

INŻYNIERIA ROLNICZA

Seria: Monografie i Rozprawy

ISBN 978-83-64377-40-2

Urszula Sadowska

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

Komitet Inżynierii Rolniczej
Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej

Kraków 2019

Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej

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

Urszula Sadowska

Kraków 2019

Patronat naukowy: Komitet Inżynierii Rolniczej

Komitet honorowy

Prof. dr hab. Janusz Haman – czł. rzecz. PAN

Prof. dr hab. Rudolf Michałek – czł. rzecz. PAN

Rada Naukowa Wydawnictwa

Prof. Radomir Adamovsky (Rep. Czeska)

Prof. Andrew Berger (USA)

Prof. Stefan Cenkowski (Kanada)

Prof. Dariusz Dziki (Polska)

Prof. Girma Gebresenbet (Szwecja)

Prof. Van der Goot, Atze Jan (Holandia)

Prof. Dorota Haman (USA)

Prof. Jayson K. Harper (USA)

Doc Ing. Zuzana Hlaváčová, CSc. (Słowacja)

Prof. Ryszard Hołownicki (Polska)

Dr ing. Bruno Huyghebaert (Belgia)

Prof. Leon Kukielka (Polska)

Prof. Marek Opielak (Polska)

Prof. Jacek Przybył (Polska)

Prof. Michele Rinaldi (Włochy)

Prof. Spiro E Stefanou (USA)

Dr Bernardo Strasbourg (Brazylia)

Prof. Bulgakov Wlodymyr (Ukraina)

Komitet Redakcyjny

Prof. dr hab. inż. Maciej Kuboń – redaktor naczelny

Dr hab. inż. Sławomir Kocira, prof. UP – sekretarz

Prof. dr hab. Pavol Findura

Prof. dr hab. Leon Kukielka

Wydawca:

Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, ul. Balicka 116B

Recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Tomasz Dobek - ZUT Szczecin

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

ISBN 978-83-64377-40-2

Druk i oprawa:

NOVA SANDEC

ul. Lwowska 143, 33-300 Nowy Sącz

tel. +48 (18) 547 45 45

e-mail: biuro@novasandec.pl; <http://www.novasandec.pl>

Ark. wyd. 13,5 ; ark. druk. 12,0

Nakład: 100 egz.

Spis treści

1. WSTĘP	4
2. PRZEGLĄD LITERATURY	8
2.1. Uprawa roślin zielarskich - czynniki kształtujące wysokość i jakość plonów ziół	8
2.2. Energochłonność upraw polowych	11
3. PROBLEM BADAWCZY, CEL I ZAKRES BADAŃ	16
4. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ	18
4.1. Metodyka badań ankietowych	18
4.2. Metodyka oceny energochłonności analizowanych technologii	23
4.3. Metodyka badań doświadczalnych	28
4.4. Metodyka badań właściwości fizykochemicznych	31
4.5. Analiza statystyczna	32
5. WYNIKI I DYKUSJA	33
5.1. Analiza wyników badań	33
5.2. Charakterystyka badanych gospodarstw	42
5.3. Wyposażenie techniczne badanych gospodarstw rolnych	51
5.4. Energochłonność skumulowana upraw badanych gatunków ziół	60
5.4.1. Energochłonność rozsadnika mięty pieprzowej	60
5.4.2. Strumień pracy żywej i uprzedmiotowionej	61
5.4.3. Strumień inwestycji	73
5.4.4. Strumień nośników energii	77
5.4.5. Strumień surowców i materiałów	91
5.5. Energochłonność skumulowana w produkcji ziół	110
5.6. Plonowanie badanych gatunków ziół	128
5.7. Wskaźniki energochłonności roślin zielarskich	142
5.8. Sposoby ograniczenia energochłonności uprawy badanych gatunków ziół	151
5.9. Wskaźniki energochłonności rozłogów, nasion i preparatów humusowych	158
6. STWIERDZENIA I WNIOSKI	162
7. BIBLIOGRAFIA	164
SPIS TABEL	177
SPIS RYCIN	182
ANEKS	185
STRESZCZENIE	191
SUMMARY	192

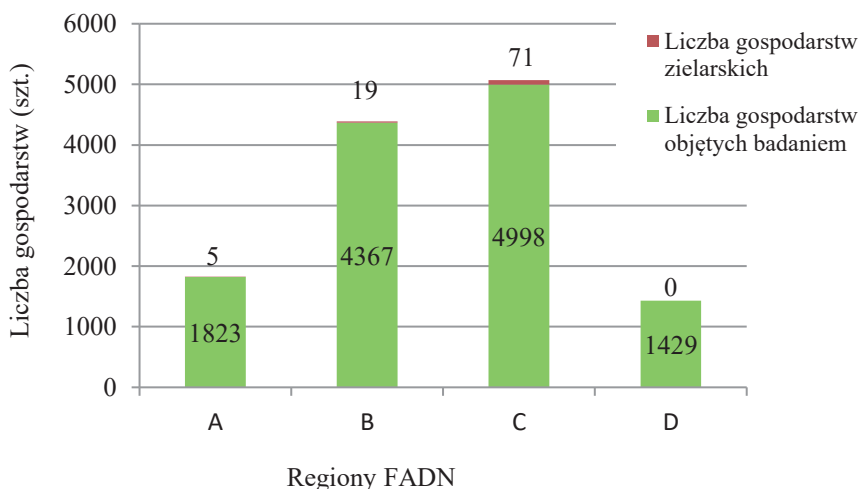
1. WSTĘP

Zastosowanie ziół związane jest z rozwojem cywilizacji i uważa się, że od około 5000 lat człowiek już znał działanie lecznicze ziół i potrafił je stosować w praktyce (Senderski, 2009). Jak wskazuje Mikołajczyk-Grzelak (2009) najstarsze dokumenty, dotyczące roślin zielarskich datuje się na około 3000 lat p.n.e. pochodzą z Mezopotamii, gdzie znano i stosowano wiele gatunków roślin leczniczych. Wiek XX przyniósł niezwykle dynamiczny rozwój technologii chemicznej i produktów farmaceutycznych. Po pewnym czasie zaczęto dostrzegać, oprócz niewątpliwych zalet, także niekorzystne efekty zdrowotne, wynikające ze stosowania syntetycznych środków farmaceutycznych. Spowodowało to, że aktualnie obserwuje się renesans ziół na świecie, a ich szerokie wykorzystanie 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). Według szeregu analiz rynkowych branża kosmetyków oparta na bazie surowców roślinnych stała się w ostatnich latach najdynamiczniej rozwijającą się grupą produktów kosmetycznych. Jednymi z ważniejszych składników funkcjonalnych do produkcji suplementów diety są produkty zielarskie (Jambor, 2007). Ponadto 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 jest jedną z najmłodszych gałęzi produkcji roślinnej. Jak wskazują źródła historyczne w połowie XX wieku ze zbioru roślin dziko rosnących pozyskiwano ok. 880 ton surowca zielarskiego, natomiast z upraw było to ok. 540 t. W roku 1979 ze zbioru roślin w naturze pochodziło już tylko 4,3 t, natomiast z uprawy 14880 t (Rumińska, 1983). Współcześnie dąży się do ograniczania zbieractwa na rzecz kontrolowanych upraw, z których można pozyskać surowiec jednorodny chemicznie, spełniający wymagania normatywne. Fakt, że uprawa roślin zielarskich jest jedną z najmłodszych dziedzin produkcji roślinnej, skutkuje tym, że posiadamy niewielką liczbę polskich odmian ziół, większość z nich zostało wyhodowanych w Instytucie Roślin Zielarskich i Włóknistych. Niektóre gatunki dopiero wchodzi do uprawy, przykładowo: pokrzywa, glistnik jaskółcze ziele, głóg, rokitnik, czy bez czarny, które dotychczas pozyskiwane były ze stanu naturalnego. U innych gatunków obserwuje się ciągle wiele cech dzikości, co związane jest np. z potrzebą stratyfikacji czy też skaryfikacji nasion, jak też charakteryzują się krótkim okresem zdolności do kiełkowania (Kołodziej, 2010). W Polsce aktualnie w uprawie znajduje się około 70 gatunków ziół. W literaturze istnieją sprzeczne informacje dotyczące arealu uprawy ziół w naszym kraju. Według Jambora (2007) plantacje roślin leczniczych zajmują w Polsce powierzchnię ponad 30 tys. hektarów, natomiast 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.

Mikołajczyk-Grzelak (2008) sygnalizuje, że areał produkcji surowców zielarskich w kraju jest bardzo trudno ocenić, ponieważ uprawy są zlokalizowane głównie na niewielkich powierzchniach. Istnieje znaczny niedobór różnorodnych informacji na temat funkcjonowania gospodarstw zajmujących się uprawą ziół. Przykładem mogą być dane pozyskane z polskiego systemu zbierania danych rachunkowych z gospodarstw rolnych FADN (Farm Accountancy Data Network) (rys.1 i 2) wskazujące na niewielką liczbę gospodarstw objętych analizą. W grupowaniu gospodarstw rolnych według typów rolniczych nie są uwzględniane zioła.

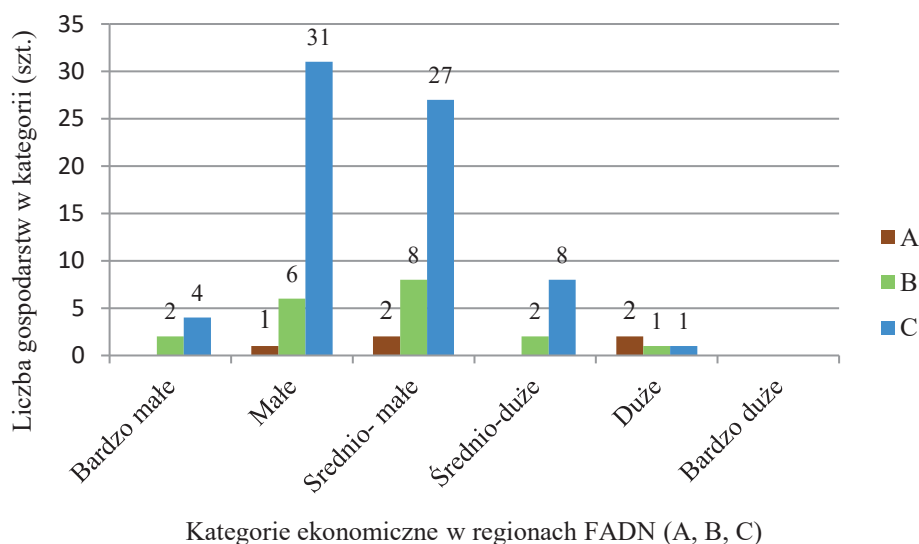
W ostatnich latach zmieniają się funkcje i zadania gospodarstw rolnych. Do płodozmianów wprowadzone zostały nowe gatunki roślin, zmieniły się też technologie uprawy z wyraźnym nastawieniem jakościowym na przyszłe ich wykorzystanie, zwłaszcza w różnych gałęziach przemysłu, ukierunkowanych nie tylko na cele żywnościowe. Ponadto, niekorzystne warunki rynkowe związane z niskimi cenami uzyskiwanymi z tytułu zbytu zbóż, problemy ze sprzedażą żywca zwierzęcego oraz coraz trudniejsze do spełnienia wymogi weterynaryjno-sanepidowskie w prowadzeniu produkcji zwierzęcej, skłaniają rolników do zweryfikowania dotychczasowego profilu produkcji w swoim gospodarstwie.



Źródło: opracowanie własne na podstawie udostępnionych danych z Polskiego FADN

A – Pomorze i Mazury
 B – Wielkopolska i Śląsk
 C – Mazowsze i Podlasie
 D - Małopolska i Pogórze

Rysunek 1. Liczba gospodarstw produkujących rośliny zielarskie w stosunku do gospodarstw objętych badaniem w poszczególnych regionach FADN w 2013 roku



Źródło: opracowanie własne na podstawie udostępnionych danych z Polskiego FADN

Kategorie ekonomiczne:
 Bardzo małe (2 000≤Euro<8 000)
 Małe (8 000≤Euro<25 000)
 Średnio-małe (25 000≤Euro<50 000)
 Średnio-duże (50 000≤Euro<100 000)
 Duże (100 000≤Euro<500 000)
 Bardzo duże (Euro≥ 500 000)

Rysunek 2. Liczba gospodarstw produkujących rośliny zielarskie z podziałem na kategorie ekonomiczne w poszczególnych regionach FADN (A, B, C) w 2013 roku

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* dawniej nazywanych wargowymi *Labiatae* do której zalicza się ponad 7000 gatunków (Lamiaceae, 2014). 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. CO₂ 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 N₂O 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.

Gołaszewski (red). (2013) analizując efektywność energetyczną w rolnictwie europejskim podkreśla, że różne systemy produkcji rolniczej w odmiennych warunkach środowiska wykazują zróżnicowaną energochłonność i potencjał oszczędności energetycznej. Ich badanie umożliwiają diagnozę stanu aktualnego oraz pozwalają określić cele strategiczne. 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 oznaczają, że ocena bilansu energetycznego rolnictwa jest bardzo ważna (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, jeżeli surowiec zielarski będzie przez plantatorów traktowany jak surowiec farmaceutyczny, a przetwórstwo zielarskie przyjmie cechy nowoczesnego przemysłu farmaceutycznego. 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.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. Czynniki kształtujące wysokość i jakość plonów ziół

W czasach współczesnych wśród roślin uprawnych dominującą pozycję stanowią rośliny zbożowe, bobowate, okopowe, czy też inne pastewne. Poświęcono im (i nadal się to czyni) szeregi opracowań dotyczących zarówno cech biologicznych, agrotechnicznych, jak i nakładów energetycznych ponoszonych z tytułu ich produkcji. Mimo, iż rośliny zielarskie, stanowią jedną z najmłodszych gałęzi produkcji roślinnej (Olewnicki i in., 2015), to pierwsze informacje pisane zarówno na świecie, jak i w Polsce dotyczyły właśnie tej grupy roślin. W papirusie Ebersa, który datowany jest na około 1550 r. p.n.e. między innymi gatunkami wymieniana jest mięta (Senderski, 2009). A jej uprawa na ziemiach polskich rozpoczęła się na przełomie XIX i XX w. Najpopularniejszym dziełem w Europie na przełomie XVI i XVII w. był *Zielnik herbarzem z łacińska zowien* opisujący 765 gatunków roślin, autorstwa Szymona Syreńskiego, profesora Akademii Krakowskiej (Kołodziej, 2010 red.). Samo słowo „zioło, ziele” może mieć różnorodne znaczenie, pochodzi od łacińskiego *herba*. Zazwyczaj rozumie się pod tym pojęciem rośliny lecznicze, przyprawowe, olejko-dajne, barwierskie, miododajne i garbnikowe. Według Światowej Organizacji Zdrowia jest to każda roślina, która podana w jakiegokolwiek postaci człowiekowi lub zwierzęciu wywiera uchwytnie działanie fizjologiczne (Kołodziej, 2010). Zgodnie z terminologią farmaceutyczną, ziele to użytkowa część rośliny zielarskiej, zwykle normatywnie postrzegana jako ulistnione części zbierane wraz z początkiem kwitnienia (FP, 2011). Rośliny wykorzystywane jako surowce dla przemysłu mogą pochodzić z dwóch źródeł: ze stanowisk naturalnych i celowo prowadzonych upraw (Seidler-Łożykowska, 2009). W przeszłości większość gatunków roślin zielarskich pochodziła z tzw. zbieractwa ze stanu naturalnego. Forycka i Buchwald (2008) zwracają uwagę na istniejące zagrożenie ubożenia naturalnych zasobów roślin zielarskich. O możliwości negatywnego wpływu zbieraczy na występowanie ziół przestrzegał już w roku 1917 profesor Ruebenbauer (Magowska, 1999). Wiele badań świadczy o rozbieżności w składzie chemicznym surowca pozyskanego ze środowiska naturalnego. Telci i in. (2006) obserwowali znaczne zróżnicowanie ilości i składu chemicznego olejków eterycznych wyizolowanych z rodzimych genotypów bazylii. Z 18 lokalizacji tego gatunku w północno-środkowej Antolii wydzielili 7 chemotypów. Po rozmnożeniu generatywnym zebranych genotypów w jednorodnych warunkach glebowo-klimatycznych otrzymywali zmienną zawartość olejków eterycznych od 0,4-1,5% o odmiennym składzie chemicznym. Dambrauskienė i in. (2008) zwrócili uwagę na różnice w plonowaniu i zawartości olejków eterycznych różnych genotypów mięty pieprzowej. Uprawiane w tych samych warunkach glebowo-klimatycznych dawały zróżnicowane plony począwszy od 6,9-7,9 Mg ha⁻¹ świeżej biomasy dla próbki mięty pieprzowej pochodzącej z Litwy, poprzez średnią produktywność odmiany „Krasnodarskaya” z Ukrainy 8,7-9,1 Mg ha⁻¹, aż do plonów w zakresie 10,2 do 10,7 Mg ha⁻¹ dla genotypu mięty pieprzowej pochodzącego z Polski. Zbiory były realizowane w jednakowym czasie, w fazie pełnego kwitnienia. Podobnie, zauważono różnice w zawartości olejków eterycznych, których najwięcej zawierał genotyp z Polski w zakresie 0,58-0,62%, w odmianie ukraińskiej „Krasnodarskaya” zawartość tych związków wynosiła od 0,41 do 0,43%, natomiast w litewskiej zaledwie 0,16-0,18%. Seidler-Łożykowska i in. (2013) obserwowali zmienność zarówno cech morfologicznych, jak

i składu olejków eterycznych 22 wybranych genotypów melisy lekarskiej pochodzących z europejskich ogrodów botanicznych. Szabó i in. (2016) zwrócili uwagę na mniejszą zmienność morfologiczną oraz zróżnicowanie zawartości i składu chemicznego olejków pozyskanych z dostępnych na rynku węgierskim wyselekcjonowanych odmian melisy lekarskiej w porównaniu do danych literaturowych dotyczących różnych genotypów tego gatunku. Z kolei Mimica-Dukic i Bozin (2008) oraz Hajlaoui i in. (2009), de Sousa Barros i in. (2015), Najda (2017) odnotowali dużą zmienność w składzie chemicznym olejków pozyskiwanych z różnych gatunków mięty. W Polsce w środowisku naturalnym spotykana jest, między innymi mięta polna, nadwodna oraz zielona. Odmiany te nie zawierają olejku o właściwościach wymaganych przez lecnicstwo i przemysł (Senderski, 2009). Tym samym istnieje możliwość zanieczyszczenia prowadzonych upraw rodzimymi gatunkami. Natomiast obecnie trend jest odmienny, dąży się do tego, aby pozyskiwać surowiec możliwie najbardziej wyrównany (jednorodny) pod względem chemicznym, a taki pochodzi z upraw, gdzie stosowany jest jednorodny (identyczny) materiał nasienny czy szkółkarski. Stąd zrodziła się potrzeba dużych obszarów tych samych odmian, które byłyby genetycznie jednorodne. Dodatkowo uprawa w gospodarstwach, zapewnia mniejszą zmienność chemiczną między partiami surowca i umożliwia kontrolowanie jakości produkowanych ziół. Produkcja polowa roślin zielarskich eliminuje problem błędnej identyfikacji materiału, co może pojawić się przy zbiorze roślin ze środowiska naturalnego (Schippmann i in., 2006). Ponadto jest możliwa uprawa na dużych arealach w porównaniu ze zbieractwem, w jednakowym siedlisku, co sprzyja jednorodności chemicznej. Jak dowodzą liczne badania (Magda i in., 2010; Saeb i Gholamrezaee, 2012; Padalia i in., 2013; Telci i in., 2011) czynniki te mają wpływ na zawartość związków czynnych w roślinach. Szczególnie podatne na te zmiany są zioła z grupy olejkowych, do których zaliczamy liczne gatunki, między innymi miętę pieprzową i melisę lekarską. Ujemną stroną wprowadzania do uprawy roślin zielarskich jest zwykle droższy surowiec niż w przypadku roślin dziko rosnących, co związane jest z ponoszeniem niezbędnych nakładów przed rozpoczęciem produkcji, jak i podczas procesu uprawy. Aby odnieść sukces w uprawie ziół na dużą skalę, wysokiej jakości surowiec powinien być produkowany przy użyciu metod uprawy niskonakładowej, tak aby mógł zarówno konkurować na rynku międzynarodowym jak i roślinami zebranymi w środowisku naturalnym (Lubbe i Verpoorte, 2011).

Jednym z ważniejszych czynników plonotwórczych wszystkich uprawnych gatunków jest dobór wysoko wydajnych odmian roślin uprawnych. Rośliny zielarskie nie są jednak ujmowane w krajowym rejestrze w spisie odmian gatunków roślin uprawnych. Wyjątek stanowi kminek zwyczajny (*Carum carvi* L.), który został włączony do grupy roślin oleistych (www.coboru.pl). Tym samym główny ośrodek w Polsce, którego zadaniem jest między innymi wdrażanie postępu odmianowego do praktyki rolniczej nie obejmuje w swych działaniach roślin zielarskich. W uprawach mięty pieprzowej oraz melisy lekarskiej dominują różnorodne genotypy miejscowe.

Podstawowym elementem procesu produkcji polowej współczesnego rolnictwa jest chemiczna ochrona roślin. Jednak nie dotyczy to upraw zielarskich. W ostatnich latach odnotowano wyraźny spadek dostępności środków ochrony roślin dla takich upraw, zwłaszcza prowadzonych na niewielkiej powierzchni (Matyjaszczyk, 2009).

Kolejnym czynnikiem wpływającym na wysokość plonowania roślin i ich skład chemiczny jest nawożenie. Verma i in. (2016) wskazują na szczególnie korzystne efekty produkcyjne w uprawie mięty pieprzowej przy łącznym stosowaniu nawozów mineralnych

i naturalnych. Zespolone stosowanie nawozów zwiększyło plon biomasy roślinnej i wydajność olejku z mięty pieprzowej w porównaniu do stosowania wyłącznie nawozów nieorganicznych. Zheljazkov i in. (2010) oraz Ram i in. (2006) obserwowali wzrost plonowania biomasy mięty przy zwiększających się dawkach azotu. Z kolei Abbaszadeh i in. (2009) porównując plonowanie melisy lekarskiej przy zmiennym poziomie nawożenia azotowego stwierdzili najwyższe plony przy najniższych wykorzystywanych dawkach 90 i 60 kg·ha⁻¹. Nurzyńska-Wierdak i Zawisław (2015) przy dodatkowych opryskach 0,5% roztworem mocznika nie zauważyli wzrostu plonowania badanych roślin melisy lekarskiej.

Podobnie jak w przypadku innych upraw polowych istotnym jest wykonanie zbiorów w odpowiednim czasie, tak aby osiągnąć pożądane plony i odpowiedni skład chemiczny. Z badań prowadzonych przez Shah i Gupta (1989) wynika, że przyspieszenie lub opóźnienie zbioru mięty skutkuje niskim plonem ziela i liści, jak również istotnie mniejszą zawartością olejku. Fialová i in. (2014) zwracają uwagę, że najwyższa zawartość procentowa olejku eterycznego w mięcie pieprzowej przypada na początek kwitnienia, natomiast Rohloff i in. (2005) wykazali, że rośliny mięty zebrane w fazie kwitnienia mają w olejku eterycznym wyższe stężenie mentolu niż rośliny w okresie tworzenia pąków kwiatowych. Z kolei Saeb i Gholamrezaee (2012) analizując wpływ rozwoju ontogenetycznego melisy lekarskiej na zmiany składu olejków eterycznych przedstawili, jako najkorzystniejszy okres zbioru, czas przed fazą kwitnienia. Singh i in. (2014) prowadząc doświadczenie polowe w Indiach dotyczące wpływu czasu zbioru na plon i jakość melisy lekarskiej wykazali, że najkorzystniejszy okres zbiorów 160 dni po wysadzeniu. Z kolei Nurzyńska-Wierdak i in. (2014) dowodzi, że olejek eteryczny z dwuletnich roślin melisy lekarskiej charakteryzuje się bogatszym składem chemicznym niż olejek z młodszych roślin.

Plonowanie ziół, podobnie jak innych roślin uprawnych jest zależne od obsady roślin na jednostce powierzchni. Mansoori (2014) przy 8 roślinach na m² uzyskiwał plony świeżej masy wynoszący 2563,6 kg·ha⁻¹, co przekładało się na uzyskanie 841,4 kg·ha⁻¹ suszonego surowca, natomiast przy zagęszczeniu 20 szt.·m⁻² plon był wyższy i wynosił odpowiednio 3210,6 i 1012,4 kg·ha⁻¹.

Wielkość plonowania ziół zależna jest również, szczególnie na glebach lekkich, od wysokości opadów atmosferycznych i ich rozkładu w ciągu sezonu wegetacji. Gatunkiem szczególnie wrażliwym na niedobór wody jest mięta pieprzowa (Kołodziej, 2010). W niektórych krajach powszechne są nawadniania plantacji mięty (Smesrud i Selker, 1999; Marcum i Hanson, 2006). W polskiej praktyce produkcyjnej nie spotyka się plantacji nawadnianych. Reakcja roślin na stres suszy oprócz oczywistego zmniejszenia plonów może prowadzić do zwiększenia zawartości olejków eterycznych (Bettaieb i in., 2009).

