H. I., Baran, M. F. (2018).** Studies of Energy Use Efficiency on Fruit Production. *Erwerbs-Obstbau*, 1-5.
- Golasa, P. (2014).** Efektywność energetyczna w gospodarstwach rolnych w Polsce w zależności od typu rolniczego. *Logistyka*, 4, 3517-3523.
- Góra, J., Lis, A. (2017).** *Najcenniejsze olejki eteryczne*. Łódź: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. BN 978-83-7283-822-3.

- Harasim, A. (1997).** Możliwości kompensacji ujemnego wpływu stanowiska na plonowanie i efektywność produkcji pszenicy ozimej. II Efektywność energetyczna i ekonomiczna. *Pamiętnik Puławski*, 111, 73-87.
- Hatirli, S. A., Ozkan, B., Fert, C. (2006).** Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, 31(4), 427-438.
- Hauggaard-Nielsen, H., Gooding, M., Ambus, P., Corre-Hellou, G., Crozat, Y., Dahlmann, C., ... Jensen, E. S. (2009).** Pea–barley intercropping for efficient symbiotic N<sub>2</sub>-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field crops research*, 113(1), 64-71.
- Hülsbergen, K-J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G-W., Kalk, W-D., Diepenbrock, W. (2001).** A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 86, 303-321.
- Jambor, J. (2007).** Zielarstwo w Polsce - stan obecny i perspektywy rozwoju. *Postępy Fitoterapii*, 2, 78-81.
- Karwowski, T. (1998).** Podstawy zespołowego użytkowania maszyn (ZUM). Warszawa: IBMER. ISBN: 83-86264-51-1.
- Khan, I.A., Smillie, T. (2012).** Implementing a “Quality by Design” approach to assure the safety and integrity of botanical dietary supplements. *J. Nat. Prod.*, 75, 1665–1673.
- Klikocka, H. Głowacka, A., Juszczak, D., Cybulska, M., Michalkiewicz, G., Pawliszak, R. (2012).** Energochłonność produkcji jęczmienia jarego w warunkach zróżnicowanej uprawy roli i nawożenia mineralnego. *Fragm. Agron.* 29(3), 71–80.
- Kołodziej, B. (2010).** *Uprawa ziół. Poradnik dla plantatorów*. PWRiL, ISBN 978-83-09-99021-5.
- Kurek, J. (2011).** Badania nakładów materiałowo-energetycznych w gospodarstwach rodzinnych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 29-38.
- Latati, M., Bargaz, A., Belarbi, B., Lazali, M., Benlahrech, S., Tellah, S., ... Ounane, S. M. (2016).** The intercropping common bean with maize improves the rhizobial efficiency, resource use and grain yield under low phosphorus availability. *European Journal of Agronomy*, 72, 80-90.
- Lin, H. C., Huber, J. A., Gerl, G., Hülsbergen, K. J. (2017).** Effects of changing farm management and farm structure on energy balance and energy-use efficiency—A case study of organic and conventional farming systems in southern Germany. *European Journal of Agronomy*, 82, 242-253.

- Machiani, M. A., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., Maggi, F. (2018).** Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production*, 171, 529 – 537.
- Machiani, M. A., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., Maggi, F. (2018).** Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. *Industrial Crops and Products*, 111, 743-754.
- McLaughlin, N. B., Hiba, A., Wall, G. J., King, D. J. (2000).** Comparison of energy inputs for inorganic fertilizer and manure based corn production. *Canadian Agricultural Engineering*, 42(1), 9-18.
- Medlock, K.B., Soligo, R. (2001).** Economic development and end-use energy demand. *Energy Journal* 22(2), 77–105.
- Mucciarelli, M., Camusso, W., Berteà, C. M., Bossi, S., Maffei, M. (2001).** Effect of (+)-pulegone and other oil components of *Mentha piperita* on cucumber respiration. *Phytochemistry*, 57(1), 91-98.
- Muñoz, P., Antón, A., Paranjpe, A., Ariño, J., Montero, J. I. (2008).** High decrease in nitrate leaching by lower N input without reducing greenhouse tomato yield. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(4), 489-495.
- Nasalski Z., Sadowski T., Stępień A. (2004).** Produkcyjna, ekonomiczna i energetyczna efektywność produkcji jęczmienia ozimego przy różnych poziomach nawożenia azotem. *Acta Sci. Pol., Agricultura*, 3(1): 83–90.
- Neumann, A., Schmidtke, K., Rauber, R. (2007).** Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat. *Field Crops Research*, 100(2-3), 285-293.
- Newerli-Guz, J. (2016).** Uprawa roślin zielarskich w Polsce. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 18(3), 268-274.
- Olewnicki, D., Jabłońska, L., Orliński, P., Gontar, Ł. (2015).** Zmiany w krajowej produkcji zielarskiej i wybranych rodzajach przetwórstwa roślin zielarskich w kontekście globalnego wzrostu popytu na te produkty. *ZN SGGW Problemy Rolnictwa Światowego*, 15(1), 68-76.
- Ostrowska, A., Gawliński, S., Szczubiałka, Z. (1991).** *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska.