Skład chemiczny roślin zielarskich może też być modyfikowany warunkami uprawy (Seidler-Łożykowska i in., 2006; Kazimierzczak i in., 2010; Kazimierzczak i in., 2011; Al-Tawaha i in., 2013). Kazimierzczak i in. (2011) podają, że mięta i melisa pochodzące z produkcji ekologicznej w porównaniu do ziół konwencjonalnych zawierały więcej suchej masy i kwasów fenolowych ogółem. W przemyśle farmaceutycznym i kosmetycznym wysoce pożądane jest prowadzenie upraw roślin zielarskich według zasad Dobrej Praktyki Rolniczej. Obecnie nie jest to wymóg prawny, tj. ani prawo krajowe, ani prawo UE nie wskazuje, że należy stosować DPR. Uprawa roślin zgodnie z DPR oznacza stosowanie ustalonych standardowych procedur operacyjnych, które zapewnią dobrą jakość i bezpieczeństwo oraz dokładną dokumentację wszystkich działań i procedur w celu zapewnienia pełnej identyfikowalności (Lubbe i Verpoorte, 2011).

Uprawa ziół z rodziny jasnotowatych nie kończy się w momencie zbioru. Do obowiązków plantatora należy także suszenie roślin oraz ich wstępne przetwarzanie. W polskich gospodarstwach dominuje suszenie naturalne polegające przede wszystkim na oddzieleniu pożądaných farmaceutycznie liści od łodyg. Rośliny olejkowe są szczególnie podatne na straty olejku pod wpływem wysokiej temperatury. Etap suszenia może przyczynić się do utraty ilości i zmiany składu olejków eterycznych co wykazały liczne badania (Jałoszyński i in., 2008; Hossain i in., 2010; Szumny i in., 2010; Sadowska, 2012; Sellami i in., 2012; Rahimalek i Goli, 2013; Argyropoulos i Müller, 2014; Sadowska i in., 2016; Sadowska i in., 2017).

2.2. Energochłonność upraw polowych

Związek rolnictwa z energią jest bardzo bliski i specyficzny, gdyż jest ono zarówno konsumentem i producentem energii w postaci bioenergii. Mimo, iż rolnictwo wytwarza znaczną i rosnącą ilość bioenergii (Dalgaard i in., 2001, Prabhakar i Elder, 2009; Börjesson i Tufvesson, 2011; Gradziuk, 2015; Janiszewska i Ossowska, 2015; Sulewski i in., 2017) zużywa również duże ilości energii z paliw kopalnych, co prowadzi do stopniowego wyczerpywania ich ograniczonych zasobów. Szacuje się, że rolnictwo w skali świata odpowiada za pobór około 5% całkowicie wykorzystywanej energii (Pinstrup-Andersen, 1999; Bechini i Castoldi, 2009). Zużycie energii przez sektory rolnictwa można ogólnie podzielić na bezpośrednie i pośrednie. Rolnictwo wykorzystuje energię bezpośrednio jako paliwo lub energię elektryczną do obsługi maszyn i urządzeń oraz pośrednio w nawozach, pestycydach i innych środkach zużywanych w produkcji (Dalgaard i in., 2001; Hülsbergen i wsp., 2001; Esengun i in., 2007; Woods i in., 2010; Lin i in., 2017). Zużycie energii, zwłaszcza paliw ciekłych w przeliczeniu na jednostkę zmniejszającej się powierzchni użytków rolnych powoli wzrasta wraz ze wzrostem poziomu technicznego wyposażenia rolnictwa (Pawlak, 2016 b). Wykorzystanie energii pochodzącej z paliw kopalnych jest ściśle związane z emisjami zanieczyszczeń powietrza i gazów cieplarnianych (np. CO₂ ze spalania paliw kopalnych) i jest również kwestią ekonomiczną, ponieważ koszt energii stanowi ważną część kosztów produkcji rolnej (Erdal i in., 2007; Gołasa, 2014). Zużycie energii w rolnictwie rozwinęło się w odpowiedzi na rosnącą populację, ograniczoną podaż gruntów ornych i dążenie do wzrostu plonów i poziomu życia (Esengun i in., 2007; Erdal i in., 2007; Pimentel, 2009). Efektywne wykorzystanie energii jest jednym z głównych wymogów zrównoważonego rolnictwa. Problematyka zrównoważonego rozwoju wsi i rolnictwa zyskuje od 1992 roku na znaczeniu w krajach Unii Europejskiej (Małażewska, 2015). Na potrzebę wiedzy z zakresu wykorzystania energii z paliw kopalnych w systemach rolniczych w celu zrównoważonego jej wykorzystania i ograniczenia emisji gazów cieplarnianych zwraca uwagę Dalgaard i in., (2001). Poszukując możliwości racjonalizacji gospodarki energetycznej w rolnictwie, posługujemy się metodami oceny energochłonności produkcji rolniczej (Wójcicki, 2015). Badania prowadzone z zastosowaniem tych metod przedstawiają obecny stan gospodarki energetycznej w rolnictwie oraz sposoby i możliwości jej poprawy (Guzmán i Alonso, 2008; Wójcicki, 2015). Obserwowane jest zwiększenie zużycia energii w polskim rolnictwie. Badania Wójcickiego i Rudeńskiej (2013) przeprowadzone w 53 gospodarstwach rodzinnych wykazały, że udział zużywanych nośników energii w rozcho-

dach ponoszonych przez te gospodarstwa w 2009 r. wyniósł 11,8%, a w 2010 r. zwiększył się do 13,0%.

Udział energii w produkcji rolnej jest bardzo zróżnicowany w zależności od rodzaju działalności, stosowanych praktyk produkcyjnych, położenia geograficznego, obszaru produkcji i warunków środowiskowych, takich jak gleba i czynniki klimatyczne (Esengun i in., 2007). Produkcja kukurydzy w Stanach Zjednoczonych jest dziś typowa dla technologii intensywnej produkcji roślinnej, natomiast w Indiach czy Indonezji w dużym stopniu oparta na pracy ludzkiej. W rolnictwie amerykańskim około 25% całkowitej energii zużywane jest w mechanizacji zastępującej siłę roboczą (Pimentel, 2009). Coraz większe zaangażowanie techniki w proces produkcji rolniczej wpływa na wzrost wydajności pracy i jednocześnie zwiększenie nakładów energetycznych (Sawa, 2008; Sawa i Koszel, 2002; Fei i Lin, 2017). W optymalizacji energochłonności związanej z pracą maszyn niezbędny jest ich odpowiedni dobór (Gorzelany i in., 2011). Na dużych obszarach Afryki, nakłady energetyczne na produkcję rolną są poniżej $1 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast w niektórych nowoczesnych wysokowydajnych systemach rolniczych w USA i Europie Zachodniej mogą przekraczać $30 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Pimentel, 2009). Obserwuje się również znaczące rozbieżności w zużyciu energii występujące w obrębie krajów rozwiniętych. W Niemczech przykładem systemów niskonakładowych ($<10 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$) są ekstensywne użytki zielone (Haas i in., 2001) i organiczne rośliny uprawne (Schmid i in., 2013). Według Hole i in. (2005) systemy niskonakładowe, takie jak rolnictwo zintegrowane i ekologiczne, oprócz niskiego zużycia energii sprzyjają zwiększeniu bioróżnorodności prowadzonych upraw. Z kolei przykłady systemów wysokonakładowych ($>10 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$) w niemieckim rolnictwie, to intensywne rolnictwo konwencjonalne (Schmid i in., 2013) oraz ogrodnictwo i uprawa szklarniowa (Soode i in., 2015).

Wiedza zdobyta na temat wykorzystania energii z paliw kopalnych w produkcji rolniczej pomaga zarówno ograniczyć niezrównoważone wykorzystanie ograniczonych zasobów energii i następujących emisji gazów cieplarnianych (Daugaard i in., 2001; Pervanchon i in., 2002) jak i umożliwić porównywanie ponoszonych nakładów w różnych systemach niezależnie od czasu i miejsca (Kuczyska i Dębska, 1998; Harasim i in., 2007). Ze względu na częste zmiany relacji między cenami środków produkcji i ziemiopłodów, wyniki analiz dotyczące tej tematyki przeprowadzone w mierniku pieniężnym szybko się dezaktualizują. W związku z tym za bardziej obiektywny miernik nakładów i uzyskanych efektów produkcji uznaje się wskaźnik energochłonności produkcji (Wójcicki, 1981; Wielicki, 1989, 1990; Harasim i in., 2007; Kwiatkowski i Harasim, 2009). Z typowych roślin rolniczych wysoką energochłonnością odznacza się uprawa rzepaku oraz pszenicy konsumpcyjnej, co jest związane z wysokimi wymaganiami nawozowymi tych gatunków (Pimentel, 2009). Nawozy mineralne zwiększają plony roślin uprawnych, ale ich produkcja opiera się na malejącej podaży paliw kopalnych (Pimentel, 2009). Szacuje się, że przynajmniej 50% całkowitego zużycia energii wynika z produkcji nawozów azotowych (Woods i in., 2010; Pelletrier i in., 2011). Według Zentner i in. (2004) energia wydatkowana na nawożenie upraw (przede wszystkim N) stanowi 66-71% całkowitego zapotrzebowania energetycznego. W związku z tym uprawy roślin strączkowych, które mają zdolność do symbiotycznego wiązania azotu zużywają znacznie mniej energii (Mandal i in., 2002; Venturi i Venturi, 2003; Khakbazan i in., 2009). Tylko produkcja nawozów azotowych pochłania około 5% światowych dostaw gazu ziemnego, a dodatkowo emitowane są znaczne ilości N_2O (Jenssen i Kongshaug, 2003; Kindred i in., 2008). Ponadto nadmierne nawożenie azotowe powoduje zanieczysz-

czenie wód gruntowych (Kaplan i in., 1999). Szacuje się, że w skali globalnej procesy rolnicze odpowiadają za 50% antropogenicznej produkcji metanu i 80% antropogenicznej produkcji podtlenku azotu (Olesen i in., 2006; Crutzen i in., 2008). Inne źródła zanieczyszczeń związane z produkcją rolną, to emisja CO₂ wynikająca z wykorzystywania sprzętu rolniczego (13%) (Parton i in., 2011).

Pimentel (2009) podkreśla różnicę w wielkościach nakładów energetycznych i uzyskiwanych plonów pomiędzy odmiennymi systemami rolniczymi. O wzajemnej relacji uzyskiwanych plonów do ponoszonych nakładów w produkcji rolnej mówi współczynnik efektywności upraw (Hatirli i in., 2006; Soni i in., 2013). Rozwój systemów ekologicznej produkcji rolniczej o przewidywanym niskim wkładzie energii stał się obiektem wzmożonego zainteresowania wielu ośrodków naukowych (Dalgaard i in., 2001; Haas i in., 2001; Helander i Delin 2004; Gündoğmuş, 2006; Guzmán i Alonso, 2008; Sławiński i in., 2008, 2009; Sławiński, 2010, 2011; Kuczuk, 2013; Litskas i in., 2011; Zafiriou i in., 2012; Lin i in., 2017). Według Weizsäcker i in. (2009) rolnictwo organiczne zużywa mniej energii i odznacza się jej większą produktywnością. Do oceny skutków środowiskowych produkcji rolnej należy wziąć pod uwagę nie tylko nakłady energetyczne, ale również uzyskiwane wskaźniki produkcji. Jednym z nich jest energochłonność produkcji, która jest definiowana jako ilość energii zużytej na jednostkę produkcji ekonomicznej (Medlock i Soligo, 2001). Niskie nakłady energetyczne mogą prowadzić do niższych wydajności i wyższego zapotrzebowania na energię na tonę zebranego produktu. Z drugiej strony, zwiększenie nakładów energii może prowadzić do coraz mniejszych zysków (Deike i in., 2008; Pimentel, 2009). Sławiński (2010) porównując energochłonność uprawy w systemie ekologicznym i konwencjonalnym trzech gatunków roślin towarowych stwierdził dla ziemniaków i żyta wyższe nakłady w systemie konwencjonalnym. Średnia różnica pomiędzy tymi systemami dla podanych gatunków wynosiła około 35%. Jedynie w przypadku gryki zależność ta była odwrócona. Wyższa energochłonność w uprawie ekologicznej gryki była spowodowana zastosowaniem nawozów zielonych oraz obornika, co spowodowało, że całkowite nakłady energii skumulowanej były o 37,5% wyższe, niż w porównywanym systemie konwencjonalnym. Z kolei wyniki badań prowadzonych przez Kuczuk (2013) wskazują wyższą energochłonność skumulowaną produkcji pszenicy ozimej w gospodarstwach konwencjonalnych o prawie 50% w stosunku do gospodarstw ekologicznych. Średnia energochłonność skumulowaną dla tych systemów produkcji wyniosła odpowiednio 22931 MJ·ha⁻¹ i 11454 MJ·ha⁻¹. Lin i in. (2017) wykazują, że w systemie rolnictwa ekologicznego następuje jedynie nieznacznie zmniejszenie nakładu energii kopalnej w uprawie roślin (od 5,9 do 5,5 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹), przy znacznym obniżeniu wydajności suchej masy (od 5,4 do 2,5 Mg·ha⁻¹·rok⁻¹) oraz produkcji energii (od 99 do 46 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹). Autorzy ci wskazują, że ulepszone zarządzanie w konwencjonalnym systemie uprawy roli (z odmianami o wysokiej wydajności i lepszym zarządzaniem N) zmniejszyło nakłady energii z 14,0 do 12,2 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹ oraz zwiększyło produkcję energii ze 155 do 179 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹. Dokonywanie porównań między konwencjonalnymi i ekologicznymi systemami rolnymi często prowadzi do wniosku, że uprawy ekologiczne są bardziej energooszczędne w porównaniu do konwencjonalnych ale redukcja nakładu energii z paliw kopalnych musi być zrównoważona nakładami energii pracy ludzkiej, które są często wyższe w przypadku systemów organicznych (Ziesemer, 2007; Zafiriou, 2012). Z kolei Bailey i in. (2003) porównując system konwencjonalny z integrowanym, wykazują niższą energochłonność upraw integrowanych w przeliczeniu na hektar ale przy zmniejszonej ich wydajności.

Kolejnym, mocno zaznaczonym trendem w analizach energochłonności produkcji roślinnej popularnie przedstawianej w literaturze przedmiotu jest ocena energochłonności upraw roślin przeznaczonych do produkcji energii odnawialnej. Badania te prowadzono dla różnych gatunków roślin zielnych i drzewiastych (Kallivroussis i in., 2002; Piskier, 2008a; Piskier, 2008b; Piskier, 2010; Kwaśniewski, 2010a; Kwaśniewski, 2010b; Stolarski i in., 2014; Bielski i in., 2015; Pepliński, 2015). Kwaśniewski (2010) zwraca uwagę, że szczególnie uprawy roślin energetycznych powinny charakteryzować się niskimi nakładami materiałowo-energetycznymi tak, aby można było uzyskać możliwie najwyższą wartość wskaźnika efektywności energetycznej, ponieważ tylko wówczas dalsze działania związane z przetwarzaniem tego surowca będą zasadne z ekonomicznego i ekologicznego punktu widzenia. Średnia energochłonność rocznych plantacji wierzby wynosiła średnio 30,8 $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Kwaśniewski, 2010a), natomiast trzyletnich 24,76 $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Kwaśniewski, 2010b).

Wielu autorów porównywało energochłonność poszczególnych zabiegów stosowanych w uprawach różnych gatunków roślin. Zbiór jako najbardziej energochłonną czynność w uprawach ziemniaków jadalnych wykazali Dobek (2006), żyta ozimego Sławiński i in. (2008), gryki w uprawach konwencjonalnych Sławiński i in. (2009). Natomiast w ekologicznym sposobie produkcji gryki wyższych nakładów wymagało nawożenie organiczne (Sławiński i in., 2009). Największy udział w strukturze energochłonności produkcji wierzby stanowiły nakłady energetyczne ponoszone na pracę żywą i uprzedmiotowioną. W zależności od roku produkcji wynosiły one od 50,9 do 55,5% (Kwaśniewski, 2010 a, b). Natomiast przeciwnie, Venturi i Venturi (2003) prowadząc analizę porównawczą energochłonności upraw w europejskich systemach rolniczych dla roślin oleistych stwierdzili, że zbiór nie był już tak energochłonny. W przypadku rzepaku i słonecznika najbardziej energochłonne ze wszystkich zabiegów stosowanych w uprawach tych gatunków było nawożenie, które generowało dla rzepaku 5,6-13,8 $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast słonecznika 8,1-13,8 $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Jedynie w uprawach soi dominowała w strukturze energochłonności uprawa roli (6,5-13,0 $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Analizy energochłonności były też prowadzone z uwzględnieniem wielkości gospodarstw. W przypadku uprawy sorga stwierdzono, że najniższą energochłonnością cechowała się produkcja w gospodarstwach o powierzchni 130 ha UR (Pepliński, 2015).

W prowadzonych analizach dotyczących energochłonności produkcji roślinnej zazwyczaj porównywano różne technologie uprawy w obrębie tego samego gatunku. Gorzelany (2010) analizował energochłonność procesów produkcji buraków cukrowych w trzech technologiach uprawy; tradycyjnej, z siewu w mulcz ze słomy oraz siewu w mulcz wytworzony z gorczycy. Stwierdził, że we wszystkich analizowanych technologiach w strukturze nakładów energetycznych dominowały nakłady poniesione na zużyte materiały i surowce i kształtowały się w zakresie od 18 786 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (60%) – technologia tradycyjna do 20 136 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (66%) dla technologii mulcz – gorczyca. Z kolei Piskier (2010) porównując trzy technologie uprawy topinamburu ze zróżnicowanym sposobem nawożenia stwierdził, że najbardziej energochłonna jest ta, która wykorzystywała nawożenie kompostem z osadu ściekowego. Zwiększała ona nakłady energii skumulowanej o 52% w stosunku do wartości uzyskanych na obiektach nawożonych. Porównując efektywność energetyczną orkowych technologii uprawy żyta hybrydowego, gdzie różnicowano termin, zagęszczenie i głębokość siewu, stwierdzono minimalne różnice w wielkości i strukturze nakładów energetycznych ze średnią wartością 18,63 $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Piskier i Majchrzak, 2014). Zastosowanie uprawy bezorkowej zmniejszało nakłady energii wniesione w formie paliwa o 9,3% w porównaniu

do uprawy orkowej oraz w formie agregatów o 2,3% w porównaniu do uprawy orkowej (Piskier i Majchrzak, 2013). Memon i in. (2015) porównując trzy technologie uprawy kukurydzy w warunkach pakistańskiego rolnictwa z wykorzystaniem pługa, kultywatora i „uprawę zerową”, przy niezmiennych pozostałych składowych, zauważyli niewielkie różnice w poniesionych nakładach energetycznych i wynosiły one odpowiednio 12387, 11383, 11301 MJ·ha⁻¹. Jednak skutkowało to zupełnie odmiennymi relacjami energii wyjściowej: 64386, 58388, 46099 MJ·ha⁻¹, co przekładało się na duże różnice w uzysku energetycznym pomiędzy tymi wariantami uprawy. Energia netto dla tych kombinacji wynosiła: dla wariantu uprawy płużnej 51999 MJ·ha⁻¹, z wykorzystaniem w uprawie kultywatora 47005 MJ·ha⁻¹ i bez uprawy mechanicznej gleby 34798 MJ·ha⁻¹. Natomiast w przypadku uprawy rzepaku stwierdzono, że największą efektywnością energetyczną odznaczała się uprawa uproszczona (Kusek i in., 2016).

Dotychczasowe prace poświęcone energochłonności upraw skupiały się przede wszystkim na głównych gatunkach roślin uprawnych, takich jak: jęczmień (Kwiatkowski i Harasim, 2009; Mobtaker i in., 2010; Nasalski i in., 2004), pszenica (Harasim, 1997; Khan i in., 2010; Shahin i in., 2008; Yuan i in., 2018), żyto (Starczewski i in., 2008; Sławiński, 2011; Piskier i Majchrzak, 2013), buraki cukrowe (Haciseferoğullari i in., 2003; Erdal i in., 2007; Gorzelany, 2010), ziemniaki (Dobek, 2006; Klikocka, 2006; Mohammadi i in., 2008; Allali i in., 2017), kukurydza (Niedziółka, 2000; Gorzelany i in., 2011; Grassini i Cassman, 2012), rzepak (Budzyński i in., 2004; Rathke i Diepenbrock, 2006; Jankowski i in., 2015), soja (Mandal i in., 2002; Dobek i in., 2009; Ramedani i in., 2011), ciecierzycza (Salami i Ahmadi, 2010), a także różnych warzyw i owoców (Gezer i in., 2003; Ozkan i in., 2004; Esengun i in., 2006; Hatirli i in., 2006; Canakci i in., 2005; Canakci i Akinci, 2006; Strapatsa i in., 2006; Esengun i in., 2007; Litskas i in., 2011). Nie spotkano publikacji dotyczących oceny energochłonności uprawy ziół zaliczanych do jasnotowatych, stąd pojawiła się potrzeba przeprowadzenia takiej analizy w celu oceny i podjęcia dalszych kroków dotyczących weryfikacji prowadzonych technologii w odniesieniu do wartości energii na wyjściu i wejściu.

3. PROBLEM BADAWCZY, CEL I ZAKRES BADAŃ

Rośliny zielarskie są surowcem bardzo pożądanym na rynku farmaceutycznym, spożywczym i kosmetycznym, a ich uprawa towarowa jest jednym z najmłodszych działów produkcji roślinnej. Prowadzenie uprawy roślin zielarskich 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, areалу uprawy ziół w gospodarstwie.
3. Określenie efektywności energetycznej i energochłonności upraw mięty pieprzowej i melisy lekarskiej w poszczególnych technologiach i latach prowadzenia plantacji.
4. Obliczenie wskaźników energetycznych w odniesieniu do badanych gatunków ziół.
5. Ocenę możliwości zmniejszenia energochłonności upraw roślin zielarskich, a tym samym poprawy uzyskiwanych wskaźników energetycznych.
6. 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 zało-

zonych 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.

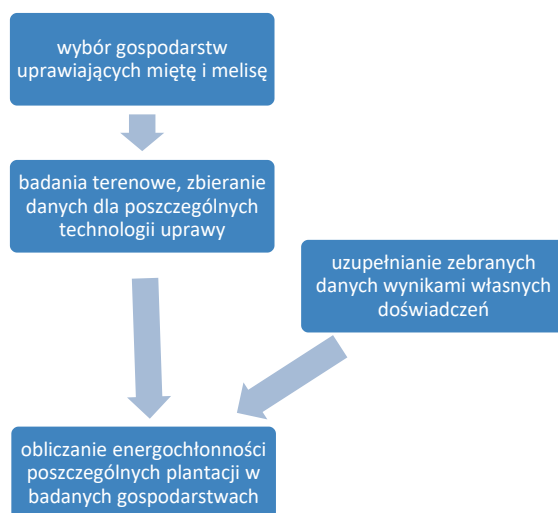
Na podstawie przeprowadzonych rozważań sformułowano hipotezy badawcze:

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

4. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Złożoność zjawisk dotyczących badań energochłonności upraw roślin zielarskich w świetle normatywnych wymagań jakościowych (farmaceutycznych) takiego surowca, wymaga analizy danych pozyskanych z różnych perspektyw. Stąd też w niniejszej pracy zastosowano innowacyjne podejście badawcze polegające na łączeniu różnych metod badań, celem dopełnienia wyników uzyskanych na poszczególnych etapach procesu badawczego dla uzyskania spójnej i kompleksowej odpowiedzi na założony problem badawczy.

W tym przypadku, 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 (rys. 3).



Rysunek 3. Architektura systemu informacji dotyczącej energochłonności mięty pieprzowej i melisy lekarskiej

4.1. Metodyka badań ankietowych

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 w której 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 (załącznik nr 1 i 2), 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 dla gatunków roślin zielarskich objętych badaniem w różnej formie dla wyszczególnionych technologii uprawy i w przypadku mięty pieprzowej, wielkości powierzchni uprawy ziół w badanych gospodarstwach.

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).

Zawartość suchej masy w uzyskanym plonie przez poszczególnych plantatorów obliczono jako:

$$\text{sucha masa (\%)} = 100 - \text{zawartość wody (\%)}$$

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.