- Ozkan, B., Kurklu, A., Akcaoz, H. (2004).** An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass and Bioenergy*, 26(1), 89-95.
- Parton, W. J., Del Grosso, S. J., Marx, E., Swan, A. L. (2011).** Agriculture's role in cutting greenhouse gas emissions. *Issues in Science and Technology*, 27(4), 29-32.
- Pinstrup-Andersen, P. (1999).** Towards Ecologically Sustainable World Food Production, *UNEP Industry and Environment, United Nations Environment Programme*, 22, 10–13.
- Piskier, T. (2010).** Efektywność energetyczna różnych technologii uprawy topinamburu. *Inżynieria Rolnicza* 5(123), 233-240.
- PN-82/R-87011,** Surowce zielarskie – Liście suszone.
- Sadowski, A., Kozłowska-Brudziak, M. (2013).** Produkcja ziół w województwie podlaskim i możliwości jej zwiększenia w ocenie rolników. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 15(1), 109-114.
- Sari, A. O., Ceylan, A. (2002).** Yield characteristics and essential oil composition of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) grown in the Aegean region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 26(4), 217-224.
- Seidler-Łożykowska, K. (2009).** *Hodowla i odmiany roślin zielarskich*. Warszawa: Hodowla roślin i nasiennictwo.
- Seidler-Łożykowska, K., Mordalski, R., Kucharski, W., Kędzia, E., Nowosad, K., Bocianowski, J. (2015).** Effect of organic cultivation on yield and quality of lemon balm herb (*Melissa officinalis* L.). *Acta. Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 14(5), 55-67.
- Seliga, A., Kalinowska R., Mumot D. (2017).** *Katalog Maszyn Rolniczych*. ITP.: Oddział W-wa.
- Senderski, M.E. (2009).** *Zioła. Praktyczny poradnik o ziołach i ziołolecznictwie*. Warszawa. ISBN 978-83-60215-70-8.
- Shahin, S., Jafari, A., Mobli, H., Rafiee, S., Karimi, M. (2008).** Effect of farm size on energy ratio for wheat production: a case study from Ardabil province of Iran. *Am.-Eurasian J. Agric. Environ. Sci*, 3(4), 604-608.
- Song, Y. N., Zhang, F. S., Marschner, P., Fan, F. L., Gao, H. M., Bao, X. G., ... Li, L. (2007).** Effect of intercropping on crop yield and chemical and microbiological properties in rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.), and faba bean (*Vicia faba* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 43(5), 565-574.

- Soni, P., Taewichit, C., Salokhe, V. M. (2013).** Energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in rainfed agricultural production systems of Northeast Thailand. *Agricultural Systems*, 116, 25-36.
- Uhlin, H. E. (1999).** Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 73(1), 63-81.
- Uzunoz, M., Akcay, Y., Esengun, K. (2008).** Energy input-output analysis of sunflower seed (*Helianthus annuus* L.) oil in Turkey. *Energy Sources, Part B*, 3(3), 215-223.
- Wielicki, W. (1990).** Energochłonność produkcji roślinnej. *Służba Roln.*, 1-2, 1-6.
- Williams, P. (2006).** Health benefits of herbs and spices. *Publ. Health Medical Journal of Australia*, 185(4), 17-18.
- Wójcicki, Z. (2015).** Metodyka badania energochłonności produkcji rolniczej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, Z. 4(90) s. 17–29.
- Wójcicki, Z., Rudeńska B. (2014).** Efektywność nakładów materiałowo-energetycznych w gospodarstwie rolnym. *Problemy Inżynierii Rolniczej (X-XII)*, 4(86), 57-70.
- Wójcicki, Z. (2000).** *Wyposażenie i nakłady materiałowo energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych*. Warszawa: IBMER, ISBN 83-86264-62-4.
- Woźniak, W. (2004/2005).** *Ciągniki i maszyny rolnicze*. Poznań: PIMR, wydanie V, ISBN 83-901206-8-2.
- Verma, R. K., Verma, R. S., Rahman, L. U., Kalra, A., Patra, D. D. (2016).** Integrated Nutrient Management on Biomass, Oil Yields and Essential Oil Composition of Peppermint (*Mentha piperita* L.) and Residual Fertility in a Hilly Soil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19(3), 582-591.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych i kierunki dalszych prac