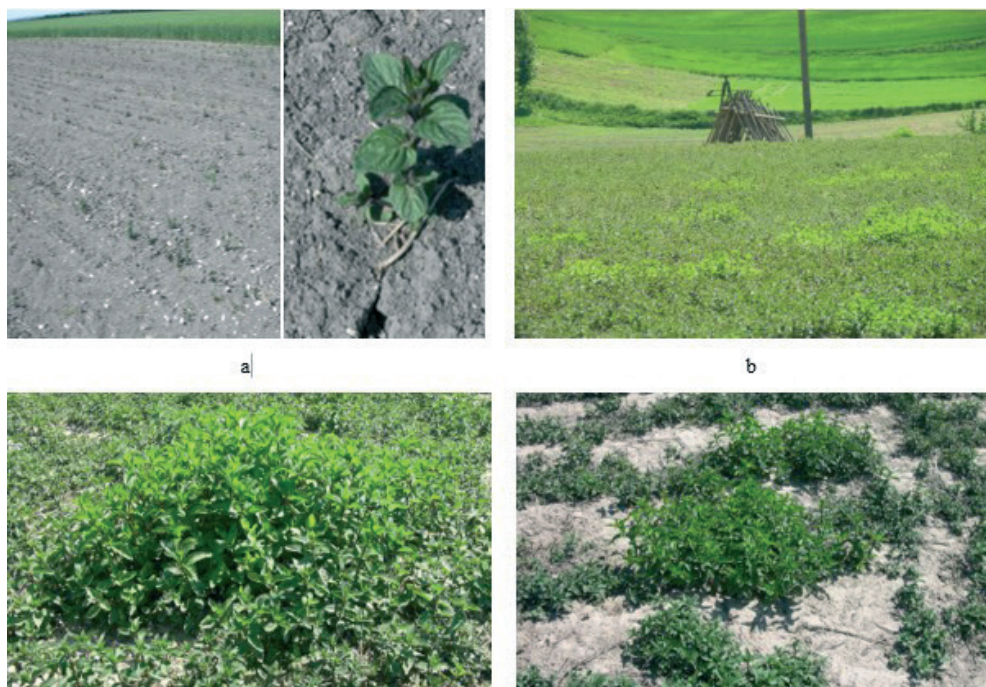
Charakterystyka technologii uprawy mięty pieprzowej

W związku z tym, że mięta pieprzowa jest spontaniczną krzyżówką gatunków dzikich: mięty nawodnej (*M. aquatica*) z miętą zieloną (*M. spiciata*) powstała w miejscowości Mitcham pod Londynem, a mięta zielona jest prawdopodobnie mieszańcem mięty długolistnej (*M. rotundifolia*) z miętą okrągłolistną (*M. longifolia*), wobec czego jest potrójnym mieszańcem wytwarzającym kwiaty o zdegradowanych pylnikach (Senderski, 2009; Kołodziej, 2010). Stąd w uprawach rozmnażana jest wyłącznie na drodze wegetatywnej. 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 nielicznych gospodarstwach matecznik nie był prowadzony, a do zakładania plantacji wykorzystywano rozłogi ze starych likwidowanych plantacji, bądź zakładano nowe uprawy specyficzną dla siebie metodą. W pierwszym roku plantacja, w obydwu wariantach zakładana była z rozłogów podziemnych pozyskanych z rocznych rozsadników (rys. 4a). Suszenie odbywało się bezpośrednio na polu z wykorzystaniem drewnianych rusztowań (rys. 4b) i w większości wszelkie prace z tym związane wykonywano ręcznie. Na plantacjach rocznych przed zimą wykonywano płytką orkę, której zadaniem było zabezpieczenie roślin w okresie zimowych chłódów oraz poprawę warunków wilgotnościowych w okresie wiosennym.

Mimo, iż obydwie technologie zakładania rozsadnika mięty pieprzowej na pozór wyglądają bardzo podobnie i w zasadzie różnią się tylko jednym elementem, kryje się za nimi głębsza idea zarówno natury biologicznej, jak i czysto praktycznej, co starano się przedstawić w realizowanych badaniach. Stosowanie rozłogów podziemnych jako materiału rozmnożeniowego niesie niebezpieczeństwo jej zanieczyszczenia rodzimymi gatunkami mięty, zjawisko to nazywane jest „dziczeniem upraw mięty”. Tym samym na plantacji dochodzi do rozmnażania niepożądanych genotypów i pojawiania się różnych chemotypów (rys. 4a, 4b).

Na etapie produkcji polowej ziół wykorzystywane były tradycyjne maszyny i urządzenia jakie spotkać można w większości polskich gospodarstw o wielokierunkowej produkcji.

W obydwu technologiach stosowano orkowy system uprawy gleby. W większości przypadków do uprawy roli wykorzystywano agregaty uprawowe. Nawozy wysiewano za pomocą rozsiewaczy zawieszanych. Nieliczne opryski wykonywano z wykorzystaniem opryskiwaczy zawieszanych. Do wykopywania podziemnych rozłogów służyły tradycyjne elewatorowe kopaczki do ziemniaków. Sadzenie wykonywano za pomocą sadzarek gospodarskiej konstrukcji. Koszenie ziół odbywało się z wykorzystaniem tradycyjnych kosiarek rotacyjnych. Zazwyczaj do transportu wykorzystywano przyczepy jednoosiowe o niskim zawieszeniu, konstrukcji gospodarskiej. W celu oddzielenia łodyg od liści wykonywano młócenie za pomocą stacjonarnych młocarni wykorzystywanych dawniej do omlotu roślin zbożowych. Doczyszczanie tak uzyskanego surowca prowadzono z wykorzystaniem różnorodnych przesiewaczy, również, zazwyczaj konstrukcji gospodarskiej. Charakterystykę wykorzystywanych w gospodarstwach ciągników, maszyn i urządzeń rolniczych stosowanych w uprawach mięty pieprzowej przedstawiono w rozdz. 5.3.



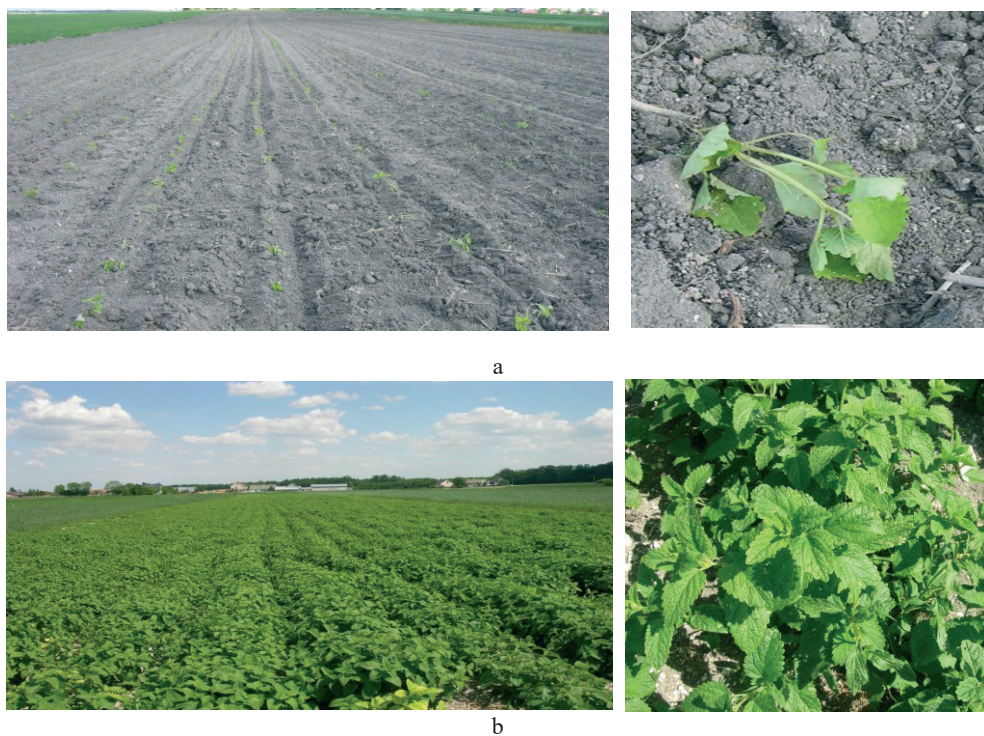
Rysunek 4. Mięta jednoroczna rozmnażana z rozlogów podziemnych (a), w drugim roku prowadzenia plantacji z widocznymi daszkami używanymi do suszenia roślin (b), pojawia się rodzimych gatunków mięty na polu uprawnym, niejednorodność fenotypowa (c,d)

Przykładowe karty technologiczne dla rozpatrywanych technologii uprawy zestawione w arkuszach kalkulacyjnych programu Excel zamieszczono w załączniku nr 1 niniejszego opracowania.

Charakterystyka technologii uprawy melisy lekarskiej

Melisa lekarska, w odróżnieniu od mięty pieprzowej rozmnażana jest generatywnie za pomocą nasion. Plantację można założyć przez wysiew nasion bezpośrednio do gruntu, lub też wysadzić rozsadę uzyskaną na rozsadniku, lub w tunelu foliowym. We wszystkich gospodarstwach gdzie stosowana była technologia z wykorzystaniem sadzonek, produkcja rozsady odbywała się w tunelu foliowym, gdzie nasiona były wysiewane w marcu danego roku kalendarzowego, a wysadzanie roślin odbywało się około połowy maja (rys. 5a). Z kolei na plantacjach zakładanych z nasion wysiewanych bezpośrednio na polu docelowym, siew nasion odbywał się w pierwszej połowie kwietnia. Przy wiosennym terminie siewu, w razie niekorzystnych warunków atmosferycznych problemem są wolne i nierównomierne wschody roślin. Niedostatek wody także może być przyczyną „wypadania” wysadzonych roślin i późniejszej potrzeby uzupełniania ich braków na polu uprawnym.

W ramach analizowanych technologii odnotowano różnice w sposobie suszenia. W gospodarstwach gdzie wykorzystywano sadzonki, suszenie odbywało się bezpośrednio na polu uprawnym, natomiast tam, gdzie wysiewano nasiona wprost do gleby, rośliny po ścięciu pozostawiano na pokosach na jedną dobę, celem wstępnego podsuszenia, a następnie zbierano przyczepą samozbierającą i dalsze suszenie prowadzono pod zadaszeniem. Widok plantacji dwuletniej przedstawiono na rys. 5b.



Rysunek 5. Plantacja zakładana z ukorzenionych sadzonek (a) oraz melisa w drugim roku wegetacji (b)

W uprawie melisy lekarskiej również stosowano orkowy system uprawy gleby. Wypośażenie w środki techniczne było zbliżone do gospodarstw zajmujących się uprawą mięty pieprzowej. Podstawowe różnice odnośnie parku maszynowego w analizowanych technologiach uprawy dotyczyły obecności w technologii siewu bezpośrednio do gruntu, siewników służących do wysiewu nasion melisy, oraz przyczep samozbierających. Siewniki zawieszane wykonywane były sposobem gospodarskim na bazie ręcznych, gdzie poszczególne sekcje wysiewające stanowiły osadzone na wspólnej ramie ręczne siewniki o szczoteczkowym mechanizmie wysiewającym. Z kolei przyczepy zbierające służyły do transportu poprzedzonego samo załadunkiem podsuszonego ziela melisy do skrzyni załadunkowej. Budowa większości przyczep była zbliżona. Podbieracz umocowany był z przodu

du przyczepy, a skrzynia ładunkowa posiadała przenośnik podłogowy. Natomiast w grupie gospodarstw stosujących sadzonki zielne występowały sadzarki warzywnicze, zazwyczaj lokalnych producentów, a transport wysuszonych ziół odbywał się zwykłymi przyczepami rolniczymi, często również konstrukcji gospodarskiej. Szczegółowe dane dotyczące występujących w obydwu grupach gospodarstw ciągników, maszyn i urządzeń zamieszczono w rozdziale 5.3. Przykładowe karty technologiczne dotyczące omawianych technologii zamieszczono w dołączonym załączniku nr 2.

4.2. Metodyka oceny energochłonności analizowanych technologii

Na podstawie opracowanych kart technologicznych badanych gatunków roślin zielarskich w poszczególnych latach uprawy i wytworzonego materiału rozmnożeniowego (rosadnik mięty pieprzowej i produkcja nasion melisy) określono strukturę nakładów materiałowo-energetycznych w różnej formie dla poszczególnych technologii i analizowanych grup gospodarstw. 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 skumulowana 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,
- 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 paliwa (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 zawartą, przyjmując z wartościami podanymi w tab. 1 odpowiednie wskaźniki energochłonności jednostkowej

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

gdzie:

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

Tabela 1.

Wskaźniki energetyczne stosowane do szacowania energii skumulowanej w postaci materiałów

Parametr	Wartość wskaźnika	Literatura
N*	77 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ N	Wójcicki 2008
P	10 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ K_2O	Wójcicki 2008
K	15 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ P_2O_5 ,	Wójcicki 2008
CaO	6 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ CaO	Wójcicki 2008
S	14 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ SO_3	Klikocka 2006
Pestycydy**	300 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ substancji aktywnej	Wójcicki 2008
Obornik	0,2 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	Wójcicki 2008
Nawozy humusowe	30 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	Obliczenia własne
Olej napędowy	48 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,	Wójcicki 2008
Energia elektryczna	11 $\text{MJ} \cdot \text{kWh}^{-1}$	Wójcicki 2008
Węgiel brunatny	10 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	Wójcicki 2008
Ziemia ogrodnicza***	1 $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$	Wójcicki 2008
Woda z ujęć wodnych	0,002 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	Wójcicki 2008

* Zawartość poszczególnych składników w nawozach obliczano wg danych producenta

** Zawartość związków czynnych w poszczególnych środkach chemicznych obliczano zgodnie z danymi producenta publikowanymi na stronach internetowych

*** Wójcicki (2008) proponuje, aby do 1 m^2 ziemi rolnej stosować przelicznik w zależności od klasy gleby od 1 do 1,2. W związku z tym, że zarówno warstwa orna gleby, jak i rozmieszczenie głównej masy korzeniowej roślin uprawnych w warunkach polowych, znajduje się do głębokości około 20 cm, co jest wartością porównywalną do grubości warstwy podłoża ogrodniczego stosowanego w tunelach foliowych do produkcji rozsady melisy, do celów obliczeniowych przyjęto w niniejszej pracy współczynnik 1, biorąc pod uwagę powierzchnię wykorzystanego tunelu foliowego.

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 (rozdz. 5.9.).

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

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

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, tzn. 265 dni roboczych po 8 godzin pracy dziennie.

Energochłonność skumulowana w wykorzystywanych maszynach i agregatach (E_i):

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

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

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

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 zioła.

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

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

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, ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)

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

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

gdzie:

- f – powierzchnia przechowywania ciągnika (maszyny), (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%, P_2O_5 -0,3%, K_2O -0,7%.

W pierwszej kolejności analizie poddano poszczególne strumienie energii, a następnie dokonano obliczenia całkowitych nakładów energetycznych dla badanych gatunków ziół, badanych 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:

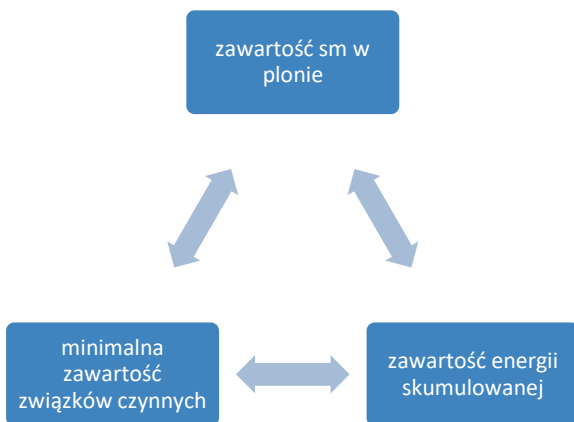
$$Z_{en} = W_p - E_s \text{ (MJ} \cdot \text{ha}^{-1}\text{)} \quad (11)$$

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.

W przypadku ziół takie podejście może być niewystarczające, bowiem uzyskany plon musi spełniać szereg wymagań normatywnych i mimo osiągnięcia wysokiego plonowania, ale o miernej jakości, związanej przykładowo z niewłaściwym sposobem konserwacji bądź przechowywania, plantator na taki surowiec nie znajdzie nabywcy, a tym samym poniesie straty. W związku z powyższym, w metodyce obliczeń zaproponowano autorską modyfikację dotyczącą przeliczania wartości energetycznej roślin zielarskich z uwzględnieniem minimalnej, wymaganej normatywnie zawartości związków czynnych wg przyjętego schematu.



Rysunek 6. Schemat weryfikacji energii skumulowanej w stosunku do zawartości olejków eterycznych

W trakcie wydłużającego się w czasie, bądź niewłaściwego przechowywania (magazynowania) surowca zachodzą niekorzystne zmiany polegające na utracie związków czynnych, co w skrajnych przypadkach może być przyczyną całkowitej dyskwalifikacji i braku możliwości sprzedaży. W związku z tym, iż największym stratom podlegają surowce zawierające olejki eteryczne przedstawiona modyfikacja dotyczy wspomnianej grupy roślin.

Stosując powyższy schemat (rys. 6), znając utraconą część związków biologicznie aktywnych, możemy tym samym wnioskować o ilości energii straconej w stosunku do wydatkowanej w procesie produkcji. W takim to przypadku, mimo iż poniesione nakłady energii skumulowanej są uzasadnione technologicznie i ekonomicznie, stają się stratami.

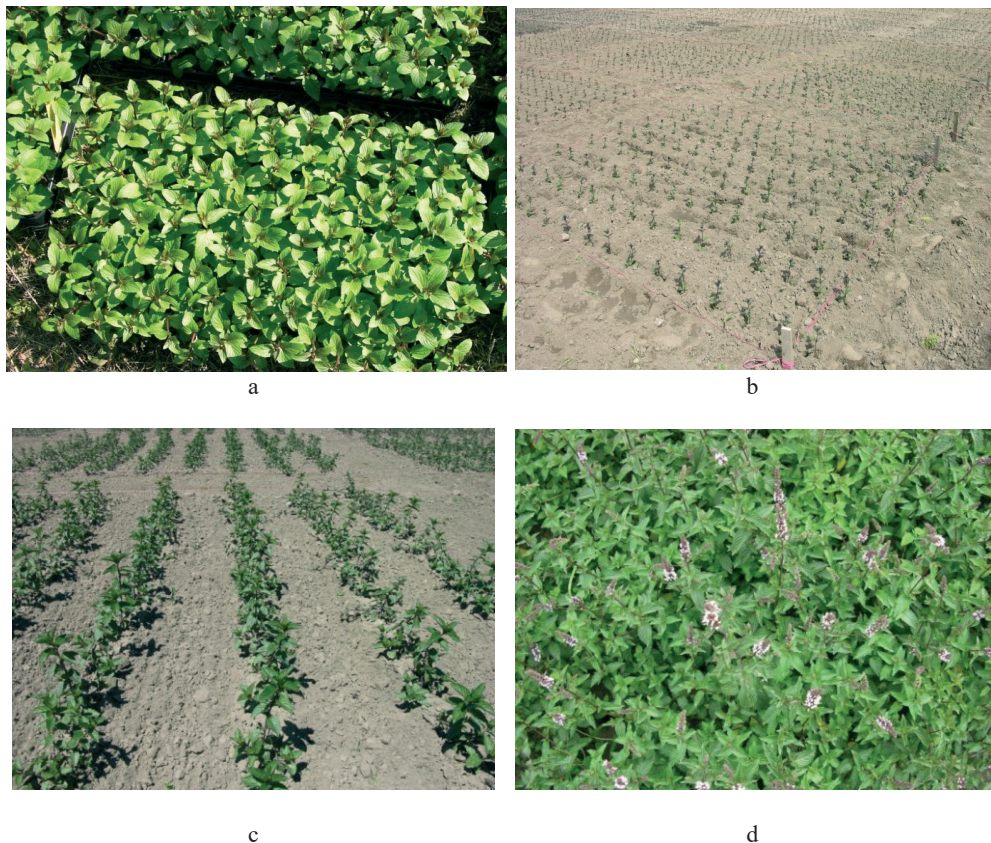
4.3. Metodyka badań doświadczalnych

Do zweryfikowania wpływu stosowanego nawożenia azotowego na wysokość i jakość uzyskiwanych plonów badanych gatunków ziół w warunkach gleb słabszych prowadzono dwa niezależne doświadczenia ściśle, osobno dla mięty pieprzowej i melisy lekarskiej.

Mięta pieprzowa - doświadczenie poletkowe

Aby porównać wpływ najbardziej plonotwórczego składnika nawożenia i jednocześnie najbardziej energochłonnego, jakim jest nawożenie azotowe, na różnice w wysokości materiałowych nakładów energetycznych ponoszonych w uprawie mięty pieprzowej, założono doświadczenie polowe. W związku z tym, że najsłabsze gleby w praktyce produkcyjnej na jakich spotykano uprawę tego gatunku należały do klasy bonitacyjnej IVb, aby mieć punkt odniesienia do uzyskiwanych wyników z badań terenowych, założono doświadczenie na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego, klasa bonitacyjna IVb. Badania dotyczące wpływu zróżnicowanego nawożenia azotowego na wielkość plonowania ziela mięty pieprzowej i zawartość oraz skład chemiczny olejków eterycznych prowadzono w latach 2017-18. Wysadzano ukorzenione sadzonki zielne mięty pieprzowej odmiany Schoko na poletkach 3x3 m w trzech powtórzeniach w rozstawie 40 x 21 cm, co dawało obsadę 13 roślin·m⁻² (rys. 7). Stosowano zróżnicowane nawożenie N w ilości 75, 100, 125 kg·ha⁻¹. 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⁻¹ siarczanu potasowego (50% K₂O). 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. Pomiary testu SPAD wykonano w trzech terminach, w połowie czerwca, początkiem lipca i sierpniu, natomiast testu NDVI, dwukrotnie, w połowie czerwca i początkiem sierpnia.

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.



Rysunek 7. Widok doświadczenia w różnych fazach rozwojowych roślin: a - sadzonki zielne wykorzystywane do założenia doświadczenia, b - tydzień po zasadzeniu, c - miesiąc po zasadzeniu, d - przed zbiorem

Melisa lekarska - doświadczenie wazonowe

W celu precyzyjnego odniesienia wielkości i jakości plonu melisy lekarskiej w zależności od zastosowanej dawki nawożenia azotowego, a tym samym zmiennych nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję tego gatunku, 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. W dnie wazonów nawiercono 3 otwory o średnicy 5 cm.

Do badań wykorzystano materiał glebowy pobrany z warstwy 0-20 cm użytku ornego o składzie granulometrycznym piasku gliniastego, o znanym składzie chemicznym (tab. 2). Odczyn gleby określano w zawiesinie wodnej przy stosunku gleby do wody jak 1:2. Ogólne stężenie soli oznaczono konduktometrycznie (EC). Oznaczania zawartości przyswajalnych form makroskładników pokarmowych (P, K, Mg i Ca) wykonano w $0,03 \text{ mol dm}^{-3}$

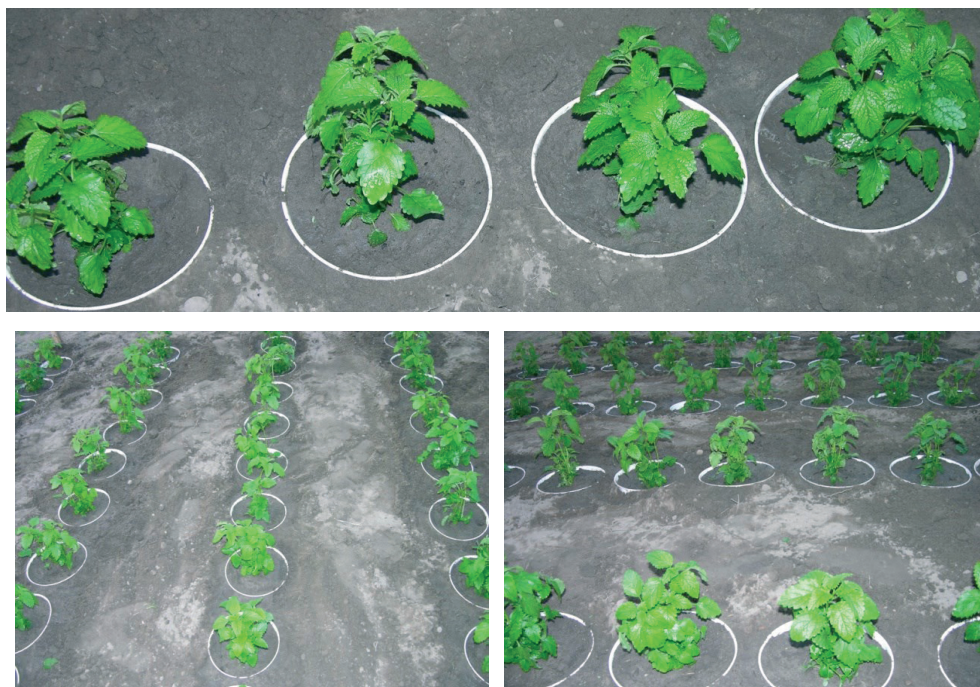
CH_3COOH metodą uniwersalną (Ostrowska i in., 1981). W ekstraktach składniki mineralne oznaczano metodą ICP OS na aparacie firmy Teledyne Liman Labs.

Tabela 2.

Odczyn gleby (pH w H_2O), zasolenie (mS cm^{-1}) oraz zawartość makroskładników (mg dm^{-3})

Wyszczególnienie	pH	EC	P	K	Mg	Ca	S	Na
Zawartość	7,19	0,06	52	53	146	4160	5,4	7,2
Liczby standardowe	-	-	20-50	80-120	60-120	800-1000	-	-

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, 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 ukorzonioną sadzonkę melisy i zakopano wazon w glebie, która wykorzystywana była do ich napełniania. Odległość między rzędami wynosiła 50 cm, natomiast w rzędzie wazony oddalone były od siebie o około 10 cm (rys. 8).



Rysunek 8. Widok doświadczenia wazonowego w trakcie wegetacji

Podczas trwania eksperymentu, w warunkach niedoboru opadów atmosferycznych, każdy obiekt doświadczalny podlewano taką samą ilością wody. W doświadczeniu nie stosowano chemicznych środków ochrony roślin. Chwasty usuwano ręcznie. Podobnie jak w mięcie pieprzowej w trakcie wegetacji melisy lekarskiej prowadzono ocenę produktywności poprzez pomiar tzw. wskaźników wegetacyjnych. Badaniom poddano wszystkie rośliny z każdej kombinacji. Wykonywano pomiary indeksu zieloności liścia (SPAD) za pomocą chlorofilomierza Minolta SPAD 502DL, natomiast wskaźnik zieleni (NDVI) określono urządzeniem GreenSeeker. Pomiary testu SPAD wykonano w trzech terminach, w połowie czerwca, początkiem lipca i sierpnia, natomiast testu NDVI, dwukrotnie, w połowie czerwca i początkiem sierpnia. Rośliny zbierano w fazie pojawiania się pąków kwiatowych, przez ścięcie sekatorem na wysokość 3 cm nad powierzchnią gleby.