Zagadnieniami związanymi z optymalizacją warunków zbioru roślin zbożowych o walorach prozdrowotnych zajmowałam się w trakcie realizacji badań do pracy doktorskiej. Inspiracją do podjętej tematyki badawczej było pojawienie się w tym czasie pierwszej nagoziarnistej odmiany jęczmienia. Rezultatem były prace dotyczące określania wielkości strat bezpośrednich i pośrednich przy zbiorze kombajnowym jęczmienia nagoziarnistego w porównaniu z oplewionym (II-D3,II-D4,II-D6). Zboże z poletek doświadczalnych zbierano przy zachowaniu stałych parametrów roboczych kombajnu dostosowanych do zbioru jęczmienia. Obserwowałam wzrost masy strat bezpośrednich wraz ze wzrostem gęstości

siewu. Kłosa tradycyjnej oplewionej odmiany były wylęcane w mniejszym stopniu, niż odmiany nagoziarnistej, ze względu na występowanie niedomłotów (II-D3). Prowadzone badania wykazały ścisłą korelację wielkości niedomłotów z wartościami siły wiążącej ziarniaki z osadką kłosową. Znajomość wartości siły wiążącej ziarniaki z kłosem ma istotne znaczenie nie tylko dla technologii zbioru, ale również w hodowli odmian odpornych na osypywanie. Prowadzone przeze mnie badania wykazały, że nagonasienna odmiana jęczmienia charakteryzowała się średnio o 70% mniejszą siłą wiążącą ziarniaków z kłosem.

W następnym etapie swoich badań zajmowałam się określaniem odporności ziarna jęczmienia na obciążenia statyczne poprzez pomiar siły w chwili pojawienia się w nim mikrouszkodzeń, zgodnie z metodą Mohsenina (1970). Stwierdziłam, że ziarniaki odmiany nagoziarnistej odznaczają się mniejszą odpornością doraźną w porównaniu z ziarniakami odmiany oplewionej (II-D5). Zachodzące w zespołach młócących obciążenia dynamiczne, jak i udarowo-zmęczeniowe w zespołach czyszczących i sortujących kombajnów, mogą być przyczyną powstawania uszkodzeń mechanicznych ziarniaków. Analiza wielkości uszkodzeń ziarna w czasie mechanicznego zbioru umożliwia właściwy dobór parametrów pracy kombajnu. Do oceny uszkodzeń mechanicznych ziarna jęczmienia zastosowałam metodę kolorymetryczną, dzięki czemu wielkości uszkodzeń mogłam wyrazić w jednostkach mianowanych. Wykazałam, że odmiana nagoziarnista charakteryzowała się znacznie większymi powierzchniami odkrytego bielma w porównaniu z odmianą oplewioną (II-D4). Osiągnięte rezultaty w badaniach poletkowych skłoniły mnie do rozszerzenia zainteresowań na skalę produkcyjną. Prowadziłam badania w doświadczeniu łanowym, gdzie były zastosowane zmienne parametry regulacyjne zespołu młócącego kombajnu zbożowego New Holland cx 760 (II-D7). Przy wilgotności ziarna 12% i stałej prędkości roboczej  $7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  stosowałam 9 kombinacji ustawień zespołu młócącego. Wyniki przeprowadzonych badań dowiodły, że wielkość powierzchni odkrytego bielma jęczmienia nagoziarnistego jest związana przede wszystkim z liczbą obrotów bębna młócącego i pozwoliły na wytypowanie najkorzystniejszego wariantu zbioru.

Do ważniejszych właściwości odmianowych zbóż ze względu na łatwość mechanicznego zbioru zalicza się odporność na wyleganie. Badaniami odporności zbóż na wyleganie zajmowałam się w odniesieniu do cech morfometrycznych źdźbeł jęczmienia i właściwości mechanicznych pszenicy orkisz (II-D8, II-D10, II-D16). Materiałem moich badań było 12 odmian jęczmienia nagoziarnistego, oraz jedna oplewiona, w tym, 11 odmian jęczmienia znajdujących się w polskich zasobach genowych oraz 4 odmiany pszenicy orkisz. Celem tego etapu mojej działalności naukowo-badawczej było wyodrębnienie genotypów



o pożądanym cechach, które mogłyby być wykorzystane w pracach hodowlanych i byłyby przydane do mechanicznego zbioru. Tę tematykę badawczą realizowałam zarówno w formie badań laboratoryjnych, jak i eksperymentu polowego. W prowadzonych badaniach laboratoryjnych wyznaczałam cechy morfometryczne roślin, między innymi z wykorzystaniem preparatów mikroskopowych i analizy obrazu oraz wartość współczynnika sprężystości źdźbeł metodą quasi-statyczną z użyciem przystawki służącej do wykonania próby zginania 3-punktowego na maszynie wytrzymałościowej MTS Insight 2.