4.4. Metodyka badań właściwości fizykochemicznych

Zawartość suchej masy i wilgotności względnej badanego surowca

Zawartości suchej masy ziela i liści mięty pieprzowej oraz melisy lekarskiej oznaczano metodą suszarkowo-wagową w temp. 105°C. Naczynka wagowe o znanej masie napełniano 5 g badanego surowca (ziele lub liście) i umieszczano w komorze cieplnej nagrzanej do temperatury 105°C na 4 godziny. Po tym czasie, próbki wyciągano i umieszczano w eksykatorze celem ostygnięcia. Następnie naczynka z zawartością ważono i ponownie umieszczano w komorze cieplnej. Czynność ta była powtarzana do momentu, w którym nie stwierdzono ubytku masy badanych próbek. Za wynik końcowy przyjmowano średnią arytmetyczną z wartości różniących się nie więcej niż 0,004%. Badania prowadzono w 3 powtórzeniach dla każdego organu oddzielnie dla ziela i liści z każdego poletka doświadczalnego.

Zawartość suchej masy obliczono według wzoru:

$$X = \frac{(b-c) \cdot 100}{a-c} \quad (\%) \quad 12$$

gdzie:

- X – zawartość suchej masy
- a – masa naczynka z badaną próbką przed suszeniem, (g)
- b – masa naczynka z badaną próbką po suszeniu, (g)
- c – masa pustego naczynka, (g).

Wilgotność względną obliczono według wzoru:

$$W_w = \frac{(a-b) \cdot 100}{a-c} \quad (\%) \quad 13$$

gdzie:

- W_w – wilgotność surowca
- a – masa naczynka z badaną próbką przed suszeniem, (g)
- b – masa naczynka z badaną próbką po suszeniu, (g)
- c – masa pustego naczynka, (g).

Struktura plonu

Ze względu na różną energochłonność, i tym samym rentowność tego samego gatunku rośliny w przypadku możliwości wykorzystania (sprzedaży) dwojakiego surowca (ziele bądź liście), łatwość zbioru oraz brak danych literaturowych, określono strukturę plonowania mięty pieprzowej i melisy lekarskiej. Badania struktury plonu ziela mięty pieprzowej prowadzono na materiale pobranym losowo z poszczególnych poletek. Do analiz wykorzystywano po 45 roślin z poszczególnych kombinacji doświadczenia, a następnie ręcznie rozdzielano na użyteczne i wymagane farmaceutycznie organy oraz ważono na wadze laboratoryjnej z dokładnością do 0,001g. Badania struktury melisy lekarskiej prowadzono dla wszystkich roślin pozyskanych w czasie zbiorów. Udział poszczególnych organów określano w procentach wagowych.

Olejki eteryczne

Analizę zawartości olejków eterycznych prowadzono na aparatach Clevengera zgodnie z wytycznymi farmaceutycznymi (FP, 2011). Hydrodestylację prowadzono przez 2 h z szybkością 3-4 ml min⁻¹. Do badań wykorzystywano 20 g rozkruszonej substancji roślinnej i 200 ml wody. W przypadku mięty pozyskiwanej z doświadczenia polowego badania prowadzono na świeżym surowcu, natomiast melisy suszonym. Po zakończeniu destylacji po 10 min odczytywano zawartość olejków eterycznych, a następnie przeliczano na 100 g surowca.

Analiza zawartości azotu

Azot ogółem w roślinach oznaczono metodą Kjeldahla (Ostrowska i in., 1991).

4.5. Analiza statystyczna

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.

5. WYNIKI I DYSKUSJA

5.1. Analiza wyników badań

Mięta pieprzowa

W związku z tym, że wskaźniki wegetacyjne roślin (test SPAD, NDVI) są szeroko stosowane w badaniach nad ich produktywnością, w trakcie sezonu wegetacyjnego prowadzono trzykrotnie niedestrukcyjne pomiary indeksu zieloności liścia (test SPAD) i dwukrotnie wskaźnik zieleni (NDVI). Dzięki wynikom tych badań można prowadzić monitorowanie i prognozowanie plonu roślin (Kulig i in., 2008; Müller i in., 2008), a także kontrolować wystąpienie u roślin zjawisk stresowych, spowodowanych niedoborem azotu. Jedynym czynnikiem różnicującym na założonych polstkach była aplikacja nawozu azotowego. Średnie wyniki pomiarów dla mięty pieprzowej zawarto w tab. 3 i 4.

Tabela 3.

Średnie wyniki testu SPAD dla mięty pieprzowej w poszczególnych terminach pomiarów

Dawka azotu (kg ha ⁻¹)	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Średnia
75	46,78	29,94	37,08	37,93
100	45,91	30,22	36,60	37,58
125	44,00	28,77	35,89	36,22
Średnia	45,56 a*	29,64 c	36,52 b	x

*a, b, c – grupy homogeniczne wg testu Duncana p=0,05

W wyniku przeprowadzonej dwuczynnikowej analizy wariancji nie stwierdzono istotnych różnic w wartościach testu SPAD pomiędzy kombinacjami doświadczenia nawożonymi zróżnicowanymi dawkami azotu. Zauważono tylko różnice pomiędzy datami pomiarów. Najwyższe wartości obserwowano w przypadku pomiaru czerwcowego, wynikały one z tego, że rośliny miały do dyspozycji najwięcej azotu, który mogły wbudować w swoje struktury. Należy nadmienić, iż w czasie trwania pomiarów od połowy czerwca do pierwszego sierpnia (ostatni pomiar) rośliny nie były dokarmiane azotem. Zaskakującym wydaje się fakt, niższych wartości tego wskaźnika w lipcu, w porównaniu z sierpniem, zważywszy na brak jakiegokolwiek nawożenia w tym czasie. Według mojej opinii na obniżenie wartości SPAD miał wpływ okres suszy w lipcu i była to odpowiedź roślin na stres suszy.

W literaturze przedmiotu nie napotkano danych dotyczących tego typu pomiarów u mięty pieprzowej.

Podobnie jak w poprzedniej analizie, nie stwierdzono zróżnicowania w wartościach wskaźnika NDVI pomiędzy analizowanymi kombinacjami doświadczenia. Istotne różnice obserwowano tylko pomiędzy terminami badań. Wyższe wartości wskaźnika uzyskano w czerwcu (0,803). Obserwowane różnice wynikały głównie z krótszego okresu czasu pomiędzy wykonywanym pomiarem i aplikacją nawozów azotowych i większej w tym okresie dostępności tego makroskładnika dla roślin.

Tabela 4.

Średnie wyniki testu NDVI dla mięty pieprzowej w poszczególnych terminach pomiarów

Dawka azotu (kg·ha ⁻¹)	czerwiec	sierpień	Średnia
75	0,810	0,770	0,790
100	0,797	0,771	0,784
125	0,804	0,777	0,790
Średnia	0,803 a*	0,773 b	x

*a, b – grupy homogeniczne wg testu Duncana p=0,05

Przed zbiorami mięty pieprzowej, które odbywały się początkiem sierpnia wykonywano badania zawartości suchej masy w roślinach, średnie wartości analizowanego parametru przedstawiono w tab. 5. W wyniku przeprowadzonej analizy wariancji stwierdzono zróżnicowanie zawartości suchej masy w ziele mięty pieprzowej w zależności od zastosowanego poziomu nawożenia azotowego. Największą zawartością suchej masy (29,26%) charakteryzowała się mięta nawożona najmniejszą dawką azotu (75 kg·ha⁻¹), natomiast pomiędzy pozostałymi wariantami nawożenia względem badanego parametru nie stwierdzono istotnych różnic. Jednak reakcja na wielkość zastosowanego nawożenia azotowego była nieco odmienna w latach prowadzenia badań, co skutkowało wystąpieniem interakcji pomiędzy latami badań, a zastosowanym nawożeniem azotowym. W okresie wegetacji zawartość suchej masy części nadziemnej roślin jest skorelowana z panującymi warunkami pogodowymi (Kruczek, 2004). W roku 2017 największą zawartością suchej masy, średnio 30,25%, odznaczała się mięta nawożona dawką 75 N kg·ha⁻¹, natomiast w kolejnym roku badań takiej zależności statystycznej nie stwierdzono (tab. 5).

Tabela 5.

Zawartość suchej masy (%) w ziele mięty pieprzowej w zależności od dawki nawożenia azotem

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Lata		Średnie dla dawki N
	2017	2018	
75	30,25 a*	28,26 b	29,26 a
100	25,06 c	28,10 b	26,58 b
125	25,10 c	27,54 b	26,32 b
Średnie dla lat	26,80 b	27,97 a	27,39

*a, b, c – grupy jednorodne wg testu Duncana p=0,05

Średnie plony świeżej masy ziele mięty pieprzowej w zależności od zastosowanego w doświadczeniu poziomu nawożenia azotowego przedstawiono w tab. 6. Obserwowano różnice w plonowaniu tylko pomiędzy wariantami gdzie zastosowano 125 i 75 kg N kg·ha⁻¹. Największym średnim plonem świeżej masy ziele w latach prowadzenia badań odznaczała się mięta nawożona dawką 125 N kg·ha⁻¹ i było to średnio 19423 kg·ha⁻¹. Na podobnym

poziomie plonowała mięta nawożona w dawce $100 \text{ N kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a otrzymane wartości zostały zaliczone do wspólnej grupy homogenicznej. Znany jest fakt, że w miarę zwiększania poziomu nawożenia azotowego początkowo uzyskuje się wysoki wzrost plonów, po czym przyrosty masy roślinnej są coraz mniejsze. Po przekroczeniu optymalnej dawki dla danego gatunku w konkretnych warunkach glebowo-klimatycznych, zwiększenie poziomu nawożenia N nie powoduje już wzrostu plonów, a nawet po nadmiernym przekroczeniu dawki optymalnej następuje zmniejszenie plonów (Nasalski i in., 2004). Sekeroglu i Ozguven (2006) badali wpływ nawożenia na wysokość plonów wiesiołka, stosując kombinacje 0, 60, 120, $180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Największe plony uzyskiwali przy zastosowanej dawce 120 kg N . Ponadto, niedobór wody obniża działanie azotu na plonowanie roślin, a gleby lżejsze jakie wykorzystano w doświadczeniu mają niższą pojemność wodną, wobec czego takie niedobory są bardziej prawdopodobne. Plonowanie każdego gatunku rośliny jest algorytmem wykorzystywanego genotypu, warunków glebowo-klimatycznych i zabiegów agrotechnicznych. Zapewne te różnice są przyczyną różnych rezultatów badań dotyczących wpływu azotu na plonowanie roślin aromatycznych. Zheljazkov i in. (2010) w dolinie Missisipi obserwowali wzrost plonowania biomasy mięty wraz ze zwiększającymi się dawkami azotu, doświadczenie prowadzono w kombinacji $\text{N} - 0, 80, 160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, podobnie Ram i in. (2006) stosując dawki 0, 100, $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ zauważyli wzrost plonowania biomasy mięty, ale zwracają uwagę na znaczny wzrost wysokości plonów w warunkach nawadniania. Z kolei Verma i in. (2016) wykazują wyższe plonowanie mięty pieprzowej, ale przy łącznym stosowaniu nawozów mineralnych i obornika w porównaniu do czystego nawożenia mineralnego. Otrzymane w wynikach badań własnych wyższe plony mięty pieprzowej w drugim roku prowadzenia plantacji są zgodne z danymi literaturowymi dla tego gatunku (Kołodziej, 2010). Jak wspomniano wcześniej, doświadczenie polowe prowadzono w warunkach zbliżonych do panujących w badanych gospodarstwach, wykorzystując glebę słabej jakości, zaliczaną do klasy bonitacyjnej IVb, aby mieć podstawę do odnoszenia wyników badań własnych do osiągniętych w gospodarstwach.

Tabela 6.

Średnie plony świeżej masy ziela mięty pieprzowej ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) w zależności od dawki nawożenia azotem

Dawka N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Lata		Średnie dla dawki N
	2017	2018	
75	13698 b*	17524 a	15611 b
100	14459 b	20466 a	17463 ab
125	14875 b	23968 a	19423 a
Średnie dla lat	14344 b	20652 a	

*a, b – grupy jednorodne wg testu Duncana $p=0,05$

Wyniki badań struktury plonu pojedynczych roślin mięty pieprzowej w zależności od dawki zastosowanego nawożenia przedstawia tab. 7.

Tabela 7.

Struktura pojedynczych roślin mięty pieprzowej w zależności od dawki nawożenia azotowego

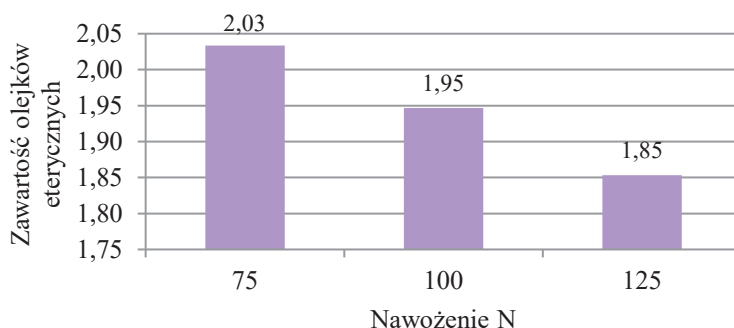
Parametr	Dawka nawożenia azotowego N (kg·ha ⁻¹)			Średnia
	75	100	125	
Długość roślin (cm)	58,17 a*	56,61 a	57,65 a	57,48
Masa całych roślin (g)	6,293 b	7,602 a	6,361 b	6,75
Liczba rozgałęzień I rzędu (szt.)	6 b	8 a	6 b	6,67
Liczba liści (szt.)	27 a	26 ab	20 b	24,50
Masa liści z jednej rośliny (g)	1,811 b	2,236 a	1,732 b	1,93
Masa łodyg (g)	3,535 b	4,380 a	3,526 b	3,81
Liczba kwiatostanów (szt.)	8 a	9 a	8 a	8,21
Masa kwiatostanów (g)	0,887 b	1,668 a	1,038 b	1,20

*a, b – grupy jednorodne wg testu Duncana p=0,05

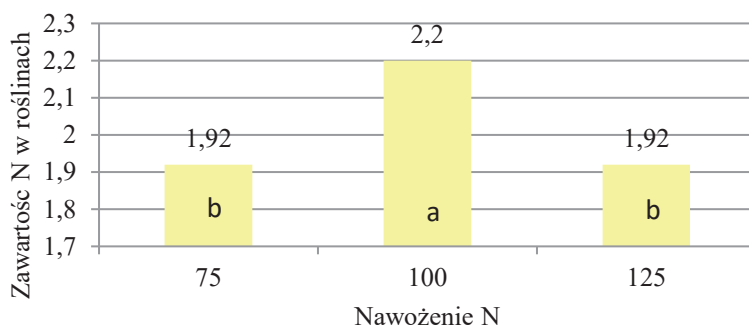
Wyniki przeprowadzonej analizy wariancji nie wskazują na różnice w długości pojedynczych roślin uprawianych przy zastosowaniu zmiennego nawożenia azotowego w zakresie 75 -125 N kg·ha⁻¹. Natomiast zróżnicowanie zauważono w masie pojedynczych roślin, gdzie najkorzystniejszym wariantem okazało się nawożenie w dawce 100 N kg·ha⁻¹ dając najwyższą średnią masę rośliny wynoszącą 7,602 g. W tym samym wariancie 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 ml·g⁻¹ (FP, IX). Między poszczególnymi kombinacjami doświadczenia nie stwierdzono różnic statystycznie istotnych. Średnią zawartość olejków eterycznych uzyskiwaną w poszczególnych wariantach doświadczenia przedstawiono na rys. 9. Dane literaturowe nie są jednoznaczne odnośnie wpływu wzrastających dawek azotu na zawartość olejków eterycznych w roślinach olejkowych. Zheljaskov i in. (2010) stwierdzili wzrost wydajności olejku eterycznego przy zwiększonym nawożeniu azotowym, co prawdopodobnie należy przypisać obserwowanym tam wyższemu plonom biomasy roślinnej. Singh i in. (1989) z kolei obserwowali zmniejszenie wydajności olejku we wszystkich badanych gatunkach mięty przy zwiększonym nawożeniu azotowym. W badaniach Yousefzadeh i in. (2013) pod wpływem wysokiego poziomu nawożenia azotowego obserwowano spadek zawartości procentowej olejków eterycznych. Z kolei Azizi i in. (2009) stwierdzili w jednym roku badań brak wpływu stosowanego poziomu nawożenia azotowego na zawartość olejków eterycznych

w oregano, natomiast w kolejnym roku prowadzenia eksperymentu obserwowano mniejszą zawartość olejków, spowodowaną wyższym poziomem nawożenia azotowego. Abdou i Mohamed (2014) nie obserwowali różnic w wydajności olejku eterycznego z mięty pieprzowej nawożonej NPK i kompostem roślinnym, natomiast Rosłon i in. (2011) zauważyli spadek zawartości olejku eterycznego przy stosowaniu nowoczesnych nawozów organiczno-mineralnych w stosunku do kontroli. Te niejednoznaczności literaturowe po części mogą wynikać z małej precyzyjności podawanych wyników, niekiedy braku informacji czy dotyczą one suchej masy rośliny, czy też materiału bezpośrednio branego do analizy. Oczywiście różnice występują między wydajnością, a zawartością olejku. Średnią zawartość azotu w biomacie roślin przedstawiono na rys. 10.



Rysunek 9. Średnia zawartość olejków eterycznych (ml/100g sm⁻¹) w świeżej masie ziela mięty pieprzowej w zależności od dawki nawożenia azotem N (kg/ha⁻¹)



*a, b – grupy jednorodne wg testu Duncana p=0,05

Rysunek 10. Średnia zawartość azotu (% s.m.) w roślinach mięty pieprzowej w zależności od dawki nawożenia azotem N (kg/ha⁻¹)

Najwyższą zawartość azotu, średnio 2,2% stwierdzono w kombinacji doświadczenia z dawką azotu 100 kg·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 kg·ha⁻¹.

Melisa lekarska

Podobnie jak w przypadku mięty pieprzowej, w trakcie wegetacji monitorowano wskaźniki wegetacyjne poszczególnych roślin, aby w ten sposób porównać stan odżywienia roślin azotem. Średnie wartości testu SPAD w poszczególnych datach pomiarów przedstawiono w tab. 8, natomiast wskaźnika zieleni (NDVI) w tab. 9.

Tabela 8.

Średnie wartości testu SPAD dla melisy lekarskiej

Dawka azotu (g·wazon ⁻¹)	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Średnia
0	28,33 cd	28,50 cd	13,64 g	23,49 c
0,8	38,04 b	28,11 cd	21,53 f	29,23 b
1,12	43,47 a	29,73 c	21,42 f	31,54 a
1,40	41,59 a	31,09 b	23,12 cf	31,93 a
1,68	43,68 a	29,21 c	25,63 cd	32,84 a
Średnia	39,02 a	29,33 b	21,07 c	x

*a, b, c, d, e, f – grupy jednorodnie wg testu Duncana p=0,05

Przeprowadzona dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała różnicę pomiędzy zastosowanymi kombinacjami nawożenia azotowego, terminem wykonywania pomiarów oraz interakcję kombinacji nawożenia z czasem jego wykonywania. Stwierdzono wyższe wartości testu SPAD dla dawek azotu 1,68g, 1,40g, 1,12g i zaliczono je do wspólnej grupy jednorodnej. Wykazano także różnicę między terminami pomiarów, im później był wykonywany, tym otrzymywano niższe wartości testu. Należy zaznaczyć, iż melisa lekarska była systematycznie podlewana jednakową ilością wody, w miarę potrzeb. Najwyższe wartości testu otrzymano podczas pomiarów czerwcowych dla dawek 1,68g, 1,40g i 1,12g. Kolejna dawka azotu (0,8 g) dawała już wyniki testu na poziomie najwyższego osiąganego w czasie kolejnego, lipcowego pomiaru dla wysokości N 1,4g. Z kolei w miesiącu sierpniu najwyższe wartości testu otrzymano dla dawki 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.

W badaniach prowadzonych z początkiem sierpnia wskaźnik NDVI uległ zmniejszeniu do 0,765.

Tabela 9.

Średnie wartości wskaźnika zieleni (NDVI)

Dawka azotu (g·wazon ⁻¹)	Czerwiec	Sierpień	Średnia
0	0,805	0,767	0,786
0,8	0,796	0,763	0,780
1,12	0,804	0,749	0,777
1,40	0,790	0,815	0,802
1,68	0,800	0,732	0,766
Średnia	0,799 a*	0,765 b	x

*a, b, – grupy jednorodne wg testu Duncana p=0,05

W dalszej kolejności, w tabeli 10, przedstawiono średnie plonowanie melisy lekarskiej wraz z strukturą plonu w zależności od zastosowanej dawki nawożenia azotowego.

Tabela 10.

Plonowanie i cechy morfometryczne melisy lekarskiej

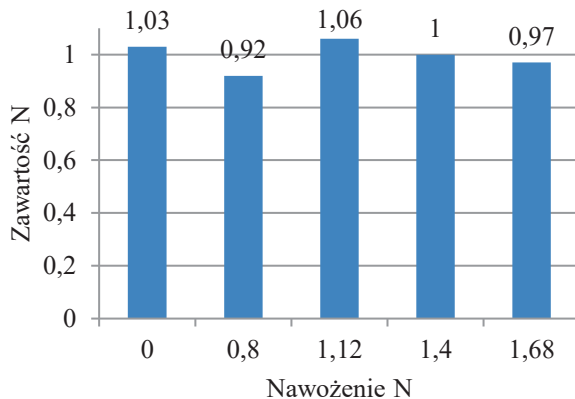
Parametr	Dawka nawożenia azotowego N (g·wazon ⁻¹)					Średnia
	0	0,8	1,12	1,40	1,68	
Długość roślin (cm)	20 a	21 a	22 a	22 a	23 a	21,60
Plon ziela z doniczki (g)	71,476 c	89,256 b	92,050 b	98,100 b	115,239 a	93,222
Masa liści z jednej doniczki (g)	54,110 c	64,759 b c	66,834 b	69,337 b	80,469 a	67,102
Udział liści (%)	75,70 a	72,55 a	72,61 a	70,68 a	69,83 a	72,274
Masa łodyg (g)	17,366 d	24,498 c	25,216 c	28,763 b	34,771 a	26,123
Udział łodyg (%)	24,30 a	27,45 a	27,39 a	29,32 a	30,17 a	27,73
Liczba roślin (szt.)	37 b	40 b	38 b	41 a b	48 a	40,8
Średnia masa liści na jednej roślinie (g)	1,462 a	1,619 a	1,759 a	1,691 a	1,676 a	1,641
Średnia masa łodygi (g)	0,469 a	0,612 a	0,664 a	0,702 a	0,724 a	0,634

*a, b, c, d – grupy jednorodne wg testu Duncana p=0,05

Przeprowadzona analiza wariancji wskazuje, że najwyższe plonowanie zarówno pod względem masy uzyskanego ziela, jak i osobno rozpatrywanej masy liści i łodyg, występo-

wało w wariacie gdzie stosowano najwyższe nawożenie azotowe, czyli 1,68 g na donicę, natomiast najniższe w kombinacji nie nawożonej N, co wydaje się mieć racjonalne uzasadnienie. Jednak pozostałe obserwowane zależności nie są już tak oczywiste. Nie stwierdzono istotnych różnic w długości roślin pochodzących z poszczególnych wariantów doświadczenia. Zauważono, iż plon ziela z pozostałych kombinacji nawożenia (z wyłączeniem skrajnych, czyli N= 0 i 1,68 g) nie różniły się statystycznie od siebie. Jednak różnice takie obserwowano już w uzyskanej masie łądyg. W wariacie gdzie stosowano azot 1,40 g·wazon⁻¹ uzyskano istotnie wyższe plony łądyg w porównaniu z innymi kombinacjami. Analizując udział procentowy liści w całościowym plonie zebranej masy nadziemnej, stwierdzono, iż w miarę wzrostu wielkości nawożenia azotowego udział procentowy tych organów zmniejszał się, od 75,7% przy braku N, aż do 69,83% przy najwyższej stosowanej dawce azotu. Tym samym przy wzrastającym nawożeniu N zwiększał się udział łądyg, które mają mniejsze znaczenie w produkcji towarowej tego gatunku. Obserwowane zależności są szczególnie ważne z praktycznego punktu widzenia, bowiem najcenniejszym surowcem w melisie są liście. W przypadku średniej liczby roślin wytworzonych w poszczególnych kombinacjach zaobserwowano mniejsze zróżnicowanie i wydzielono tylko dwie grupy jednorodne. Najwięcej roślin (48) występowało w kombinacji z największą dawką azotu (1,68 g). Między pozostałymi wariantami nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie. Największą średnią masę liści na pojedynczej roślinie stwierdzono w kombinacji gdzie stosowano 1,12 g na donicę i było to 1,759 g.

Na rys. 11 przedstawiono średnią zawartość azotu w roślinach w zależności od poziomu zastosowanego nawożenia azotowego.