W ramach moich zainteresowań związanych z optymalizacją zbioru roślin zbożowych badałam również cechy fizyczne ziarniaków pszenicy orkisz oraz dla różnych odmian tego gatunku określałam wartości sił potrzebnych do oddzielenia segmentu osadki kłosa. Wyniki tych badań mogą zostać wykorzystane przy adaptacji istniejących bądź konstruowaniu nowych urządzeń do wydzielania ziarna z kłosek, na które podczas zbioru kombajnowego rozpadają się kłosa tego zboża (II-D11,II-D22).

W kolejnych badaniach tematykę dotyczącą mechanicznego zbioru roślin rozszerzyłam o określenie wartości sił wiązania owoców z pędem dwóch odmian rokitnika zwyczajnego. Uzyskane dane pomiarowe mogą być pomocne do opracowania założeń konstrukcyjnych elementów roboczych maszyny do zbioru rokitnika (II-D21).

Moja dalsza działalność naukowo-badawcza związana była z oceną cech morfometrycznych systemów korzeniowych, a także pędów nadziemnych roślin trawiastych (II-A1,II-D14,II-D28). Badania te prowadziłam z wykorzystaniem analizy obrazu. W badaniach porównywałam systemy korzeniowe jęczmienia nagoziarnistego różnych odmian, których ziarniaki są przechowywane w polskich zasobach genowych z odmianami jęczmienia będącymi w rejestrze odmian. Prowadziłam także badania korzeni pszenicy orkisz. Materiał badawczy pozyskiwałam z własnych doświadczeń polowych. Prowadzone badania pozwoliły na wyselekcjonowanie odmian jęczmienia oraz orkisz pszenego charakteryzujących się odpowiednimi parametrami morfometrycznymi korzeni. Wykazano także możliwość przeprowadzania czasochłonnych badań krzewistości traw za pomocą nowej metody liczenia, na podstawie analizy obrazu przyciętych i znakowanych pędów roślin (II-A1).

Moje zainteresowania naukowe rozszerzyłam również o gospodarowanie zasobami środowiska i możliwości wykorzystania surowców pochodzenia rolniczego jako źródła energii. Prowadziłam badania dotyczące zróżnicowanego nawożenia azotowego i oddziaływania kół jezdnych ciągnika rolniczego na skład i plonowanie murawy. Uzyskane wyniki wykazały spadek plonowania badanych gatunków traw i koniczyny czerwonej pod

wpływem ugniatania oraz wypadanie koniczyny czerwonej przy stosowaniu wysokich dawek azotu, a pojawianie się w jej miejsce życicy trwałej. Otrzymane wyniki pozwalają na optymalizację składu gatunkowego murawy w odniesieniu do stosowanego nawożenia azotowego (II-A2).

W europejskich technologiach energetycznych ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój inwestycji zaliczanych do tzw. energetyki rozproszonej źródeł energii o mocach w przedziale 50-100 MW. Najczęściej są to jednostki wykorzystujące OZE, w tym także biomasę roślinną do bezpośredniego spalania. W swoich badaniach zajmowałam się określaniem wartości ciepła spalania oraz zawartości popiołu różnych gatunków roślin uprawianych w Polsce z podkreśleniem znaczenia plonu ubocznego lub obniżonej jakości (II-D12,II-D15,II-D18,II-D19,II-D20). Prowadzone badania wykazały między innymi, że porośnięte ziarniki żyta i owsa charakteryzowały się istotnie mniejszą wartością ciepła spalania w stosunku do ich jakościowych odpowiedników. Stwierdzono, że stosowane w uprawach roślin zbożowych dawki nawożenia potasowego wpływają na uzyskiwane wartości ciepła spalania plonów ubocznych oraz większą wartość ciepła spalania zgonin orkiszu pszennego w porównaniu ze słomą tego gatunku. W badaniach dowiedziono również, że nasiona roślin bobowatych nie ulegają całkowitemu spalaniu, czego efektem jest powstawanie osadu na dnie tygielka bomby kalorymetrycznej. Szczególnie wysoką wartością ciepła spalania charakteryzują się nasiona łubinu żółtego. Prowadziłam także badania dotyczące wykorzystania do celów energetycznych biomasy odpadowej z produkcji zielarskiej. Otrzymane dane eksperymentalne wykazały, że odpadowa biomasa lawendy, tymianku, szałwii i kopru ma podobnie wysoką wartość ciepła spalania, które wynosi średnio  $20,47 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , natomiast liście ostropestu wartość znacznie mniejszą,  $13,28 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  (II-D24).

Uzupełnieniem biomasy rolniczej czy leśnej może być dotychczas nie zagospodarowana roślinność pochodząca z wyłączonych z użytkowania gruntów ornych. Na tego typu terenach znajdujących się w rejonie Krakowa prowadziłam badania, których celem było oznaczenie gatunków dominujących metodą botaniczno-szacunkową Brown-Blanquetta, określenie plonowania i oznaczenie wartości ciepła spalania i wartości opałowej (II-D2,II-D29). W ramach moich zainteresowań naukowych tematyką OZE, prowadziłam analizy przyczyn awaryjności instalacji przeznaczonych do współspalania biomasy, na podstawie których wykazano potrzebę kontroli jakości biomasy oraz właściwego zabezpieczenia ciągów nawęglania i zespołów młynowych przed możliwością powstania i rozwoju wybuchów mieszanek pyłowo-powietrznych (II-D1).