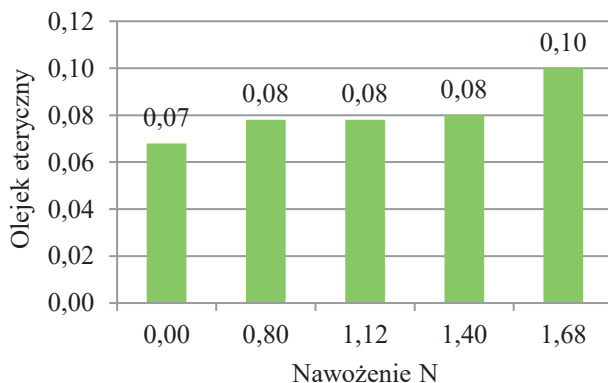
Rysunek 11. Średnia zawartość azotu (% s.m.) w roślinach melisy lekarskiej w zależności od dawki nawożenia azotem N (g·wazon⁻¹)

Nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości azotu w roślinach melisy lekarskiej nawożonej zróżnicowaną dawką tego pierwiastka. Średnia zawartość N we wszystkich kombinacjach wynosiła 0,99% sm. Przy najwyższej stosowanej dawce N (1,68 g·wazon⁻¹) otrzymano 0,97% N. Być może na zaistniałe zjawisko ma wpływ „efekt rozcieńczenia”

związany z uzyskiwanymi plonami. Jak wykazano wcześniej, przeszło dwukrotnie wyższe plonowanie ziela stwierdzono przy najwyższej stosowanej dawce azotu w porównaniu z kontrolą.

Zamierzonym celem prowadzonych badań empirycznych była próba odniesienia otrzymanych wyników do spotykanych w uprawach produkcyjnych dawek nawozów azotowych, nie w sensie bezpośrednim, tylko rozpatrzenie ewentualnych możliwości ograniczenia nakładów materiałowych związanych z wydatkowanym N, bez konsekwencji związanych ze zmniejszonym plonowaniem. Stąd, dobrane poziomy miały być przełożeniem dla następujących dawek N, w kolejności rosnącej 75, 100, 125, i 150 kg·ha⁻¹. Mimo, iż otrzymano jednoznaczne potwierdzenie statystyczne związane z uzyskiwanymi plonami, to z analizy struktury plonu wynika, że głównie łodygi o nikłym znaczeniu farmaceutycznym, a nie liście przyczyniają się do tego faktu. Abbaszadeh i in. (2009) stosując nawozy azotowe w dawkach: 60, 90, 120, 150 i 180 kg·ha⁻¹ odnotowali największe plony melisy lekarskiej dla dawek 60 i 90 kg·ha⁻¹. Aziz i El-Ashry (2009) testując działanie różnych, wolno działających nawozów azotowych opartych na bazie mocznika, zauważyli szczególnie korzystny efekt plonotwórczy przy zastosowaniu dodatku siarki. Nurzyńska-Wierdak i Zawiaślak (2015) prowadząc doświadczenie w tunelu foliowym z wykorzystaniem podstawowej dawki N w ilości 80 kg·ha⁻¹ i 100 K₂O kg·ha⁻¹ oraz trzykrotnych w okresie wegetacji oprysków 0,5-procentowym roztworem mocznika, nie stwierdziły wzrostu plonowania badanych roślin.

Średnią zawartość olejku eterycznego uzyskaną z poszczególnych wariantów doświadczenia przedstawiono na rys. 12.



Rysunek 12. Średnia zawartość olejku eterycznego (ml·100g⁻¹) w melisie lekarskiej w zależności od dawki nawożenia azotem N (g·wazon⁻¹)

Nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości olejku eterycznego pomiędzy roślinami nawożonymi zróżnicowaną dawką azotu. W każdym wariancie zawartość olejków mieściła się w zakresie wymagań normatywnych (PN-82/R-87011). Średnia zawartość olejku eterycznego w melisie lekarskiej wynosiła 0,08 ml·100g⁻¹. Uzyskane wartości są zgodne

z otrzymanymi wynikami Patora i in. (2003) dla suszonych liści melisy lekarskiej uprawianej w Polsce, które mieściły się w zakresie 0,085-0,233 ml·100g⁻¹.

5.2. Charakterystyka badanych gospodarstw

Charakterystyka gospodarstw uprawiających miętę pieprzową

Powierzchnię użytków rolnych, gruntów ornych i uprawy mięty pieprzowej w gospodarstwach z wydzielonymi technologiami uprawy przedstawia tab. 11.

Tabela 11.

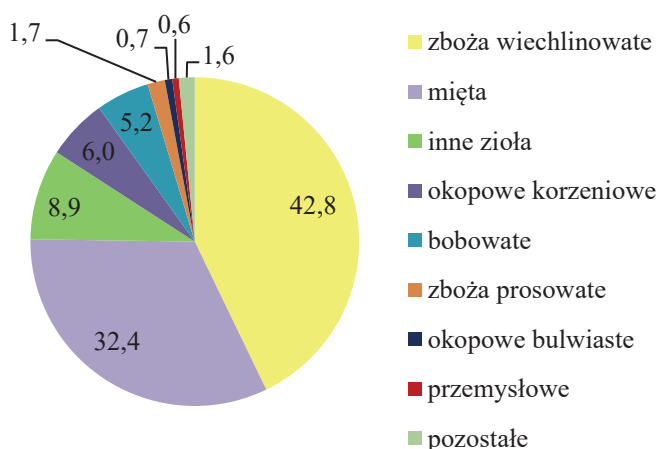
Charakterystyka obszarowa gospodarstw w badanych technologiach uprawy mięty pieprzowej (ha)

Powierzchnia	Rozsadnik z sadzonek nadziemnych	Rozsadnik z sadzonek podziemnych
Użytków rolnych	262,8	267,5
Gruntów ornych	234,4	238,5
Mięty pieprzowej	75,9	62,5

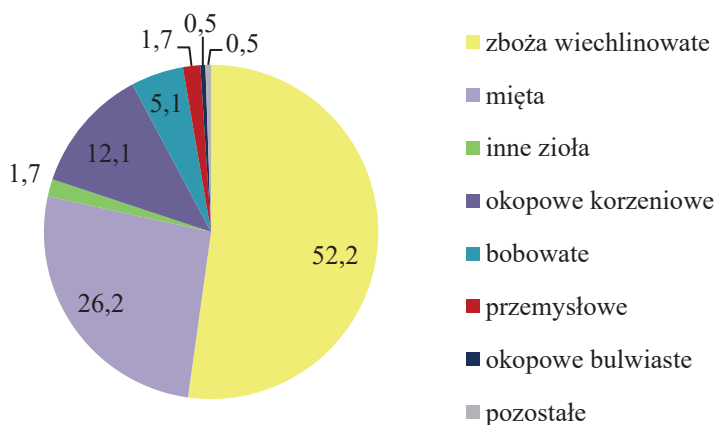
W obydwu technologiach badanych upraw odnotowano zbliżoną powierzchnię zarówno gruntów ornych, jak i areal uprawy mięty pieprzowej. Mając na uwadze, że rośliny zielarskie nie są powszechne w gospodarstwach rolnych i nie we wszystkich gospodarstwach stosowane są analizowane technologie, przytoczone należy uznać za reprezentacyjne.

Struktura zasiewów w gospodarstwach realizujących odmienne technologie uprawy mięty pieprzowej została przedstawiona na rys. 13 i 14.

W obydwu wydzielonych grupach gospodarstw w uprawach dominowały rośliny zbożowe, wiechlinowate zajmując 52,2% powierzchni gruntów ornych w technologii sadzonek podziemnych i 42,8% w technologii sadzonek nadziemnych. Fakt dominującej roli zbóż zarówno w Polsce, jak i na świecie, jest powszechnie znany. Niemniej wg GUS (2018) w roku 2017 w Polsce zboża, nazywane tu podstawowymi, zajmowały 56,4% całkowitej powierzchni zasiewów, co wskazuje, że badane gospodarstwa charakteryzowały się nieco niższym od średniej krajowej udziałem tej (z przyrodniczego punktu widzenia niepożądaney) grupy roślin. W obydwu grupach na drugim miejscu w strukturze zasiewów uplasowała się mięta pieprzowa stanowiąc 32,4% w gospodarstwach wykorzystujących sadzonki nadziemne i 26,2% sadzonki rozłogowe. Ponadto w technologii sadzonek zielnych odnotowano również znaczny udział innych roślin zielarskich 8,9%, natomiast sadzonek rozłogowych tylko 1,7%. W gospodarstwach rozpowszechniona była uprawa roślin okopowych korzeniowych, stanowiąc odpowiednio 6 i 12,1%.



Rysunek 13. Struktura zasiewów w gospodarstwach wykorzystujących sadzonki nadziemne (%)



Rysunek 14. Struktura zasiewów w gospodarstwach wykorzystujących sadzonki podziemne (%)

Odnotowano bardzo małą powierzchnię upraw zbożowych prosowatych reprezentowanych tu przez kukurydzę, powierzchnie uprawy tego gatunku występowały tylko w technologii sadzonek zielnych gdzie zajmowały 1,7%, co znacznie odbiega od średniej krajowej. Wg GUS (2018) łączne zasiewy kukurydzy na ziarno i zielonkę w 2017 roku zajmowały 10,7% ogólnej powierzchni zasiewów i gatunek ten uważany jest za najbardziej dynamicz-

ny jeśli chodzi o wzrost powierzchni upraw w ostatnich latach (Gach i in., 2011). W Polsce największą grupę upraw po roślinach zbożowych stanowią rośliny przemysłowe 11,1% (GUS, 2018) na czele z rzepakiem ozimym. W badanych gospodarstwach rośliny przemysłowe, z wyłączeniem zielarskich w strukturze zasiewów zajmowały niewielki areał, stanowiąc dla technologii z sadzonkami zielnymi zaledwie 0,6% natomiast z sadzonkami rozłogowymi 1,7%. Znaczny udział powierzchni w kategorii „pozostałe” dla technologii sadzonek nadziemnych dotyczy zarówno ogrodów przydomowych, warzywników jak i nieużytków.

W opracowaniach dotyczących efektywności produkcji rolnej podkreśla się rolę wieku i wykształcenia producentów rolnych jako czynnika stymulującego wzrost efektywności (Kowalski i in., 2002; Michałek, 2004). Przyjmowane jest założenie, że poziom wykształcenia powinien odpowiednio do jego stopnia wpływać na efektywność gospodarowania, stąd w tab. 12 i 13 podano dane dotyczące wieku i poziomu wykształcenia plantatorów mięty pieprzowej.

Tabela 12.

Wiek oraz płeć producentów mięty pieprzowej w analizowanych technologiach uprawy

Płeć i przedział wiekowy	Rozsadnik z sadzonek nadziemnych		Rozsadnik z sadzonek podziemnych	
	liczbowo	(%)	liczbowo	(%)
Kobiety pomiędzy 18-44	3	25	0	0
Kobiety pomiędzy 45-59	1	8,3	0	0
Kobiety 60 i powyżej	0	0	0	0
Mężczyźni pomiędzy 18-44	4	33,3	2	20
Mężczyźni pomiędzy 45- 64	3	25	7	70
Mężczyźni 65 i powyżej	1	8	1	10

Z przedstawionych w tab. 12 danych wynika, że właściciele gospodarstw realizujących technologię uprawy wykorzystującą do zakładania rozsadnika sadzonki nadziemne należą do grupy ludzi młodszych, w tym około 1/3 stanowią kobiety.

W analizowanej zbiorowości plantatorów mięty pieprzowej gdzie do zakładania rozsadnika wykorzystywano sadzonki zielne przeważały osoby z wykształceniem średnim, stanowiąc 66,7% tej grupy, nie odnotowano osób z wykształceniem podstawowym, a wyższe posiadało 16,7% ankietowanych. Natomiast w przypadku technologii sadzonek podziemnych po 30% respondentów legitymowało się wykształceniem podstawowym, zawodowym i średnim.

Tabela 13.

Poziom wykształcenia właścicieli gospodarstw uprawiających miętę pieprzową w zróżnicowanych technologiach

Wykształcenie	Rozsadnik z sadzonek nadziemnych		Rozsadnik z sadzonek podziemnych	
	liczbowo	(%)	liczbowo	(%)
podstawowe	0	0	3	30
zawodowe	2	16,7	3	30
średnie	8	66,7	3	30
wyższe	2	16,7	1	10

Wyniki dotyczące areалу użytków rolnych, gruntów ornych i trzech grup producentów według wielkości powierzchni uprawy miętę pieprzową zamieszczono w tab. 14, natomiast wyniki dotyczące udziału miętę pieprzową w strukturze zasiewów przedstawiono na rys 15, 16 i 17.

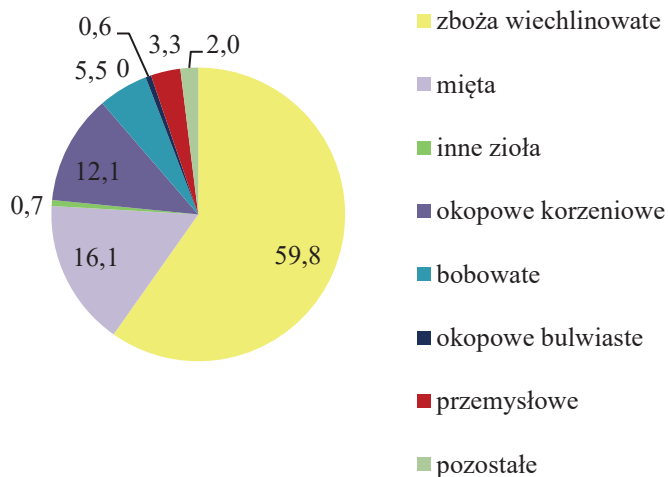
Tabela 14.

Charakterystyka obszarowa gospodarstw w wydzielonych grupach powierzchniowych uprawy ziół (ha)

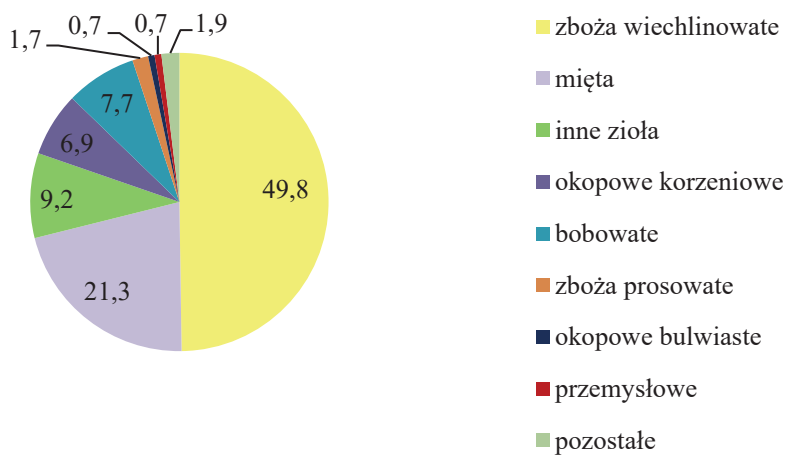
Powierzchnia	Powierzchnia zajęta uprawą ziół		
	1-3 ha	4-9 ha	10≤ ha
Użytków rolnych	134,5	223,2	235,1
Gruntów ornych	122,7	203,4	204,3
Mięty pieprzowej	19,8	43,4	94

Jak wykazano w tab. 14 badania energochłonności uprawy miętę pieprzową prowadzono w gospodarstwach gdzie areal użytków ornych stanowił wg wzrastającej powierzchni uprawy ziół odpowiednio 134,5 ha, 223,2 ha oraz 235,1 ha, natomiast areal uprawy miętę pieprzowej w wydzielonych grupach 19,8 ha, 43,4 ha i 94 ha.

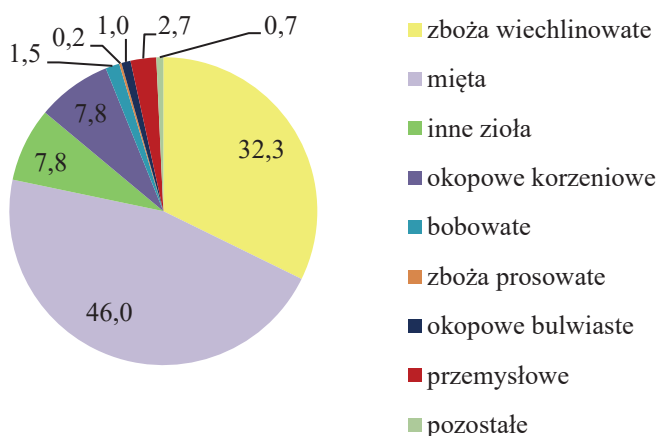
Analizując strukturę zasiewów w wyróżnionych grupach gospodarstw o powierzchni uprawy ziół 1-3 ha oraz 4-9 ha dominujący udział miały rośliny zbożowe wiechlinowate, stanowiąc odpowiednio 59,8 i 49,8%. W grupie gospodarstw gdzie powierzchnia ziół była ponad 10 ha, udział gatunków zbóż wiechlinowatych nie przekraczał 32,3%. Tym samym, konsekwencją wzrostu powierzchni uprawy ziół w gospodarstwach było zmniejszanie arealu zasiewów roślin zbożowych wiechlinowatych, czasami nazywanych podstawowymi, natomiast udział pozostałych grup roślin był na zbliżonym poziomie. Wyjątek stanowiła większa powierzchnia uprawy roślin okopowych korzeniowych w grupie powierzchniowej ziół 1-3 ha, w strukturze zasiewów ich udział stanowił ponad 12%. Natomiast całkowity areal ziół, łącznie z miętą pieprzową w wydzielonych trzech grupach powierzchniowych gospodarstw wynosił odpowiednio: 16,8%, 30,5% , 53,8% powierzchni gruntów ornych.



Rysunek 15. Struktura zasiewów poszczególnych upraw w ogólnej powierzchni gruntów ornych w grupie gospodarstw gdzie ziola zajmują areal 1-3 hektarów



Rysunek 16. Struktura zasiewów poszczególnych upraw w ogólnej powierzchni gruntów ornych w grupie gospodarstw gdzie ziola zajmują areal 4-9 hektarów



Rysunek 17. Struktura zasiewów poszczególnych upraw w ogólnej powierzchni gruntów ornych w grupie gospodarstw gdzie zioła zajmują areal co najmniej 10 hektarów

W tab. 15 przedstawiono strukturę wiekową, natomiast w tab. 16 poziom wykształcenia plantatorów mięty pieprzowej w poszczególnych grupach gospodarstw.

Tabela 15.

Wiek oraz płeć producentów mięty pieprzowej w wydzielonych grupach powierzchniowych uprawy ziół

Płeć i przedział wiekowy	1-3 ha		4-9 ha		10≤ ha	
	liczbowo	(%)	liczbowo	(%)	liczbowo	(%)
Kobiety pomiędzy 18-44	1	11,1	2	22,2	1	12,5
Kobiety pomiędzy 45-59	0	0	0	0	1	12,5
Kobiety 60 i powyżej	0	0	0	0	0	0
Mężczyźni pomiędzy 18-44	1	11,1	4	44,4	2	25
Mężczyźni pomiędzy 45- 64	6	66,7	3	33,3	2	25
Mężczyźni 65 i powyżej	1	11,1	0	0	2	25

W przebadanej zbiorowości rolników (tab. 16), w gospodarstwach gdzie zioła były uprawiane na areale od 4-9 ha przeważały osoby z wykształceniem średnim (88,9%), natomiast w gospodarstwach gdzie zioła uprawiane były na co najmniej 10 ha, najczęściej producentów ziół miało wykształcenie zawodowe (62,5%). W grupie producentów ziół znaczący był udział kobiet w wieku 18-44 lat.

Tabela 16.

Poziom wykształcenia właścicieli gospodarstw w wydzielonych grupach powierzchniowych uprawy ziół

Wykształcenie	1-3 ha		4-9 ha		10≤ ha	
	liczbowo	(%)	liczbowo	(%)	liczbowo	(%)
podstawowe	2	25	0	0	1	12,5
zawodowe	3	37,5	0	0	5	62,5
średnie	3	37,5	8	88,9	1	12,5
wyższe	1	12,5	1	11,1	1	12,5

Charakterystyka gospodarstw uprawiających melisę lekarską

Powierzchnia użytków rolnych, gruntów ornych i uprawy melisy lekarskiej w gospodarstwach realizujących wyszczególnione w niniejszym opracowaniu technologie uprawy została przedstawiona w tab. 17.

Tabela 17.

Charakterystyka obszarowa gospodarstw w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej (ha)

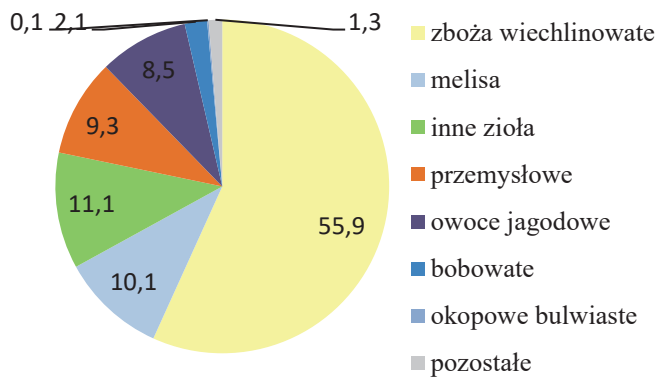
Powierzchnia	Uprawa z nasion	Uprawa z sadzonek
Użytków rolnych	119,2	292,5
Gruntów ornych	117,3	264,3
Melisy lekarskiej	11,8	29,8

Badaniami objęto powierzchnię użytków rolnych stanowiącą 411,7 ha, areal uprawy melisy lekarskiej stanowił zaledwie 41,6 ha. Z pozoru liczba ta wydaje się niewielka, ale należy sobie uświadomić skalę produkcji rolnej tego gatunku. Według Seidler-Łożykowskiej i in. (2015) melisa lekarska w naszym kraju uprawiana jest na 5000 ha. Areal uprawy objęty badaniami stanowił 0,83% całej powierzchni uprawy w Polsce. Należy zwrócić uwagę, że melisa lekarska nie jest gatunkiem łatwym w uprawie, zwłaszcza ze względu na skłonność uszkodzonych liści do ciemnienia, a tym samym pogorszenia ich jakości (rys. 18) co sprawia, że nie jest spotykana w gospodarstwach na tak dużych powierzchniach, jak chociażby mięta pieprzowa.

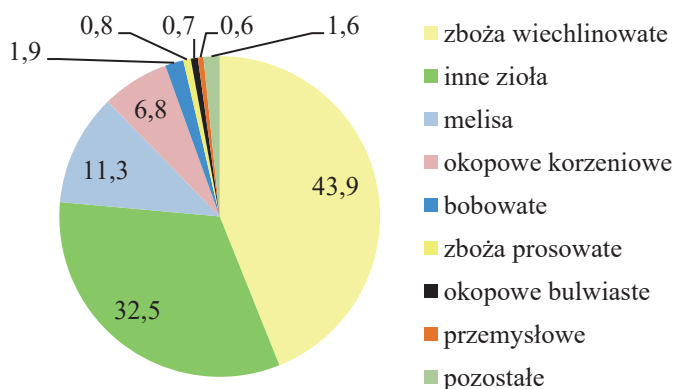
Strukturę zasiewów w badanych grupach gospodarstw realizujących odmienną technologię uprawy przedstawiono na rys. 19 i 20.



Rysunek 18. Ciemnienie liści melisy lekarskiej



Rysunek 19. Struktura zasiewów w gospodarstwach uprawiających melisę lekarską bezpośrednio z siewu nasion do gruntu (%)



Rysunek 20. Struktura zasiewów w gospodarstwach uprawiających melisę lekarską z rozsady (%)

W obydwu badanych grupach gospodarstw w strukturze zasiewów dominującą rolę miały rośliny zbożowe wiechlinowate, 55,9% powierzchni gruntów ornych w technologii bezpośredniego siewu nasion do gruntu oraz 43,9% w technologii, gdzie do zakładania plantacji wykorzystywano rozsadę. Na drugim miejscu w strukturze zasiewów uplasowały się inne zioła. Podobnie jak w przypadku mięty pieprzowej odnotowano mały udział zbóż prosowatych, w praktyce produkcyjnej reprezentowanych zwłaszcza przez kukurydzę. W grupie gospodarstw praktykujących siew nasion do gruntu kukurydza nie występowała w ogóle, natomiast w drugiej technologii stanowiła tylko 0,8%. Niewielki był również udział roślin okopowych. W gospodarstwach z technologią siewu nasion bezpośrednio do gruntu nie uprawiano okopowych korzeniowych, a okopowe bulwiaste stanowiły tylko 0,1%. W gospodarstwach gdzie stosowano technologię uprawy melisy z rozsady, średni udział okopowych korzeniowych wynosił 6,8%, natomiast okopowych bulwiastych 0,7%. Ujmując rośliny zielarskie, udział pozostałych roślin przemysłowych był niższy od średniej krajowej (GUS, 2018), zwłaszcza gospodarstwa wykorzystujące rozsadę, w niewielkim stopniu zajmowały się uprawą takich roślin (0,6%), wyższy udział rzepaku obserwowano w gospodarstwach stosujących siew nasion melisy bezpośrednio do gruntu (9,3%). W tej grupie z udziałem 8,5% wystąpiły jeszcze owoce jagodowe.