Efektom moich zainteresowań naukowo-badawczych związanych z prowadzeniem zrównoważonych systemów produkcji rolniczej był cykl publikacji dotyczących siewu mieszanego roślin bobowatych z roślinami zbożowymi, pod kątem ustalenia optymalnego udziału komponentów w mieszance, własności fizycznych nasion i możliwości rozdziału uzyskanego plonu. Wyniki były prezentowane na konferencjach naukowych i opublikowane w czasopiśmie naukowych (II-D9,II-D13,II-D26). Materiał badawczy pochodził z własnych doświadczeń poletkowych. Prowadzone przeze mnie badania wykazały, że przy 80% udziale łubinu wąskolistnego w mieszankach z jęczmieniem nagoziarnistym można osiągnąć plony łubinu zbliżone do siewu czystego. W innych badaniach, przy rozdziale nasion soczewicy od ziarniaków jęczmienia nagoziarnistego zaproponowałam wykorzystanie szerokości nasion jako cechy rozdzielczej odgrywającej decydującą rolę w procesie separacji na sitach o otworach okrągłych o średnicy 4,4-4,5 mm, wskazując na potrzebę ruchu ziarna z podrzutem, celem większej precyzji tego zabiegu.

Na podstawie kolejnych badań eksperymentalnych przeprowadziłam także analizę możliwości rozdziału poomłotowej mieszaniny łubinu żółtego i jęczmienia nagoziarnistego na sortownikach sitowych. Przy uwzględnieniu rozkładu grubości nasion badanych gatunków wykazałam możliwość rozdziału uzyskanego plonu komponentów w różnych wariantach mieszanek na przesiewaczach o sitach płaskich z otworami podłużnymi.

W ciągu ostatnich lat mojej pracy naukowo-badawczej poszerzyłam swoje zainteresowania o zagadnienia dotyczące optymalizacji procesów technologicznych produkcji i wstępnego przetwórstwa roślin zielarskich. W ramach tej tematyki prowadziłam analizę procesu suszenia pod kątem zarówno składu chemicznego uzyskanego surowca zielarskiego, jak i przebiegu procesu. Sposób suszenia może mieć wpływ na skład chemiczny otrzymanego surowca i tym samym jego właściwości. Wybór właściwej metody suszenia zależy zarówno od rodzaju suszonego materiału biologicznego, jak również od przeznaczenia suszu. Stąd też poszukiwanie coraz doskonalszych metod w odniesieniu do różnych gatunków roślin jest wciąż zagadnieniem aktualnym. W ziołach z rodziny *Labiatae*, przeznaczonych do zastosowania w przemyśle farmaceutycznym czy kosmetycznym, najważniejszymi ciałami czynnymi są olejki eteryczne, stąd w ocenie jakości wysuszonego surowca zielarskiego zawsze uwzględniałam zawartość olejków eterycznych. Aby wyeliminować wpływ siedliska na zawartość olejków eterycznych badany surowiec pozyskiwałam z własnych poletek doświadczalnych. Wykazałam znaczne różnice w zawartości olejków między lawendą wąskolistną, a lawendą suszoną w tych samych warunkach procesowych. Więcej olejku

w kwiatach miała lawendyna. Efekty tych prac przedstawiłam na konferencji, jak i w formie publikacji (II-K3,II-D17).

Współcześnie tymianek i szalwia mają szerokie wykorzystanie. Sposób suszenia ziela tymianku i liści szalwii zmienia ich skład chemiczny, a tym samym własności wytworzonego surowca. W związku z tym istnieje możliwość modyfikowania ich składu, w zależności od potrzeb. Dzięki odpowiedniej obróbce technologicznej można pozyskać substancje pomocne w zapobieganiu chorobom cywilizacyjnym. Prezentowane wyniki badań są użyteczne w procesie uzyskiwania zarówno suszonego ziela tymianku i liści szalwii, jak i wyizolowanego z nich olejku eterycznego o określonym-pożądanym składzie chemicznym do dalszego wykorzystania i rozwoju żywności funkcjonalnej. Zebrane zioła suszyłam w czterech kombinacjach: w warunkach naturalnych w zadaszonym pomieszczeniu, suszarkach w temperaturze 35 i 40°C, oraz sublimacyjnie. W tak uzyskanym surowcu badałam zawartość olejków eterycznych, zgodnie z wytycznymi farmaceutycznymi, jak i skład chemiczny olejków za pomocą chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas GC-MS. Prowadzono także pomiar aktywności antyoksydacyjnej ziół przez określenie zdolności neutralizacji wolnego rodnika ABTS z równoczesnym pomiarem zawartości składników fenolowych. Biorąc pod uwagę zawartość olejków eterycznych, najbardziej korzystnym wariantem dla obydwu badanych gatunków było suszenie w temperaturze 35°C. Przeprowadzone badania wykazały, że suszenie w temperaturze 40°C sprzyja gromadzeniu tymolu w ziele tymianku i tujonu w liści szalwii. Z kolei wyższą aktywność ABTS oznaczano w surowcu liofilizowanym. Wyniki zamieszczono w publikacji (II-A4). Podczas niskotemperaturowego suszenia lawendyny zaobserwowano, że ze względu na długi czas trwania tego procesu występują duże ubytki olejków eterycznych. W związku z tym podjęto próby ograniczenia tego zjawiska proponując zmodyfikowaną metodę suszenia konwekcyjnego. Prowadzono suszenie zarówno w warunkach konwekcji naturalnej w zadaszonym pomieszczeniu, jak i na słońcu oraz suszarkach laboratoryjnych z wymuszonym obiegiem czynnika suszącego, gdzie zastosowano kombinacje zarówno zmiennych temperatur suszenia, jak i okresowego charakteru pracy elementu grzewczego, w trybie ciągłym i okresowo zmiennym. Zgodnie z danymi literaturowymi suszenie przerywane stosowano jedynie w okresie malejącej prędkości suszenia. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że kinetyka zmian zawartości wody podczas suszenia konwekcyjnego kwiatów lawendyny może być opisana za pomocą modelu wynikającego z rozwiązania jednowymiarowego równania dyfuzji masy sformułowanego w oparciu o II prawo Ficka określając warunki początkowe związane z zawartością wody w świeżym

materiale oraz warunki brzegowe Dirichleta. Stwierdzono wysoki współczynnik dopasowania z wynikami uzyskanymi empirycznie.

$$u(\tau) = u_r + (u_0 + u_r) \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} 0,1 \exp \left[ -2,25\pi^2 \frac{D_{ef}\tau}{s^2} \right]$$

gdzie:  $D_{ef}$  - efektywny współczynnik dyfuzji masy, ( $\text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ )

$s$  - wymiar charakterystyczny – grubość cienkiej warstwy, (m)

$u(\tau)$  – chwilowa zawartość wody, ( $\text{kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg s.s}^{-1}$ )

$u_0$  - początkowa zawartość wody, ( $\text{kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg s.s}^{-1}$ )

$u_r$  - równowagowa zawartość wody, ( $\text{kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg s.s}^{-1}$ )

$\tau$  - czas, (min)

Suszenie lawendyny zachodziło w okresie malejącej szybkości suszenia w każdych założonych warunkach suszenia. Największą ilość olejków eterycznych odnotowano w kwiatach lawendyny suszonych w okresowo zmiennych warunkach procesowych z początkową temperaturą  $40^\circ\text{C}$ , a następnie obniżeniem jej do  $35^\circ\text{C}$  i tylko cyklicznym dostarczaniu ciepła w odstępach 45 minutowych (II-D25).

W dalszych badaniach zajmowałam się zagadnieniami związanymi z wstępnym przetwórstwem roślin zielarskich. Dotyczyły one możliwości zastosowania aglomeracji ciśnieniowej ziela mięty pieprzowej. Do badań zagęszczania wykorzystałam prasę hydrauliczną Fritz Heckert EU 20 oraz zespół prasujący z matrycą zamkniętą. W ramach tych badań były wykonywane aglomeraty pod ciśnieniem 50, 100, 150 oraz 200 MPa z zastosowaniem surowca o zróżnicowanej wielkości cząstek. Uzyskane produkty w kształcie walca kołowego prostego były poddawane badaniom własności fizyko–chemicznych bezpośrednio po wytworzeniu i po okresie przechowywania. Wyniki przeprowadzonych badań dowiodły, że aglomeracja ciśnieniowa nie powoduje negatywnych zmian parametrów chemicznych, a otrzymany produkt zwiększa potencjał bioaktywny surowca w trakcie przechowania i charakteryzuje się dobrymi własnościami chemicznymi i fizycznymi. Bezpośrednio po aglomeracji ciśnieniowej dochodzi co prawda do strat olejków eterycznych, ale zagęszczanie ziela do postaci aglomeratu powoduje zatrzymanie ich większej ilości w miarę przechowywania. Natomiast skład olejków eterycznych jest podobny jak w ziele nie poddawanemu temu procesowi. Ziele zagęszczane ciśnieniowo wyróżniało się zarówno bezpośrednio po wytworzeniu, jak i po okresie przechowywania, większą zawartością polifenoli i zdolnością wygaszania wolnego rodnika. Jedynie aglomerat wytworzony pod

ciśnieniem 50 MPa odznaczał się podwyższoną podatnością na ścieranie, stąd w dalszych badaniach został wyeliminowany.