Analogicznie jak w przypadku mięty pieprzowej, analizie poddano poziom wykształcenia, wiek oraz płeć plantatorów melisy lekarskiej. Otrzymane dane przedstawiono w tab. 18 i 19.

Z przedstawionych w tab. 18 danych wynika, że właściciele gospodarstw realizujących technologię uprawy melisy lekarskiej bezpośrednio z nasion należeli do grupy ludzi młodych i w zdecydowanej przewadze byli to mężczyźni. Większy udział kobiet (25%), w dodatku młodych, obserwowano w grupie gospodarstw gdzie wytwarzano rozsadę we własnych tunelach foliowych, a następnie służyła ona do zakładania nowych upraw. W tej grupie plantatorów spotykano mężczyzn z każdego przedziału wiekowego.

Tabela 18.

Wiek oraz płeć producentów melisy lekarskiej w analizowanych technologiach uprawy

Płeć i przedział wiekowy	Uprawa z nasion		Uprawa z rozsady	
	liczbowo	(%)	liczbowo	(%)
Kobiety pomiędzy 18-44	1	12,5	3	25
Kobiety pomiędzy 45-59	0	0	0	0
Kobiety 60 i powyżej	0	0	0	0
Mężczyźni pomiędzy 18-44	5	62,5	4	33,3
Mężczyźni pomiędzy 45- 64	0	0	4	33,3
Mężczyźni 65 i powyżej	2	25	1	8,3

Tabela 19.

Poziom wykształcenia właścicieli gospodarstw uprawiających melisę lekarską

Wykształcenie	Uprawa z nasion		Uprawa z rozsady	
	liczbowo	(%)	liczbowo	(%)
Podstawowe	0	0	1	8,3
Zawodowe	2	25	3	25
Średnie	4	50	6	50
Wyższe	2	25	2	16,7

W obydwu grupach 50% plantatorów melisy lekarskiej miało wykształcenie średnie i odnotowano udział osób z wykształceniem wyższym. W grupie producentów gdzie do zakładania plantacji używano nasion, nie występowały osoby z wykształceniem podstawowym.

5.3. Wyposażenie techniczne badanych gospodarstw rolnych

Park maszynowy gospodarstw uprawiających miętę pieprzową

Aktualny stan i rozwój upraw zielarskich w Polsce, a także ich konkurencyjność wobec tych, które zajmują się uprawami tradycyjnych gatunków roślin rolniczych, jest nierozdzielnie związany z właściwym wyposażeniem gospodarstw w środki techniczne. W strukturze parku maszynowego każdego gospodarstwa, a szczególne w dziale produkcji roślinnej, kluczowe znaczenie ma mechaniczna siła pociągowa. Energooszczędne technologie produkcji muszą opierać się na właściwym jej doborze i zestawieniu maszyn współpracujących. Zarówno zastosowanie ciągnika o zbyt małej, jak i zbyt dużej mocy, w stosunku do wykorzystywanej maszyny prowadzi do nadmiernego zużycia paliwa. W pierwszym przy-

padku dochodzi do przeciążenia silnika ciągnika, zachwiania równowagi i nadmiernych poślizgów oraz znacznego obniżenia wydajności pracy. Z kolei dobór ciągnika dysponującego zbyt dużą mocą w stosunku do maszyny współpracującej decyduje o nadmiernym zużyciu paliwa wynikającym z niskiego wykorzystania mocy nominalnej silnika.

Dla badanych gospodarstw zajmujących się uprawą mięty pieprzowej w tabeli 20 przedstawiono strukturę i charakterystykę parku maszynowego w zależności od stosowanej technologii zakładania rozsadnika, natomiast w tabeli 22 w grupach o zróżnicowanej powierzchni uprawy roślin zielarskich. Wiek ciągników i maszyn rolniczych przedstawiany w tab. 20 i 22 obliczono w stosunku do roku 2018. Dopelnieniem charakterystyki parku maszynowego jest struktura ciągników w badanych gospodarstwach wg klasyfikacji Systemu Maszyn Rolniczych przedstawiona w tabelach 21 i 23.

Tabela 20.

Charakterystyka i struktura parku maszynowego w gospodarstwach realizujących różne technologie uprawy mięty pieprzowej

	Technologia uprawy									
	Sadzonki					Rozłogi				
	Wiek (lata)		Sztuk na			Wiek (lata)		Sztuk na		
Wyszczególnienie	Średni	Min	Max	Gospodarstwo	100ha	Średni	Min	Max	Gospodarstwo	100ha
Pługi	18,8	3	32	1,25	7,1	15,5	8	22	1,2	4,5
Brony	15,6	3	33	1,4	6,7	21,8	6	38	1,5	5,6
Agregaty uprawowe	11,4	1	19	0,9	5,2	11,2	3	20	1,0	4,1
Kultywatory	18,0	0	38	0,7	3,8	30,8	23	38	1,0	3,8
Rozsiewacze do nawozów	13,2	2	28	1,1	6,2	16,8	2	38	1,1	4,1
Opryskiwacze	13,1	1	32	1,2	6,7	9,5	3	15	1,0	3,8
Kosiarki rotacyjne	14,6	1	32	1,2	6,7	20,1	6	29	1,1	4,1
Przyczepy	21,1	0	51	1,6	9,0	16,1	1	38	1,8	6,8
Maszyny omlotowe	32,3	22	48	0,9	5,2	34,8	19	48	1,2	4,5
Silniki	12,4	5	21	0,75	4,3	12,5	1	48	1,1	4,1
Kombajny zbożowe	25,0	25	25	0,1	0,5	24,3	2	47	0,9	3,4
Maszyny i urządzenia do obróbki pozbiorczej ziół	22,7	0	48	0,8	4,8	12,0	10	16	0,3	1,1
Rozrzutniki obornika	28,2	24	33	0,5	2,9	21,4	6	29	0,7	2,6
Ładowacze	-	-	-	-	-	13,0	0	21	0,4	1,5
Prasy kostkujące	20,0	20	20	0,1	0,5	18,2	0	27	0,6	2,3

Wyszczególnienie	Technologia uprawy									
	Sadzonki					Rozłogi				
	Wiek (lata)		Sztuk na			Wiek (lata)		Sztuk na		
	Średni	Min	Max	Gospodarstwo	100ha	Średni	Min	Max	Gospodarstwo	100ha
Sadzarki	12,6	2	26	1,5	8,6	15,0	1	31	0,9	3,4
Siewniki	30,0	30	30	0,25	1,4	12,6	7	23	0,9	3,4
Pielniki, wieloraki, opielacze	8,0	6	10	0,3	1,0	24,8	0	38	0,4	1,5
Kopaczki	23,2	10	35	1	5,7	28,7	21	35	1,0	3,8
Wały	14,9	1	48	0,6	3,3	17	13	21	0,3	1,1
Przetrzęsacze i zagrabiarki	29	28	30	0,25	1,0	28	28	28	0,1	0,4
Ciągniki	22,3	1	38	2,7	14,3	19,9	5	38	2,9	10,9

Tabela 21.

Struktura ciągników wg SMR w gospodarstwach realizujących różną technologię uprawy mięty pieprzowej

KL (kN)	(kW)	Technologia produkcji					
		Sadzonki			Rozłogi		
		Szt. · gosp. ⁻¹	kW · 100ha ⁻¹ UR	Szt. · 100 ha ⁻¹ UR	Szt. · gosp. ⁻¹	kW · 100ha ⁻¹ UR	Szt. · 100 ha ⁻¹ UR
6	<30	0,5	72,0	2,9	0,4	32,2	1,5
9	31-50	0,8	169,8	4,8	1,3	189,2	4,9
14 i powyż.	>50	1,2	433,6	6,7	1,2	392,7	4,5
Ciągniki razem		2,5	675,4	14,4	2,9	614,1	10,9

Charakterystyka i struktura parku maszynowego gospodarstw wg arealu uprawy ziół

Powierzchnia uprawy ziół w gospodarstwie															
	I grupa			II grupa			III grupa								
	Wiek [lata]	Szuka na	Wiek [lata]	Szuka na	Wiek [lata]	Szuka na	Wiek [lata]	Szuka na							
Wyszczególnienie	Sredni	Min	Max	Gospodarstwo	100ha	Sredni	Min	Max	Gospodarstwo	100ha	Sredni	Min	Max	Gospodarstwo	100 ha
Plugi	21,7	9	30	1,1	7,4	17,6	3	30	1,25	4,7	17,4	5	34	1,7	6,1
Brony	23,7	7	38	1,2	8,2	16,9	5	5	1,8	5,2	15,2	2	38	1,9	6,1
Agregaty uprawowe	13,3	9	20	0,8	5,2	13,1	7	19	1,0	3,8	10,5	1	20	1,2	4,5
Kultywatory	26,0	0	38	0,9	5,2	26,8	7	38	0,75	2,8	24,2	8	38	0,7	2,4
Rozsiewacze do nawozów	19,9	6	38	1,1	7,4	14,6	2	28	1,1	4,3	13,6	2	32	1,1	4,0
Opryskiwacze	11,9	2	23	1,0	6,7	10,1	1	27	1,1	4,3	13,4	3	32	1,1	4,0
Kosiarki rotacyjne	19,5	3	30	1,3	8,9	14,7	1	28	1,0	3,8	15,8	1	32	1,3	4,9
Przyczepy	16,8	0	38	1,1	7,4	25,0	2	51	1,6	6,1	17,0	1	47	2,3	8,5
Maszyny omiotowe	34,1	21	48	0,9	5,9	40,0	31	48	0,9	3,3	30,5	12	48	1,2	4,5
Silniki	12,1	3	48	0,9	5,9	13,9	1	21	0,9	3,3	13,2	1	21	1,0	3,6
Kombajny zbozowe	34,2	28	47	0,4	3,0	20,0	15	25	0,25	0,9	21,6	2	41	0,6	2,0
Maszyny i urzadzenia do obróbki pozbiorezej ziół	22,0	15	30	0,3	2,2	26,0	0	48	0,6	2,4	15,8	0	43	1,4	5,3
Rozrzutniki obornika	27,5	22	30	0,4	3,0	30,0	28	33	30,4	1,4	22,3	6	32	0,9	3,2
Ladowacze	21,0	21	21	0,1	0,7	-	-	-	-	-	12,0	0	26	0,6	2,0
Prasy kosujace	25,5	24	27	0,3	2,2	20,0	20	20	0,1	0,5	13,3	0	21	0,3	1,2
Sadzarki	13,0	1	26	1,0	6,7	11,3	2	26	1,25	4,7	13,0	4	31	1,4	5,3
Siewniki	13,6	7	30	0,8	5,2	22,3	7	30	0,4	1,4	24,7	18	33	0,4	1,6
Pielniki, wieloraki, opielacze	26,3	6	38	0,4	3,0	-	-	-	-	-	5,0	0	10	0,2	0,8
Kopaczki	26,3	20	35	0,9	5,9	23,0	10	34	1,0	3,8	25,6	7	40	1,1	4,0
Waly	21,0	10	33	0,4	3,0	10,0	2	20	0,5	1,9	25,0	1	48	0,6	2,0
Przetraszacze i zagrabniki	28,0	28	28	0,1	0,7	29,0	28	30	0,25	0,9	-	-	-	-	-
Cianki	23,0	6	33	2,2	14,9	22,6	1	40	3,1	10,4	18,9	2	41	3,0	12,1

Tabela 23.

Struktura ciągników wg SMR w gospodarstwach o zróżnicowanej powierzchni uprawy ziół

		Powierzchnia uprawy								
		I grupa			II grupa			III grupa		
KL (kN)	(kW)	Szt. · gosp ⁻¹	kW · 100ha ⁻¹ UR	Szt. · 100 ha ⁻¹ UR	Szt. · gosp ⁻¹	kW · 100ha ⁻¹ UR	Szt. · 100 ha ⁻¹ UR	Szt. · gosp ⁻¹	kW · 100ha ⁻¹ UR	Szt. · 100 ha ⁻¹ UR
6	<30	0,8	100,1	4,5	0,6	58,2	2,4	0,2	20,3	0,8
9	31-50	1,0	227,7	5,9	1,0	150,7	3,8	1,1	157,0	4,0
14 i powyż.	>50	0,8	343,5	4,5	1,1	302,1	4,3	1,7	439,5	6,1
Ciągniki razem		2,6	671,3	14,9	2,7	511,0	10,5	3,0	616,8	10,9

W analizowanych technologiach uprawy mięty pieprzowej obserwowano porównywalną liczbę ciągników przypadającą na gospodarstwo, 2,7 szt. fizycznej tam, gdzie na rozsadaniku stosowano sadzonki zielne oraz 2,9 szt. fizycznej w gospodarstwach, gdzie wykorzystywano podziemne rozłogi. W obydwu wyodrębnionych grupach gospodarstw występowały ciągniki wszystkich wydzielonych klas. Odnotowano taką samą liczbę ciągników przypadającą na gospodarstwo o najwyższych mocach (1,2) i porównywalną najniższych (odpowiednio 0,5 i 0,4). Więcej ciągników klasy 9 kN występowało w gospodarstwach wykorzystujących podziemne rozłogi jako materiał rozmnożeniowy. Średnia wieku ciągników w gospodarstwach stosujących sadzonki nadziemne była wyższa (22,3 lata) w porównaniu do drugiej analizowanej grupy gospodarstw (19,9). Obserwacje dotyczące wieku ciągników wykorzystywanych w gospodarstwach są zbliżone do przedstawianych w wielu pracach (Tabor i Kmita, 2007; Kowalczyk, 2008; Kowalski i in., 2010). W gospodarstwach realizujących różną technologię uprawy mięty obserwowano podobne wyposażenie zaplecza technicznego. Odnotowano oprócz typowych maszyn i urządzeń charakterystycznych dla większości gospodarstw rolnych zajmujących się produkcją roślinną, typowe wyposażenie gospodarstw warzywniczych, gdzie spotykane są zarówno sadzarki, jak i maszyny do uprawy międzyrzędowej. W grupie gospodarstw gdzie stosowano sadzonki zielne, średnio na jedno gospodarstwo przypadało 1,5 sadzarki, natomiast tam gdzie produkcja mięty pieprzowej oparta była tylko na materiale rozmnożeniowym w postaci rozłogów, występowało średnio 0,9 szt. · gosp⁻¹. W większości przypadków były to sadzarki własnej konstrukcji, bądź kupowane na lokalnych targach. Maszyny i urządzenia do międzyrzędowej, mechanicznej pielęgnacji w uprawach mięty pieprzowej są możliwe do zastosowania tylko na rocznych plantacjach. W późniejszym okresie następuje intensywne wytwarzanie rozłogów, co powoduje, że międzyrzędzia stają się niewidoczne, stąd niewielka ich liczba przypadająca na gospodarstwo, średnio 0,3 szt. w gospodarstwach stosujących sadzonki zielne i 0,4 w gospodarstwach wykorzystujących tylko rozłogi podziemne. W obydwu badanych grupach gospodarstw realizujących odmienny sposób rozmnażania mięty pieprzowej występowały agregaty uprawowe w ilości 0,9 szt. · gosp⁻¹ w gospodarstwach stosujących sadzonki nadziemne i 1 szt. · gosp⁻¹ sadzonki rozłogowe. Obecność agre-

gatów uprawowych wskazuje na stosowanie nowoczesnych, mniej pracochłonnych technologii uprawy roli (Tabor i Szczuka, 2012) w obydwu badanych grupach gospodarstw.

Analizując strukturę parku maszynowego w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w badanym gospodarstwie, stwierdzono zbliżoną liczbę ciągników przypadającą na grupę o najwyższym areale uprawy, średnio około 3 sztuki, natomiast w gospodarstwach gdzie zioła stanowiły 1-3 ha, było to średnio 2,2 szt.gosp.⁻¹. W tej grupie gospodarstw, tym samym o najmniejszej powierzchni UR zauważono, najwięcej ciągników w przeliczeniu na 100 ha UR (14,9 szt.). Wyniki obserwacji są podobne do przedstawianych przez Kocirę i Parafiniuka (2006), którzy w swoich badaniach wskazują na wysoką liczbę ciągników przypadającą na jednostkę powierzchni, w cytowanych badaniach było to 17,49 szt/100ha⁻¹. Jak podają Kuboń (2002) i Kocira (2005) w gospodarstwach o małej powierzchni wykorzystanie roczne ciągników jest na poziomie, odpowiednio 60-75% wykorzystania normatywnego. Ponadto zaobserwowano, że najwięcej ciągników o małych mocach (kl. 6 kN) i średnich (kl. 9 kN) w przeliczeniu na 100 ha UR jest na wyposażeniu gospodarstw o najmniejszym areale uprawy ziół. Konsekwencją tego jest rozkład łącznej średniej wartości mocy zainstalowanej w ciągnikach w poszczególnych grupach, wskazujący na dominującą rolę tej grupy gospodarstw. Badania wielu autorów wskazują na to, że gospodarstwa małe obszarowo są przeinwestowane w środki energetyczne (Tabor, 2006; Szelaż-Sikora, 2011; Kowalski i Kuboń, 2012). Największą liczbę ciągników o mocy (kl. 14 ≤ kN) w przeliczeniu na gospodarstwo i moc zainstalowaną na 100 ha UR odnotowano w gospodarstwach o największych powierzchniach upraw roślin zielarskich, tym samym największych arealach UR, co ma swoje racjonalne uzasadnienie. Takie zależności w powiecie miechowskim obserwowano w pracy Kowalskiego i in. (2010). Według Tabora i in. (2013) w gospodarstwach dobrze wyposażonych w środki techniczne, gdzie moc zainstalowana w ciągnikach rolniczych jest wysoka, możemy się spodziewać uproszczeń produkcji. Średni wiek ciągników w gospodarstwach zajmujących się uprawą mięty pieprzowej był wysoki, analizując odpowiednio, od najmniejszej do największej powierzchni uprawy ziół, 23, 22,6 i 18,9 lat. Pod względem wiekowym, wśród istniejącego parku maszynowego, najmłodszą grupę stanowiły opryskiwacze, co zapewne wynika z obecnie obowiązujących przepisów prawnych dotyczących wymaganej sprawności technicznej i dokumentacji takich badań. Stosunkowo niski średni wiek odnotowano także dla agregatów uprawowych, gdzie zaobserwowano najmłodsze maszyny w grupie gospodarstw uprawiających zioła na największej powierzchni (10,5 lat). Także sadzarki, wykonywane zazwyczaj sposobem gospodarskim, bądź kupowane na pobliskich targach charakteryzowały się, jak na polskie realia, stosunkowo niskim wiekiem. Najstarsze były maszyny omlotowe i w grupie o najmniejszym areale, nieliczne w gospodarstwach kombajny zbożowe. W gospodarstwach spotykane są nawet maszyny omlotowe, które mają blisko pół wieku (48 lat) i ich stan techniczny umożliwia ciągłe użytkowanie. Porównując wiek ciągników i maszyn w poszczególnych grupach gospodarstw, zauważono, że najmłodszy sprzęt występował w większości przypadków w gospodarstwach, gdzie zioła stanowiły największy areal, jednocześnie były to gospodarstwa o największej powierzchni UR. W gospodarstwach objętych analizą obserwowano wraz ze wzrostem powierzchni upraw roślin zielarskich zwiększanie się liczby sztuk maszyn i urządzeń typowych dla produkcji zielarskiej przypadającej na jedno gospodarstwo. I tak odnotowano wzrost udziału różnorodnych maszyn i urządzeń, często gospodarskiej konstrukcji, służących doczyszczaniu, rozdzielaniu, krajaniu, pakowaniu otrzymanego surowca z 0,3 szt.gosp.⁻¹ poprzez 0,6 szt.gosp.⁻¹ do 1,4 szt.gosp.⁻¹ w gospodarstwach gdzie zioła stanowiły 10 i więcej ha. Podobnie, wzrastał średni udział

sadzarek z 1 sztuki przypadającej na gospodarstwo, poprzez 1,25 do 1,4 szt.gosp.⁻¹ w gospodarstwach o największym areale uprawy ziół. Maszyny omłotowe w przeliczeniu na gospodarstwo stanowiły odpowiednio 0,9, 0,9 i 1,2 szt.gosp.⁻¹. Odnotowano także brak maszyn i urządzeń służących do mechanicznej pielęgnacji upraw w grupie gdzie zioła stanowiły 4-9 ha.

Jak wykazano w rozdziale 5.2. gospodarstwa zajmujące się uprawą mięty pieprzowej, w strukturze zasiewów wykazywały jeszcze obecność gatunków należących do innych grup roślin uprawnych. Przeprowadzona analiza wyposażenia w park maszynowy gospodarstw uprawiających miętę pieprzową pozwala stwierdzić, iż jest ono zgodne z ukierunkowaniem produkcji. Pozwala zmechanizować większość prac oraz dotrzymać terminów agrotechnicznych.

Park maszynowy gospodarstw uprawiających melisę lekarską

Analogicznie jak w przypadku gospodarstw uprawiających miętę pieprzową, wykonano analizę struktury parku maszynowego i ciągników (wg klasyfikacji Systemu Maszyn Rolniczych) w gospodarstwach zajmujących się uprawą melisy lekarskiej, a jej wyniki zamieszczono w tab. 24 i 25. Jak wskazuje Krasowicz (2012) gospodarstwo rolne jest zorganizowanym system produkcyjnym, w którym efekt końcowy uzależniony jest od oddziaływania wielu, zróżnicowanych czynników, do których zaliczane jest również wyposażenie w środki techniczne. Odpowiedni poziom wyposażenia technicznego, nowoczesność stosowanych środków technicznych umożliwiają zmniejszenie pracochłonności i uciążliwości wykonywanych czynności i są swoistym wyróżnikiem oceny ekonomicznej gospodarstw (Tabor i in., 2013; Kowalski i Kuboń, 2012).

Trzon zaplecza technicznego każdego gospodarstwa stanowią ciągniki rolnicze jako główne źródło mechanicznej siły pociągowej. Wszystkie gospodarstwa objęte badaniem były wyposażone w ciągniki, jednak nieco wyższą ich liczbę przypadającą na gospodarstwo (2,7 szt. fizycznej) stwierdzono w grupie gospodarstw, gdzie nowe plantacje melisy lekarskiej zakładano z uprzednio przygotowanej rozsady. W tej grupie najliczniej występowały ciągniki klas 9 i 14 kN, które łącznie stanowiły około 85% wyposażenia. Podobne obserwacje dla gospodarstw powiatu miechowskiego graniczącego z analizowanym rejonem uprawy melisy odnośnie wyposażenia w ciągniki przeprowadzili Tabor i Kuboń (2010). Wyższą mocą przeliczeniową na 100 ha UR zainstalowaną w ciągnikach (628,9 kW) charakteryzowały się gospodarstwa w których prowadzono siew nasion bezpośrednio na polu docelowym. Te gospodarstwa wyposażone były liczniej w ciągniki o małych mocach (kl. 6 kN i 9 kN), średnio 0,9 szt. fizycznej na gospodarstwo, co stanowiło 5,9 szt. przeliczeniowych na 100 ha UR, natomiast mniej liczne były ciągniki klasy 14 kN. Występowanie ciągników o małych mocach jest charakterystyczne dla gospodarstw o profilu warzywniczym, które wykorzystywane są do prac pielęgnacyjnych, gdzie stosowane są narzędzia o stosunkowo małych siłach oporu, a rozstawa międzyrzędzi wymaga stosowania wąskich opon (Kowalski [red.], 2012). Należy zwrócić uwagę, że pielęgnacja mechaniczna plantacji melisy lekarskiej jest możliwa i bywa stosowana w praktyce produkcyjnej. Nie zaobserwowano wyraźnego zróżnicowania średniego wieku ciągników pomiędzy wydzielonymi gospodarstwami stosującymi odmienną technologię produkcji. W obydwu technologiach stosowano ciągniki tzw. moralnie zużyte, których średni wiek wynosił, 23,3 i 25,8 lat, a spotykano także ciągniki blisko 40 letnie, których stan techniczny umożliwiał ciągłe ich użytkowanie.

Tabela 24.

Charakterystyka i struktura parku maszynowego gospodarstw uprawiających melisę lekarską

Wyszczególnienie	Technologia produkcji									
	Sadzonki					Nasiona				
	Wiek (lata)		Gospodarstwo	Sztuk na 100ha		Wiek (lata)		Gospodarstwo	Sztuk na 100ha	
	Średni	Min		Max		Średni	Min		Max	
Pługi	20,0	3	34	1,5	0,5	21,3	0	38	1,3	1,1
Brony	17,1	3	38	1,7	0,6	26,4	0	48	1,3	1,1
Agregaty uprawowe	13,5	1	20	1,0	0,3	16,7	0	35	1,5	1,3
Kultywatory	28,7	8	42	0,8	0,3	39,5	28	48	0,8	0,7
Rozsiewacze do nawozów	14,6	2	27	1,1	0,4	22,3	1	48	1,3	1,1
Opryskiwacze	10,6	1	27	1,2	0,4	14,1	1	38	1,0	0,8
Kosiarki rotacyjne	15,6	1	30	1,5	0,5	13,6	1	23	1,0	0,8
Przyczepy	20,3	3	47	1,5	0,5	31,4	10	46	2,9	2,5
Maszyny omłotowe	36,1	19	48	1,1	0,4	44,0	38	48	0,6	0,5
Silniki	26,7	14	48	0,2	0,06	21,9	11	38	1,1	0,9
Kombajny zbożowe	23,3	2	47	0,4	0,1	32,3	24	43	0,4	0,3
Maszyny i urządzenia do obróbki pozbiornej ziół	24,3	0	48	1,3	0,4	21,6	3	48	1,0	0,8
Rozrzutniki obornika	26,8	6	33	0,8	0,3	34,0	34	34	0,1	0,1
Cyklopy, ładowacze melisy	19,0	10	26	0,4	0,1	13,5	1	26	0,3	0,3
Prasy kostkujące	14,7	3	21	0,3	0,1	33,0	24	38	0,5	0,2
Sadzarki	10,6	2	26	1,6	0,5	27,0	23	35	0,5	0,2
Siewniki	26,5	18	33	0,7	0,2	23,4	0	40	2,3	1,9
Pielniki, wieloraki, opielacze	17,6	4	38	0,5	0,2	32,8	22	37	1,1	0,9
Kopaczki	25,5	10	40	1,1	0,4	37,0	30	44	0,6	0,5
Wały (walce)	24,7	1	48	0,9	0,3	0,0	0	0	0,0	0,0
Przetrzaskacze i zagrabarki	16,5	15	18	0,3	0,1	35,0	32	38	0,3	0,3
Ciągniki	23,3	2	40	2,7	0,9	25,8	1	39	2,25	1,9

Tabela 25.

Struktura ciągników wg SMR w gospodarstwach realizujących różną technologię uprawy melisy lekarskiej

KL [kN]	kW	Technologia produkcji					
		Sadzonki			Nasiona		
		Szt. · gosp. ⁻¹	kW · 100ha ⁻¹ UR	Szt. · 100 ha ⁻¹ UR	Szt. · gosp. ⁻¹	kW · 100ha. ⁻¹ UR	Szt. · 100 ha ⁻¹ UR
6	<30	0,4	40,7	1,6	0,9	132,8	5,9
9	31-50	0,9	155,0	3,9	0,9	248,6	5,9
14 i powyż.	>50	1,4	397,9	5,8	0,6	247,5	3,4
Ciągniki razem		2,7	593,6	11,3	2,4	628,9	15,2

W gospodarstwach uprawiających melisę lekarską, analogicznie jak w gospodarstwach gdzie prowadzono plantacje mięty pieprzowej, najmłodszyimi stosowanymi maszynami były: opryskiwacze, agregaty uprawowe, oraz sadzarki przy czym młodsze maszyny spotykano w gospodarstwach realizujących zakładanie plantacji z rozsady. W obydwu badanych technologiach zdecydowanie najstarsze były maszyny omlotowe, które na polskiej wsi są już rzadkością. Obserwowano zróżnicowane ilościowo wyposażenie gospodarstw w zależności od stosowanej technologii uprawy w odniesieniu do siewników, przyczep i pielników. W gospodarstwach realizujących siew nasion bezpośrednio do gruntu występowała ich przewaga. W tych gospodarstwach, oprócz typowych siewników zbożowych, występowały siewniki służące do wysiewu nasion melisy, a wykonywane domowym sposobem, gdzie poszczególne sekcje wysiewające stanowiły osadzone na wspólnej ramie ręczne siewniki ze szczoteczkowym mechanizmem wysiewającym. Kolejna podstawowa różnica pomiędzy badanymi grupami gospodarstw dotyczyła technologii zbioru. Używane na tym etapie przyczepy samobierające zwiększyły ogólną liczbę przyczep rolniczych występujących w gospodarstwie. Pielniki i wieloraki służące do uprawy międzyrzędowej mogą być z równym powodzeniem stosowane w obydwu technologiach uprawy. Jednak należy zaznaczyć, że nasiona melisy do gruntu wysiewane są około miesiąc wcześniej, niż wysadzana rozsadą, a to wydłuża czas przebywania roślin na polu produkcyjnym, co sprzyja zachwaszczeniu upraw. Przy niewielkich możliwościach zastosowania herbicydów na plantacjach melisy, pozostaje tylko walka mechaniczna z chwastami, stąd obserwowana w wyposażeniu gospodarstw przeszło dwukrotnie wyższa liczba tych maszyn przypadająca na gospodarstwo i czterokrotnie na 100 ha UR.

5.4. Energochłonność skumulowana upraw badanych gatunków ziół

5.4.1. Energochłonność rozsadnika mięty pieprzowej

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. W większości przypadków rozsadniki mięty były właściwie pielęgnowane przez cały sezon wegetacji i pozostawały bez koszenia do kolejnego roku, gdzie służyły do zakładania plantacji właściwej. Nieliczne gospodarstwa, w obydwu technologiach, prowadziły jednak jednokrotne koszenie, niekiedy wykorzystując w ten sposób pozyskany surowiec, innym razem był on pozostawiany na rozsadniku. Średnie wartości faktycznie ponoszonych skumulowanych nakładów energetycznych w badanych gospodarstwach przedstawiono w tab. 26. Aby ujednolicić podstawę porównań rozpatrywanych technologii, tym samym wyeliminować ryzyko popełnienia błędu związanego ze sporadycznym występowaniem ponadplanowych zabiegów, z prowadzonej analizy usunięto wszelkie czynności związane z wykonywanym zbiorem (jeśli taki miał miejsce) i ten wariant stał się fundamentem prowadzonych badań. Wyniki tak wykonanej analizy przedstawiono w tab. 27.

Wykonując jednoczynnikową analizę wariancji dla poszczególnych składowych energii skumulowanej stwierdzono tylko istotne różnice pomiędzy rozpatrywanymi technologiami w strumieniu pracy. Niższe nakłady pracy ponoszone były przy zakładaniu rozsadnika z rozłogów podziemnych i wynosiły średnio $1952 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ten strumień energii w odniesieniu do poszczególnych lat prowadzenia plantacji poddano szczegółowej analizie w rozdziale 5.5. Przeprowadzona analiza energochłonności skumulowanej rozsadnika nie wykazała jednak różnicy pomiędzy analizowanymi technologiami uprawy, średnio na prowadzenie rozsadnika wydatkowano $7476,4 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zauważono, że największe nakłady energii związane były z pracami wykonywanymi przez człowieka, średnio kształtowały się na poziomie $2783,2 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wysokie nakłady energii ponoszone były także w strumieniu materiałów i surowców oraz paliw ich wartości wynosiły odpowiednio $1921,4$ i $1848,0 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. W badaniach Piskiera (2008) dotyczących oceny technologii zakładania plantacji ślazuwca w zależności od stosowanego materiału rozmnożeniowego wykazano różnice w wielkości i strukturze poniesionych nakładów energii. W cytowanych materiałach, najmniejszą energochłonnością odznaczała się technologia gdzie prowadzono rozmnażanie generatywne, a przyczyniły się do tego zdecydowanie mniejsze nakłady materiałowe. W prowadzonych badaniach własnych średnie nakłady na prowadzenie rozsadnika kształtowały się na poziomie $7476,4 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Tabela 26.

Średnie wartości energochłonności skumulowanej ($MJ \cdot ha^{-1}$) w poszczególnych strumieniach energii związanych z prowadzeniem rozsadnika

Strumień energii	Technologia rozsadnik		Średnio
	sadzonki nadziemne	sadzonki rozłogowe podziemne	
Strumień paliw	3731	2174	2952,7
Strumień inwestycji	995	1003	999
Strumień materiałów	1728	2115	1921,4
Strumień pracy	3720	2156	2938,3
Razem	8669	6867	7768,0

Tabela 27.

Średnie wartości energochłonności skumulowanej ($MJ \cdot ha^{-1}$) dla poszczególnych strumieni energii przy założeniu braku zbioru

Strumień energii	Technologia rozsadnik		Średnio
	sadzonki nadziemne	sadzonki rozłogowe podziemne	
Strumień paliw	2174 b	1522 b	1848,0
Strumień inwestycji	907 c	941c	924,0
Strumień materiałów i surowców	1728 b	2115 b	1921,4
Strumień pracy	3615 a	1952 b	2783,2
Razem	8424 a	6529 a	7476,4

*a, b, grupy jednorodne wg testu Tukey'a, $p \leq 0,05$

5.4.2. Strumień pracy żywej i uprzedmiotowionej

Mięta pieprzowa – energochłonność skumulowana w pracy żywej

Panuje powszechne przekonanie, że nakłady pracy jakie ponoszone są w gospodarstwach uprawiających rośliny zielarskie są duże. Jednak zazwyczaj na tym *opinio communis* się kończy i nie są podawane konkretne wartości liczbowe. Zważywszy, że ilość rąk do pracy w rolnictwie w całym świecie wykazuje tendencję spadkową, przewidywania co do zapotrzebowania na robociznę w produkcji ziół są istotne. Określanie nakładów energii ponoszonych na robociznę jest czasami problemem kontrowersyjnym i niekiedy pomijanym. Jednak uznanym poglądem jest rozpatrywanie pracy ludzkiej nie tylko w sensie fizjologicznym, ale z uwzględnieniem różnych form energii niezbędnej do zaspokojenia wszelkich potrzeb życiowych człowieka (Węgrzyn i Zając, 2008). Według tych autorów, pełny

obraz ilości niezbędnych nakładów pracy ludzi uzyskujemy wówczas, kiedy równocześnie wyrażamy je w roboczogodzinach, stąd w tab. 28 przedstawiono nakłady pracy także w ten sposób. Dla pełniejszego obrazu tego rodzaju nakładów, zgodnie z metodologią Eurostatu przedstawiono je także w umownych jednostkach nakładów pracy w rolnictwie, oznaczających ekwiwalent pełnego etatu – AWU (ang. Annual Work Unit). Jednostka ta jest obliczana 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, tzn. 265 dni roboczych po 8 godzin pracy dziennie. Przy obliczaniu nakładów pracy wyrażonych w AWU przyjmuje się, że na 1 osobę nie może przypadać więcej niż 1 AWU, nawet jeżeli w rzeczywistości osoba pracuje dłużej (rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1166/2008).

W tab. 28 przedstawiono wartości nakładów pracy żywej i uprzedmiotowionej ponoszone na wszelakie czynności wykonywane przez człowieka w uprawie mięty pieprzowej w dwóch dominujących w gospodarstwach technologiach uprawy.

Tabela 28.

Średnie nakłady pracy, wyrażone w różnych jednostkach, ponoszone w uprawie mięty pieprzowej ± SD, wariant A – nakłady całkowite, wariant B - z wyłączeniem zbioru i obróbki pozbiorowej na rozsadniku

Lata prowadzenia plantacji	Wariant	Technologia zakładania rozsadnika					
		sadzonki z pędów nadziemnych			sadzonki z rozlogów podziemnych		
		MJ·ha ⁻¹ ± SD	rbh·ha ⁻¹ ± SD	AWU·ha ⁻¹	MJ·ha ⁻¹ ± SD	rbh·ha ⁻¹ ± SD	AWU·ha ⁻¹
Rozsadnik	A	3720 ± 2216 a*	74,40 ± 44,31 a	1,75	2156 ± 1031 a	44,15 ± 22,80 a	1,02
	B	3615 ± 2195 a	72,29 ± 43,91 a	1,71	1952 ± 866 b	39,03 ± 17,32 b	0,92
I rok wegetacji		21203± 5957 b	424,06 ± 119,14 b	10,00	28470 ± 5738 a	569,4 ± 114,76 a	13,43
Łącznie rozsadnik i I rok wegetacji	A	24923 ± 7395 a	498,46± 147,91 a	11,76	30626 ± 6687 a	612,52 ± 136,08 a	14,45
	B	24818 ± 7398 a	496,35 ± 147,96 a	11,71	30422± 8811 a	608,44 ± 131,28 a	14,35
II rok wegetacji		17368 ± 6418 a	347,36 ± 128,02 a	8,19	17648 ± 6004 a	352,96 ± 125,21 a	8,32

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, p=0,05

AWU - ekwiwalent 2120 godzin pracy

Rozsadnik, inaczej matecznik, zakładany jest w gospodarstwach po to, aby wyprodukować zdrowy materiał nasadzeniowy służący do zakładania nowej plantacji w kolejnym roku wegetacji. Zazwyczaj jest utrzymywany w dobrej kondycji poprzez właściwe nawoże-

nie, walkę z chwastami i ewentualnymi chorobami czy też szkodnikami. Jednak w nielicznych gospodarstwach zdarzają się przypadki jednokrotnego koszenia celem uzyskania w ten sposób ziela. W takich gospodarstwach oczywistym jest wzrost nakładów energii ponoszonych z tytułu wykonywanej pracy. Stąd też w tab. 28 w pierwszym wierszu podano średnie wartości faktycznie ponoszonych nakładów energetycznych w poszczególnych grupach gospodarstw, natomiast w drugim nakłady z wyłączeniem czynności związanych z koszeniem, zbiorem i obróbką pozbiorną, aby tym samym ujednolicić podstawę porównań. W takim przypadku przeprowadzając jednoczynnikową analizę wariancji zauważono różnice w nakładach energetycznych związanych z wykonywaną pracą na rozsadniku w wydzielonych grupach gospodarstw. Większe nakłady, średnio $3615 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ były ponoszone w gospodarstwach gdzie do zakładania rozsadnika wykorzystywano sadzonki nadziemne. Należy przypuszczać, że dominujący wpływ na otrzymany wynik miały prace związane z samym zakładaniem rozsadnika, a nie jego pielęgnacji, bowiem w obydwu technologiach wyglądała podobnie, a ewentualne różnice mogą wynikać tylko z odmiennej stanowiska i warunków glebowo-klimatycznych. Z kolei w pierwszym roku po założeniu właściwej plantacji zauważono trend zwiększonych nakładów ponoszonych z tytułu prowadzonych prac w gospodarstwach, gdzie rozsadnik był zakładany z rozłogów podziemnych, ze średnimi wartościami $28470 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zależność ta była potwierdzona statystycznie. Aby wyłonić prace najbardziej energochłonne, niezbędnym było poznanie struktury nakładów energetycznych na poszczególne czynności wykonywane przy uprawie mięty pieprzowej w pierwszym roku wegetacji. Zestawienie otrzymanych wyników w kolejności wzrastających nakładów pracy przedstawiono w tabeli 29.

Tabela 29.

Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy mięty pieprzowej w pierwszym roku wegetacji w zależności od wykonywanej czynności

Czynność	Sadzonki z pędów nadziemnych	Sadzonki z rozłogów podziemnych	Średnie nakłady pracy		
	$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{rbh} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{AWU} \cdot \text{ha}^{-1}$
Pielęgnacja mechaniczna	48	13	34	0,68	0,02
Uprawa roli	73	36	58	1,16	0,03
Zastosowanie pestycydów	64	51	59	1,17	0,03
Nawożenie mineralne	113	142	125	2,49	0,06
Orka	149	100	129	2,59	0,06
Nawożenie naturalne	81	281	461	9,21	0,22
Transport	1346 b	2262 a*	1713	34,25	0,81
Obróbka pozbiorną	2713 b	3819 a	3155	63,10	1,49
Zbiór	4500 b	7306 a	5623	112,45	2,65
Plewienie	6675	6269	6513	130,25	3,07
Sadzenie	5442 b	8192 a	6542	130,84	3,09

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, $p=0,05$

Odnotowano, że największe nakłady na robociznę w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej związane były z sadzeniem roślin, pieleniem oraz zbiorem, co wynika z niskiego stopnia mechanizacji tych czynności. Z pewnością większy wpływ na stwierdzone róż-

nice w wysokości nakładów na ten strumień energii pomiędzy wyodrębnionymi technologiami uprawy, będą mieć te prace, na które nakłady są największe. Mniejsze średnie nakłady pracy żywej i uprzedmiotowionej w gospodarstwach wykorzystujących do zakładania rozsadnika sadzonki nadziemne, w porównaniu do drugiej analizowanej technologii, wydatkowano na sadzenie, zbiór, obróbkę pozbiorną oraz transport. Należy zaznaczyć, że w przypadku stosowania rozsadnika z sadzonek nadziemnych, istnieje możliwość wyboru pożądanego, widocznego fenotypu, tym samym korzystania z wyselekcjonowanych roślin na rozsadniku. Natomiast zakładając rozsadnik z podziemnych rozlogów, trudniej jest dostrzec walory zbliżonych do siebie wyglądem rozlogów. To z kolei generuje większe nakłady pracy przy zakładaniu plantacji towarowej, gdzie często zachodzi potrzeba wybierania pożądanego materiału rozmnożeniowego. Stąd też w wielu gospodarstwach te plantacje zakładane są ręcznie, co praktycznie nie zdarza się przy zakładaniu rozsadnika z sadzonek nadziemnych.

Sumując skumulowane nakłady energetyczne ponoszone na rozsadnik z nakładami wydatkowanymi w pierwszym roku wegetacji i w ten sposób otrzymane wartości poddając analizie statystycznej, sprawdzając obydwa warianty, nie stwierdzono różnic między wydzielonymi technologiami pod tym względem. Można by powiedzieć, że tym samym następuje swoista rekompensacja nakładów pracy ponoszonych w prowadzeniu rozsadnika, z tymi, które są niezbędne w pierwszym roku prowadzenia plantacji. Podobnie, w drugim (i należy przypuszczać) kolejnych latach wegetacji mięty nie ma widocznych różnic pomiędzy wydzielonymi technologiami i na prace wydatkowana jest podobna ilość energii. W tym przypadku otrzymane średnie wartości dla plantacji gdzie rozsadnik zakładany był z sadzonek nadziemnych wyniosły $17368 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast z rozlogów $17648 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Tym samym nie stwierdzono istotnej różnicy w całkowitych nakładach energii pracy ludzkiej na plantacjach mięty pieprzowej w wydzielonych technologiach. Są one widoczne tylko w początkowym okresie istnienia plantacji, co sugeruje indywidualny wybór technologii, w zależności od zasobów siły roboczej w danym okresie czasu i możliwe przesunięcia w tym zakresie.

W związku z tym, że struktura nakładów pracy w drugim roku wegetacji może odzwierciedlać ewentualny potencjał oszczędności zużycia energii na ten cel, przeprowadzono jej analizę, a wyniki zamieszczono w tab. 30.

Jak wynika z danych przedstawionych w tab. 30, największe nakłady energii związanej z wykonywanymi pracami w drugim roku uprawy 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 dostępnej literaturze przedmiotu nie znaleziono danych dotyczących wielkości nakładów energetycznych związanych z wykonywanymi pracami w uprawach mięty pieprzowej ani w Polsce, ani też na świecie, stąd brak materiału do porównań. Według wiedzy autorki są to pierwsze prezentowane dane z tego zakresu, stąd próba konfrontacji z innymi gatunkami spotykanymi w uprawach polowych. Rośliny okopowe uważane są za wysoce wymagające względem nakładów pracy. Z badań Klikockiej (2006) wynika, że nakłady związane z wykonywaną pracą ludzką w uprawach ziemniaka, w zależności od systemu uprawy, kształtują się na poziomie od 5624 – $6120 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Z kolei Gorzelany (2010) podaje nakłady energetyczne na robociznę w produkcji buraków cukrowych w wysokości 1088

MJ·ha⁻¹ przy tradycyjnym sposobie uprawy, wskazując na oszczędności w tym względzie przy technologiach uproszczonych z zastosowaniem mulczu do wartości minimalnej 712 MJ·ha⁻¹.

Tabela 30.

Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy mięty pieprzowej w drugim roku wegetacji w zależności od wykonywanej czynności

Czynność	Średnie nakłady pracy				
	Rozsadnik z sadzonek nadziemnych	Rozsadnik z podziemnych rozłogów	Średnio		
	(MJ·ha ⁻¹)	(MJ·ha ⁻¹)	(MJ·ha ⁻¹)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)
Zastosowanie pestycydów	57	34	46,6	0,9	0,02
Orka	99	23	64,1	1,3	0,03
Pielęgnacja mechaniczna	105	19	65,5	1,3	0,03
Nawożenie mineralne	119	118	118,6	2,4	0,06
Transport	1728	2180	1933,4	38,7	0,91
Obróbka pozbiorna	2725	3635	3138,6	62,8	1,48
Zbiór	4403	6290	5260,5	105,2	2,48
Plewienie	8133	5350	6868,2	137,4	3,24

Analizując i porównując strukturę nakładów energetycznych w grupie roślin zbożowych zauważono, że nakłady związane z wykonywaną pracą są wielokrotnie niższe od tych ponoszonych w uprawie mięty pieprzowej, przykładowo w technologii tradycyjnej uprawy jęczmienia kształtują się na poziomie 793 MJ·ha⁻¹, natomiast w technologii uproszczonej 633 MJ·ha⁻¹ (Klikocka i in., 2012), w konwencjonalnych uprawach pszenicy jest to średnio 1313 MJ·ha⁻¹ (Kuczuk, 2013), a wg Sławińskiego i in. (2008) standardowa technologia uprawy żyta pochłania 407 MJ·ha⁻¹, ale ekologiczna uprawa tego gatunku generuje już niemal dwukrotnie wyższe nakłady (760 MJ·ha⁻¹). Przy uprawie kukurydzy na ziarno należy się liczyć z wydatkowaniem energii na ten cel w wysokości 368 MJ·ha⁻¹, natomiast z przeznaczeniem na kiszonkę 664 MJ·ha⁻¹ (Gorzelany i in., 2011). Energochłonność pracy ludzkiej w konwencjonalnych uprawach gryki kształtuje się na poziomie 305,6 MJ·ha⁻¹, ekologicznych z kolei 584 MJ·ha⁻¹ (Sławiński i in., 2009). Najczęściej uprawiana roślina przemysłowa w Polsce, rzepak przy tradycyjnym sposobie uprawy wymaga nakładów robocizny w wysokości 318 MJ·ha⁻¹, które obniżają się do 148 MJ·ha⁻¹ przy uprawie zerowej (Budzyński i in., 2004).

Jak wykazano na wybranych przykładach, rozmiar nakładów pracy żywej w uprawach mięty pieprzowej jest nieporównywalny do jakichkolwiek innych. Przedstawione dane wskazują na wielokrotnie niższe nakłady robocizny.

Jeśli analizujemy nakłady pracy w AWU, tak na prawdę dowiadujemy się o ilości etatów jakie można by obsadzić przy uprawie 1 ha mięty pieprzowej. Z przedstawionej analizy wynika, że w pierwszym roku wegetacji jest to od 10 do 13 etatów, w zależności od technologii uprawy, natomiast w kolejnych latach 1 ha uprawy zapewnia 8 etatów. Jeśli weźmie się pod uwagę, że rekordzista w jednym gospodarstwie posiadał plantację o powierzchni 22 ha, nawet przy istnieniu dwuletniej i starszej uprawy otrzymujemy bardzo wysokie liczby – 176 etatów.

Wychodząc z założenia, że uprawy zielarskie są bardziej pracochłonne niż inne grupy roślin rolniczych, interesującym zagadnieniem było, czy istnieją różnice w ponoszonych nakładach pracy przy uprawie mięty pieprzowej w zależności od całkowitej powierzchni zajętej uprawą ziół w danym gospodarstwie, tym samym na ile jest możliwe zmniejszenie nakładów pracy, co wydaje się oczywistym przy dużych powierzchniach. Należy nadmienić, iż pozostałe gatunki uprawiano na znacznie mniejszych arealach niż miętę pieprzową. Badane gospodarstwa podzielono na 3 grupy o całościowej powierzchni uprawy ziół od 1-3 ha, 4-9 ha oraz 10 ha i więcej. W tab. 31 przedstawiono uzyskane wyniki.

Tabela 31.

Średnie nakłady pracy w gospodarstwach o zróżnicowanej powierzchni uprawy ziół

Areal uprawy ziół	Lata wegetacji							
	I rok wegetacji				II rok wegetacji			
	MJ·ha ⁻¹ ± SD	rbh·ha ⁻¹ ± SD	V (%)	AWU·ha ⁻¹	MJ·ha ⁻¹ ± SD	rbh·ha ⁻¹ ± SD	V (%)	AWU·ha ⁻¹
1-3 ha	28827±11067 a*	577±221	38	13,60	19836±6438 b	397±129	32	9,36
4-9 ha	21391±6593 a	428±132	31	10,09	16542±6678 b	331±133	40	7,80
4-9 ha**	24005±9976	480±200	42	11,32	21648±16543	433±330	76	10,23
10 ha ≤	21269±4745 a	425±95	22	10,03	15312±4437 b	306±89	29	7,20
Średnio	24700**/23829	494/477	33	11,65/11,24	18932/17230	379/345	46/34	8,93/8,12

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, p=0,05

** w nakładach ujęto gospodarstwo ekologiczne

W badanych gospodarstwach o powierzchni uprawy ziół 4-9 ha znalazło się jedno gospodarstwo prowadzące działalność ekologiczną, z racji na odmienną technologię zakładania plantacji nie było ujmowane we wcześniejszych zestawieniach, stąd ta grupa powierzchniowa podawana jest dwukrotnie; z ujęciem gospodarstwa ekologicznego i bez niego, co oczywiście rzutuje na otrzymane średnie wartości. Zauważono jednak, że w pierwszym roku badań różnice między w ten sposób otrzymanymi średnimi nie są tak duże jak w drugim roku istnienia plantacji, co najprawdopodobniej świadczy o problemie zachwaszczenia plantacji i tym samym roli herbicydów jako czynnika zmniejszającego pracochłonność upraw.