Badalam również podatność na ścieranie uzyskanego aglomeratu zgodnie z wymaganiami farmaceutycznymi, a także przeprowadziłam badania wytrzymałościowe z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej MTS Insight 2. Obliczyłam gęstość wytworzonego aglomeratu, jego stopień zagęszczenia oraz wytrzymałość w teście brazylijskim. Otrzymane wyniki badań wykazały, że wartości analizowanych parametrów rosną wraz ze wzrostem ciśnienia w badanym zakresie, ale występują różnice pomiędzy rozpatrywanymi frakcjami ziela. Zazwyczaj, większą gęstością charakteryzował się aglomerat wytworzony z frakcji 0.5-2.5 mm, a większy stopień zagęszczania aglomeratu uzyskiwałam wykorzystując frakcję ziela 2,5-5 mm.

Realizacja badań z tego zakresu była wsparta grantem „Zastosowanie procesu aglomeracji ciśnieniowej w produkcji herbat ziołowych” którego byłam kierownikiem. Efekty prowadzonych badań zostały przedstawione zarówno w publikacjach (II-A3,II-D23,II-D27), jak i na konferencji International Scientific Conference “Contemporary Research Trends in Agricultural Engineering”, Kraków, 2017. Moje zainteresowanie roślinami o potencjale biologicznym dotyczyło też badań prowadzonych nad wpływem przedświejnej obróbki fizycznej nasion konopi na energię i zdolność kiełkowania. Wykazałam, że nasiona poddane działaniu pola magnetycznego o indukcji 70 mT, niezależnie od czasu ekspozycji, wytwarzały istotnie większą liczbę prawidłowo wykształconych siewek w stosunku do próby zerowej (II-D30).

Na kierunek moich zainteresowań naukowo-badawczych związany z optymalizacją procesów technologicznych dotyczący roślin zielarskich niewątpliwie miał wpływ 3 miesięczny staż w Krakowskich Zakładach Zielarskich Herbapol S.A. w ramach którego wykonywałam badania zlecone. Pozwoliło mi to również na poszerzenie wiedzy w zakresie procesów produkcyjnych oraz możliwości wdrażania.

Moje zainteresowania badawcze dotyczące możliwości wykorzystania biowęgla w celu poprawy właściwości fizyczno-chemicznych gleby rozpoczęły się od współpracy z firmą Fluid w ramach której prowadziłam badania zamawiane w latach 2017-2018, w których byłam głównym wykonawcą. Dotyczyły one oceny reakcji mięty pieprzowej (*Mentha piperita* L.) na dogłębową aplikację biowęgla. Niektóre wyniki z tych prac badań były już prezentowane na konferencjach i stanowią materiał do przygotowywanych publikacji. Równolegle, w ramach tego obszaru badawczego prowadziłam też badania mające na celu określenie wpływu różnych dawek i rodzaju kompostów, w tym z udziałem biowęgla, na

charakterystykę retencji wody w glebie piaszczystej. Otrzymane wyniki wykazały możliwość poprawy właściwości fizycznych gleby piaszczystej 4% dodatkiem kompostu z kukurydzy i osadów ściekowych oraz biowęgla (II-A5). Jestem też wykonawcą w aktualnie realizowanym projekcie „Woda w glebie - monitoring satelitarny w poprawie retencji wodnej przy użyciu biowęgla” w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo” – BIOSTRATEG III. Za wybitne osiągnięcia w dziedzinie naukowej w roku 2017 otrzymałam nagrodę indywidualną III stopnia Rektora Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie.

Moje dalsze plany badawcze zakładają rozwijanie zagadnień dotyczących optymalizacji produkcji i wstępnego przetwórstwa roślin zielarskich ze szczególnym uwzględnieniem ich aplikacyjnego zastosowania do produktów żywnościowych i wyrobów leczniczych. Zamierzam także rozwijać badania dotyczące wpływu stosowanego biowęgla na własności fizyko–chemiczne gleby i roślin uprawianych na takich stanowiskach (Biostrateg III) oraz rozwijać współpracę z firmami zajmującymi się wykorzystaniem roślin zielarskich.

## **6. Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne i popularyzatorskie**

Zakres mojej działalności naukowo-badawczej jest ściśle związany z przedmiotami za które jestem odpowiedzialna dydaktycznie na kierunkach Technika Rolnicza i Leśna, Zarządzanie i Inżynieria Produkcji oraz Odnawialne Źródła Energii i Gospodarka Odpadami. W ramach wymienionych kierunków prowadzę zajęcia w formie wykładów, ćwiczeń laboratoryjnych i projektowych na studiach I i II stopnia. Wśród aktualnie prowadzonych przedmiotów, gdzie jestem autorką lub współautorką programów nauczania, można wymienić: Produkcja roślinna, Surowce, produkty, technologie produkcji, Technologie produkcji biosurowców nieżywnościowych, Podstawy produkcji biopaliw, Produkcja i właściwości biomasy, Inżynieria produkcji biopaliw, Inżynieria produkcji i przetwarzania surowców nieżywnościowych. W ramach opieki naukowej nad studentami prowadzonej od 2005 roku byłam promotorem 26 prac inżynierskich i 33 magisterskich. Od roku 2012 jestem członkiem Rady Programowej Kierunku Studiów I i II stopnia Zarządzanie i Inżynieria Produkcji. Za swoją działalność dydaktyczną dwukrotnie, w roku 2011 i 2014 zostałam nagrodzona przez Rektora Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. W roku 2012 zostałam odznaczona Medalem Srebrnym za Długoletnią Służbę, a w roku 2015 Medalem Komisji Edukacji Narodowej. Angażuję się również w promocję uczelni poprzez kilkuletni aktywny udział w Festiwalu Nauki i Sztuki w Krakowie. Prowadziłam wykłady

popularno-naukowe dla dzieci, młodzieży w ramach Uniwersytetu dla Młodzieży oraz osób dorosłych, podczas I i II Małopolskich Targów Żywności „Zasmakuj z UR”. Od kilkunastu lat sprawuję opiekę merytoryczną na Olimpiadzie Młodych Producentów Rolnych w zakresie produkcji roślinnej. Jestem jurorem podczas finałów krajowych olimpiady odbywających się w trakcie Międzynarodowych Targów Techniki Rolniczej "Agrotech" w Kielcach. Jestem również członkiem Uczelnianej Komisji Wyborczej. W latach 2010–12 pełniłam funkcję specjalisty ds. organizacji szkoleń przy realizacji projektu „Wiedza i doświadczenie – podstawa komercjalizacji badań”. W ramach działań na rzecz Wydziału i Uczelni uczestniczyłam w roku 2009/2010 w pracach Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej. Jestem członkiem Rady Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki, kadencji 2008-2012, 2012-2016 i 2016-2020. W latach 2009-2014 byłam osobą odpowiedzialną z ramienia Wydziału do kontaktów w sprawach związanych z realizacją porozumienia o współpracy pomiędzy Uniwersytetem Rolniczym w Krakowie, a Krakowskimi Zakładami Zielarskimi „Herbapol”. Angażując się w działalność organizacyjną Wydziału, w roku 2011 aktywnie uczestniczyłam w organizacji Konferencji Modern Agricultural Engineering - Research and Practical Applications, a w roku 2013 organizowałam konferencję Bioenergy and Other Renewable Energy Technologies and Systems, International Scientific Conference. W roku 2018 otrzymałam nagrodę zespołową III stopnia Rektora Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie za wybitne osiągnięcia w dziedzinie organizacyjnej.

## **7. Podsumowanie bibliometryczne osiągniętego dorobku publikacyjnego**

Mój dotychczasowy dorobek naukowy składa się z 43 publikacji, bez uwzględnienia doniesień konferencyjnych. W tym po uzyskaniu stopnia doktora 36 publikacji w układzie pełnych prac naukowych, z czego 5 opublikowano w czasopismach znajdujących się w bazie JCR. Są to czasopisma: Environmental Monitoring and Assessment, Zemdirbyste-Agriculture, Industrial Crops and Products, Journal of Food Processing and Preservation, Geoderma. Ponadto jestem autorem 1 monografii wchodzącej w skład osiągnięcia naukowego, współautorem 2 dwóch rozdziałów w monografii anglojęzycznej oraz autorem 7 i współautorem 21 recenzowanych prac naukowych, które nie znajdują się w bazie JCR. Przedstawione w tabeli 1 dane bibliometryczne dokumentują mój rozwój naukowy po doktoracie.



Tabela 1. Dane bibliometryczne osiągniętego dorobku naukowego

Wyszczególnienie	Przed doktoratem			Po doktoracie			Łącznie		
	Ilość	Pkt. MNiSW	IF	Ilość	Pkt. MNiSW	IF	Ilość	Pkt. MNiSW	IF
Monografia wchodząca w skład osiągnięcia naukowego				1	25		1	25	
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie JCR				5	140	11,058	5	140	11,058
Publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujących się w bazie JCR	1			30	207		31	207	
Prace popularno-naukowe i inne	6								
<b>Razem</b>	<b>7</b>						<b>37</b>	<b>372</b>	<b>11,058</b>

Sumaryczny Impact Factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania: 11,058

Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS): 11

Liczba cytowań publikacji według bazy SCOPUS: 16

Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS): 2

Indeks Hirscha według bazy SCOPUS: 3

Kraków, 26.04.2019 r.

*U. Sadowska*

.....  
Podpis Wnioskodawcy