Przeprowadzona analiza wariancji, oddzielnie dla poszczególnych lat uprawy, nie wykazała różnic pomiędzy uzyskanymi wartościami nakładów pracy w poszczególnych grupach gospodarstw. Przyczynę tego stanu rzeczy należy upatrywać w dość dużej rozpiętości wyników w obrębie grupy. Oczywistym jest, że na ten parametr może mieć wpływ wiele czynników, począwszy od stosowanej technologii uprawy, cech siedliskowych (gleba, klimat), agrotechnicznych (dobry przedplon, jakościowy materiał sadzeniakowy, nawożenie, pestycydy, stan mechanizacji) tym samym trudno oczekiwać jednorodnych wyników. Wydaje się, że w przypadku tego typu badań zmienność 22-29% można zaliczyć do małej i tym samym podkreślić, że pewien trend zmniejszania nakładów pracy w gospodarstwach w których uprawa ziół stanowi ponad 10 ha jest widoczny. W tym przypadku, otrzymane średnie wartości nakładów w pierwszym roku założenia plantacji wynoszące 21269 MJ·ha⁻¹ i w drugim 15312 MJ·ha⁻¹ wskazują, że niezwykle trudno jest je zmniejszyć. Z pewnością na taki stan rzeczy mają wpływ ograniczenia stosowania środków chemicznej ochrony w uprawie ziół oraz duże wymagania jakościowe dla tego rodzaju surowca.

W dalszej kolejności przeprowadzono analizę energochłonności pracy ludzkiej w zależności od powierzchni zajętej w gospodarstwie uprawą ziół. Nie obserwowano zróżnicowania pomiędzy wydzielonymi grupami gospodarstw. W zależności, czy ujmowano w analizie jedynie gospodarstwo ekologiczne, czy też nie, obserwowano nieco inne średnie wartości nakładów na poszczególne czynności w badanych grupach, otrzymane średnie przedstawiono oddzielnie, w tab. 32 i 33.

Tabela 32.

Średnie nakłady pracy analizowanych zabiegów i czynności w uprawie mięty pieprzowej w pierwszym roku prowadzenia plantacji w gospodarstwach konwencjonalnych

Czynność	Średnie nakłady pracy		
	(MJ·ha ⁻¹)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)
Pielęgnacja mechaniczna	32	0,64	0,02
Uprawa roli	61	1,22	0,03
Zastosowanie pestycydów	60	1,21	0,03
Nawożenie mineralne	106	2,12	0,05
Orka	145	2,90	0,07
Nawożenie naturalne	145	2,90	0,07
Transport	1527	30,54	0,72
Obróbka pozbiorcza	2950	59,00	1,39
Zbiór	5355	107,10	2,53
Plewienie	6365	127,29	3,00
Sadzenie	7083	141,65	3,34

Tabela 33.

Średnie nakłady pracy analizowanych zabiegów i czynności w uprawie mięty pieprzowej w pierwszym roku prowadzenia plantacji w gospodarstwach mieszanych

Czynność	Średnie nakłady pracy		
	(MJ·ha ⁻¹)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)
Pielęgnacja mechaniczna	76	1,52	0,04
Uprawa roli	61	1,22	0,03
Zastosowanie pestycydów	58	1,16	0,03
Nawożenie mineralne	102	2,04	0,05
Orka	142	2,84	0,07
Nawożenie naturalne	139	2,78	0,07
Transport	1526	30,52	0,72
Obróbka pozbiorna	3072	61,44	1,45
Zbiór	5324	106,48	2,51
Plewienie	6830	136,60	3,22
Sadzenie	7342	146,84	3,46

Analizując zestawione wyniki można stwierdzić, że średnie nakłady pracy w obydwu grupach gospodarstw były podobne. Objęcie analizą także gospodarstwa prowadzonego metodami ekologicznymi spowodowało wzrost nakładów energetycznych na najbardziej energochłonne czynności, czyli sadzenie i plewienie, tym samym można się spodziewać, że zabiegi produkcyjne w gospodarstwach o profilu ekologicznym będą generować jeszcze większe nakłady pracy, co wydaje się być zrozumiałe, zwłaszcza jeśli chodzi o mechaniczne niszczenie chwastów. Sławiński i in. (2009) wykazali wzrost nakładów pracy ludzkiej w zdawałoby się mało energochłonnej uprawie gryki w gospodarstwach ekologicznych w porównaniu do konwencjonalnych z 305,6 do 584 MJ·ha⁻¹. W przeprowadzonych badaniach, w gospodarstwach konwencjonalnych, najbardziej energochłonne było sadzenie, plewienie i zbiór, natomiast w mieszanych, obserwowano nieco większy dysonans pomiędzy plewieniem i sadzeniem a zbiorem, choć były to również prace najbardziej energochłonne.

Melisa lekarska – energochłonność skumulowana w pracy żywej

W tab. 34 przedstawiono wartości nakładów pracy ponoszonych na wszystkie czynności wykonywane przez człowieka w uprawie melisy lekarskiej w wyróżnionych technologiach produkcji, w obydwu latach prowadzenia plantacji.

Tabela 34.

Średnie nakłady pracy ponoszone na 1 ha uprawy melisy lekarskiej wyrażone w różnych jednostkach, w poszczególnych latach prowadzenia plantacji

Lata prowadzenia plantacji	Technologia						Średnia (MJ/rbh/AWU)
	Nasiona			Sadzonki			
	(MJ·ha ⁻¹ ± SD)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)	(MJ·ha ⁻¹ ± SD)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)	
I rok wegetacji	19330±9777 a	386,60	9,12	19024±3490 a	380,48	8,97	19177/383,54/9,05
II rok wegetacji	17994±7043 b	359,88	8,49	17149±6473 b	342,98	8,09	17571/351,43/8,28

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, p=0,05

AWU - ekwiwalent 2120 godzin pracy

Przeprowadzona analiza statystyczna otrzymanych wyników nie wykazała różnic w wielkości nakładów pracy ludzkiej w obydwu latach prowadzenia plantacji pomiędzy stosowanymi technologiami uprawy melisy lekarskiej. Na wszystkie prace wykonywane w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej wydatkowano średnio 19177 MJ·ha⁻¹, co przekłada się na 383,54 rbh·ha⁻¹ i 9,05 AWU·ha⁻¹. W kolejnym roku uprawy było to średnio 17571 MJ·ha⁻¹, 351,43 rbh·ha⁻¹ i 8,28 AWU·ha⁻¹. Tym samym, 1 ha uprawy melisy w pierwszym roku prowadzenia plantacji zapewniałby pełny etat dla 9 osób, natomiast w drugim roku byłoby to 8 osób. W dalszej kolejności przeprowadzono analizę struktury wykonywanych czynności, celem wyłonienia prac najmniej i najbardziej energochłonnych, w kontekście możliwości zmniejszenia nakładów energetycznych wydatkowanych na ten strumień energii. Wyniki tej analizy w pierwszym roku wegetacji przedstawiono w tab. 35.

Zauważono, że w uprawie melisy lekarskiej w pierwszym roku prowadzenia plantacji największe nakłady pracy były ponoszone na ręcznie wykonywaną walkę z chwastami oraz zakładanie plantacji, na te cele średnia energochłonność wynosiła odpowiednio, 8210 i 5746,8 MJ·ha⁻¹. Porównując otrzymane wartości z uzyskanymi w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej, zauważono większą średnią energochłonność prac związanych z pielieniem plantacji. Duże nakłady pracy były ponoszone jeszcze na zbiór, obróbkę pozbiorną oraz transport, było to w podanej kolejności 2942,5 , 2760 oraz 1102,5 MJ·ha⁻¹. Największą energochłonnością w technologii siewu z nasion odznaczały się prace związane z pielieniem plantacji (14500 MJ·ha⁻¹), natomiast tam, gdzie do zakładania plantacji wykorzystywano sadzonki zielne (sadzenie), wartość ta wynosiła 9436 MJ·ha⁻¹. W tej technologii plewienie roślin pochłaniało 3,6 razy mniej energii w porównaniu z drugą rozpatrywaną technologią. Wydaje się, że zjawisko to należy tłumaczyć późniejszym terminem zakładania plantacji, rozsądę z tunelu wysadza się do gruntu w dopiero w maju, natomiast siew nasion wykonywany jest z początkiem kwietnia. Wschody roślin pojawiają się dopiero po 14-24 dniach (Kołodziej, 2010), ponadto, przy niedoborze wody wiosną bywają nieregularne. Tym samym, pole przez dłuższy czas pozostaje całkowicie odkryte, a brak wyrzędowania roślin uniemożliwia stosowanie walki mechanicznej z chwastami. Wydaje się, że sytuację mogłoby poprawić zastosowanie w trakcie zakładania plantacji dodatku nasion gatunków odzna-

czających się szybką zdolnością kiełkowania, które jako rośliny wskaźnikowe wytyczałyby rzędy na plantacji. Można przypuszczać, że przy widocznych rzędach i kolejnej ręcznie wykonywanej pielęgnacji, usunięcie tych zbędnych roślin nie stanowiłoby znacznego nakładu energii. Wykazanie wyższych nakładów pracy związanych z sadzeniem roślin w porównaniu do rozmnażania generatywnego jest logiczne i nie wymaga komentarza. Należy tylko nadmienić, iż do tych prac (sadzenie) zaliczano również wyprodukowanie rozsady w tunelu, wrywanie sadzonek oraz układanie w paletach. We wszystkich rozpatrywanych gospodarstwach w tej technologii stosowano rozsadę rwaną. Obserwowano również różnicę w nakładach pracy związanych ze zbiorem roślin. Nieco niższe nakłady na ten cel ponoszono w technologii siewu nasion. Należy zaznaczyć, że oprócz wielokrotnie podkreślanej w nagłówkach i opisach różnicy związanej ze sposobem zakładania plantacji (nasiona lub rozsada), drugim podstawowym elementem różnicującym te technologie był sposób zbioru i suszenia roślin. W gospodarstwach, gdzie zakładano plantacje z siewu nasion bezpośrednio do gruntu, do zbioru przeschniętych przez jedną dobę roślin wykorzystywano przyczepy samobierające, a suszenie prowadzono pod zadaszeniem. Natomiast w drugiej technologii, ręcznie zgrabywano rośliny na polu, umieszczano na drewnianych stojakach i prowadzono suszenie bezpośrednio na polu uprawy.

Tabela 35.

Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej w pierwszym roku wegetacji w zależności od wykonywanych zabiegów i czynności (w analizie uwzględniono jedno gospodarstwo ekologiczne)

Czynność	Nasiona			Sadzonki			Średnia
	(MJ·ha ⁻¹)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)	(MJ·ha ⁻¹)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)	
Pielęgnacja mechaniczna	75	1,5	0,04	233	4,7	0,11	169,8
Uprawa roli	50	1,0	0,02	61	1,2	0,03	56,8
Zastosowanie pestycydów	88	1,8	0,04	38	0,8	0,02	58,2
Nawożenie mineralne	61	1,2	0,03	100	2,0	0,05	84,1
Orka	103	2,1	0,05	92	1,8	0,04	96,3
Nawożenie naturalne	0	0	0	148	3,0	0,07	88,8
Transport	1188	23,8	0,56	1046	20,9	0,49	1102,5
Obróbka pozbiorna	2725	54,5	1,29	2783	55,7	1,31	2760,0
Zbiór	328 b	6,6	0,15	4685 a	93,7	2,21	2942,5
Siew lub sadzenie	213 b	4,3	0,10	9436 a	188,7	4,45	5746,8
Plewienie	14500 a*	290,0	6,84	4017 b	80,3	1,89	8210,0

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, p=0,05

W związku z tym, iż w przedstawionych badaniach ujęto jedno gospodarstwo prowadzone metodami ekologicznymi, z oczywistych względów różniące się od pozostałych, gdzie stosowano tę samą technologię uprawy melisy lekarskiej, obawiając się wystąpienia nieco odmiennej struktury nakładów pracy, przeprowadzono kolejną analizę z wykluczeniem tego gospodarstwa, a jej rezultaty przedstawiono w tab. 36.

Tabela 36.

Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej w pierwszym roku wegetacji w zależności od wykonywanych zabiegów i czynności w gospodarstwach konwencjonalnych

Czynność	Nasiona			Sadzonki			Średnia
	(MJ·ha ⁻¹)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)	(MJ·ha ⁻¹)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)	
Pielęgnacja mechaniczna	75	1,5	0,04	150	3,0	0,11	118,2
Uprawa roli	50	1,0	0,02	60	1,2	0,03	55,8
Zastosowanie pestycydów	88	1,8	0,04	42	0,8	0,02	61,3
Nawożenie mineralne	61	1,2	0,03	95	1,9	0,05	80,6
Orka	103	2,1	0,05	93	1,9	0,04	97,4
Nawożenie naturalne	0	0	0	157	3,1	0,07	90,8
Transport	1188	23,8	0,56	1073	21,5	0,49	1121,1
Obróbka pozbiorna	2725	54,5	1,29	2491	49,8	1,31	2589,5
Zbiór	328 b	6,6	0,15	3566 a	71,3	2,21	2202,6
Siew lub sadzenie	213 b	4,3	0,10	8553 a	171,1	4,45	5041,3
Plewienie	14500 a*	290,0	6,84	2745 b	54,9	1,89	7694,7

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, p=0,05

Na podstawie przeprowadzonej analizy nakładów pracy w gospodarstwach konwencjonalnych realizujących dwie odmienne technologie uprawy melisy lekarskiej, stwierdzono w większości wydzielonych czynności, mniejsze nakłady pracy (w porównaniu z analizą przedstawioną w tab. 35), co wydaje się być zrozumiałe, ze względu na specyfikę gospodarowania metodami ekologicznymi. Obserwowane znaczne zmniejszenie nakładów prac związanych ze zbiorem roślin spowodowane jest brakiem wykorzystania kosiarki do ścinania roślin w gospodarstwie ekologicznym. W tym gospodarstwie zbiór w pierwszym roku

wegetacji wykonywany był ręcznie za pomocą sierpów. Na zwiększenie wydajności zbioru melisy lekarskiej z wykorzystaniem nożyc do żywopłotów w porównaniu do zbioru ręcznego, jakie ma miejsce w małych gospodarstwach zajmujących się uprawą tego gatunku zwraca uwagę Maśań i Kopta (2016).

Strukturę nakładów pracy w drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej przedstawiono w tab. 37.

Tabela 37.

Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej w drugim roku wegetacji w zależności od wykonywanych zabiegów i czynności (w analizie uwzględniono jedno gospodarstwo ekologiczne)

Czynność	Nasiona			Sadzonki			Średnia
	(MJ·ha ⁻¹)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)	(MJ·ha ⁻¹)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)	
Pielęgnacja mechaniczna	75	1,5	0,04	596	11,9	0,28	387,5
Zastosowanie pestycydów	68	1,4	0,03	32	0,6	0,01	46,2
Nawożenie mineralne	69	1,4	0,03	98	2,0	0,05	86,6
Transport	2281	45,6	1,08	2086	41,7	0,98	2164,2
Obróbka pozbiorcza	4731	94,6	2,24	4300	86,0	2,03	4472,5
Zbiór	644 b	12,9	0,30	6233 a	124,7	2,94	3997,5
Plewienie	10125 a*	202,5	4,78	7075 b	141,5	3,34	8295,0

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, p=0,05

Przeprowadzona analiza nakładów pracy ponoszonych w drugim roku uprawy melisy lekarskiej, wykazała, podobnie jak w pierwszym roku, różnice w wielkości nakładów na poszczególne czynności uprawowe. Podobnie, jak w roku poprzednim, największą energochłonnością charakteryzowały się zabiegi związane z ręczną pielęgnacją plantacji, średnio 8295 MJ·ha⁻¹. Wysoką energochłonnością odznaczały się też prace związane z obróbką pozbiorcza i samym zbiorem roślin i wynosiły one średnio, odpowiednio 4472,5 i 3997,5 MJ·ha⁻¹. Zauważono także, analogicznie jak w pierwszym roku prowadzenia plantacji, zróżnicowanie wysokości nakładów ponoszonych na poszczególne czynności w zależności od stosowanej technologii uprawy. Największe różnice dotyczyły zbioru roślin. Bardziej energooszczędną technologią był zbiór z wykorzystaniem przyczep samozbierających, gdzie średnia energochłonność nakładów pracy wynosiła 644 MJ·ha⁻¹. Wykonano również analizę nakładów pracy żywej i uprzedmiotowionej na poszczególne zabiegi i czynności, eliminując gospodarstwo ekologiczne. Wyniki tak przeprowadzonej analizy zamieszczono w tab. 38.

Tabela 38.

Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej w drugim roku wegetacji w zależności od wykonywanych zabiegów i czynności w gospodarstwach konwencjonalnych

Czynność	Naasiona			Sadzonki			Średnia
	(MJ·ha ⁻¹)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)	(MJ·ha ⁻¹)	(rbh·ha ⁻¹)	(AWU·ha ⁻¹)	
Pielęgnacja mechaniczna	75	1,5	0,04	264	5,3	0,12	184,2
Zastosowanie pestycydów	68	1,4	0,03	34	0,7	0,02	48,6
Nawożenie mineralne	69	1,4	0,03	107	2,1	0,05	91,2
Transport	2281	45,6	1,08	2139	42,8	1,01	2199,2
Obróbka pozbiorna	4731	94,6	2,24	3964	79,3	1,87	4286,8
Zbiór	644 b	12,9	0,30	6195 a	123,9	2,92	3857,9
Plewienie	10125 a	202,5	4,78	4445 b	88,9	2,10	6836,8

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, p=0,05

Prowadząc analizę tylko w gospodarstwach konwencjonalnych, zauważono takie same zależności jak w przypadku gospodarstw mieszanych realizujących wyszczególnione technologie uprawy. W większości wykonywanych czynności obserwowano zmniejszenie nakładów prac na poszczególne zabiegi. Największą redukcję obserwowano dla ręcznie wykonywanych prac pielęgnacyjnych, w badaniach gdzie zakładano plantację z rozsady, w której znajdowało się gospodarstwo prowadzące uprawę metodami ekologicznymi, średnia energochłonność na ten cel była mniejsza o 2630 MJ·ha⁻¹. Świadczy to o bardzo dużej energochłonności strumienia pracy w uprawie ekologicznej melisy lekarskiej. W stosunku do gospodarstw mieszanych, podwyższeniu uległy jedynie nakłady ponoszone na nawożenie mineralne, stanowiąc w grupie średnio 107 MJ·ha⁻¹.

5.4.3. Strumień inwestycji

Mięta pieprzowa – energochłonność skumulowana w środkach mechanizacji i budownictwa

Nieodzownym warunkiem funkcjonowania każdej działalności gospodarczej jest strumień energochłonności inwestycyjnej. Jak kształtuje się energochłonność inwestycyjna w ujęciu liczbowym w gospodarstwach uprawiających miętę pieprzową przedstawiono w tab. 39.

Tabela 39.

Energochłonność skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w środkach mechanizacji i budownictwa w pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika

Energochłonność inwestycyjna	Sadzonki z pędów nadziemnych	Sadzonki z rozłogów podziemnych	Średnia
Całość	11396±4004 a	10519±3110 a	11020,3
Środki mechanizacji	10845±3921 a	10131±3066 a	10538,8
Obiekty budowlane	551±214 b	388±136 b	481,5

*a, b- grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, $p=0,05$

Przeprowadzona analiza statystyczna otrzymanych wyników nie wykazała istotnych różnic w wartościach energochłonności skumulowanej w agregatach maszynowych i budowlach w wydzielonych technologiach uprawy w pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej.

Jak wynika z danych przedstawionych w tab. 39, zdecydowanie większy udział w przypadkach na maszyny i urządzenia. W średniej energochłonności wynoszącej $11020,3 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, środki mechanizacji stanowią prawie 95,6%, natomiast obiekty budowlane 4,4%. W związku z tym, że badanie poszczególnych strumieni energochłonności skumulowanej jest prowadzone w aspekcie danego procesu technologicznego, a ten w uprawach roślin wieloletnich nieco się różni, w dalszej kolejności przedstawiono średnie wartości energochłonności inwestycyjnej gospodarstw w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej, z podziałem na poszczególne składowe, w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika (tab. 40).

Tabela 40.

Energochłonność skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w środkach mechanizacji i budownictwa w drugim roku wegetacji mięty pieprzowej w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika

Energochłonność inwestycyjna	Sadzonki z pędów nadziemnych	Sadzonki z rozłogów podziemnych	Średnia
Całość	8134±3951 a*	6342±2133 a	7365,9
Środki mechanizacji	7238±4163 a	6154±2124 a	6773,4
Obiekty budowlane	896±1031 b	188±35 b	592,5

*a, b, grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, $p=0,05$

Analizując energochłonność inwestycyjną skumulowaną w środkach mechanizacji i budownictwa w wydzielonych grupach gospodarstw nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wyróżnionymi technologiami. Jak wynika z danych przedstawionych w tab. 40 główny udział nakładów przypadają na maszyny i urządzenia. Dla średniej wartości energochłonno-

ści 7365,9 MJ·ha⁻¹, środki mechanizacji stanowiły prawie 92%. Mniejsze całkowite wartości energochłonności skumulowanej w maszynach i budowlach w drugim roku wegetacji wynikają z mniejszej liczby zabiegów uprawowych w porównaniu do pierwszego roku. Z przedstawionych danych w tabelach 39 i 40 wynika, że minimalizując energochłonność skumulowaną w gospodarstwach zajmujących się uprawą mięty należy w szczególności sposób zwrócić uwagę na optymalne wykorzystanie ciągników, maszyn i urządzeń. Uzyskane wyniki wskazują, że baza magazynowo przechowalnicza w badanych obiektach jest raczej skromna, z obserwacji autorki, w większości przypadków dotyczy stodół i strychów przystosowanych do tego celu.

Analizę strumienia energochłonności inwestycyjnej w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w danym gospodarstwie dla poszczególnych lat użytkowania plantacji przedstawiono w tab. 41 i 42.

Tabela 41.

Energochłonność skumulowana (MJ·ha⁻¹) w środkach mechanizacji i budownictwa w badaniach w zależności od uprawianej powierzchni roślin zielarskich w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej

Energochłonność inwestycyjna	Powierzchnia zajęta uprawą ziół			Średnia
	1-3 ha	4-9 ha	10 ha ≤	
Całość	9916±3106 a*	10180±4418 a	11388±3638 a	10494,7
Środki mechanizacji	9500±3008 a	9672±4295 a	10917±3602 a	10029,5
Obiekty budowlane	416±146 b	508±276 b	472±133 b	465,2

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, p=0,05

Tabela 42.

Energochłonność skumulowana (MJ·ha⁻¹) w środkach mechanizacji i budownictwa w badaniach w zależności od uprawianej powierzchni roślin zielarskich w drugim roku uprawy

Energochłonność inwestycyjna	Powierzchnia zajęta uprawą ziół			Średnia
	1-3 ha	4-9 ha	10 ha ≤	
Całość	7333±4610 a*	5414±2151 a	7423±2410 a	6723,2
Środki mechanizacji	6874±4511 a	5000±2266 a	7152±2474 a	6341,7
Obiekty budowlane	460±269 b	414±284 b	271±101 b	381,6

*a, b, grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, p=0,05

Nie stwierdzono również istotnych różnic pomiędzy wartościami energochłonności inwestycyjnej związanej z uprawą mięty pieprzowej w wydzielonych grupach gospodarstw. Przedstawione w tabelach 41 i 42 dane liczbowe wskazują, że dominujący udział nakładów energetycznych przypada na maszyny i urządzenia, średnia wartość w pierwszym roku uprawy wynosiła 10029,5 MJ·ha⁻¹, natomiast w drugim roku 6341,7 MJ·ha⁻¹, co stanowi

odpowiednio 95,6 i 94,3%. Poziom wyposażenia poszczególnych grup gospodarstw w środki techniczne przedstawiono w rozdziale 5.3.

Melisa lekarska – energochłonność skumulowana w środkach mechanizacji i budownictwa

Aby uzyskiwać właściwą efektywność produkcji melisy lekarskiej, poszczególne rodzaje strumieni energetycznych muszą się wzajemnie odpowiednio uzupełniać. Nakłady inwestycyjne na środki trwałe zależą od możliwości ekonomicznych gospodarstw. Stąd wydaje się, że rozpatrywany strumień energii związany jest z kondycją ekonomiczną gospodarstw. Z drugiej strony, to jednak aktywność inwestycyjna jest niezbędnym warunkiem utrzymania się poszczególnych gospodarstw na rynku rolnym, a także poprawiającym konkurencyjność wytwarzanych surowców rolniczych (Kurek, 2007). Energochłonność inwestycyjną w ujęciu liczbowym w gospodarstwach uprawiających melisę lekarską, w badanych grupach stosujących odmienną technologię produkcji, przedstawiono w tab. 43.

Tabela 43.

Energochłonność skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w środkach mechanizacji i budownictwa w pierwszym roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej w zależności od zastosowanej technologii uprawy

Energochłonność inwestycyjna	Siew	Sadzenie	Średnia
Całość	3361±2433 b	8987±2578 a*	6618,2
Środki mechanizacji	3133±2262 b	8454±2530 a	6213,2
Obiekty budowlane	245±220 b	534±211 a	412,4

*a, b, c - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n $p=0,05$

Przeprowadzona analiza statystyczna uzyskanych wyników wykazała istotność różnic w wartościach energochłonności skumulowanej w agregatach maszynowych i budowlach w wydzielonych technologiach uprawy w pierwszym roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej. Niższą energochłonność stwierdzono wśród gospodarstw zakładających nowe plantacje z nasion wysiewanych bezpośrednio do gruntu ($3361 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). Na obserwowane zjawisko miały wpływ zarówno niższe nakłady ponoszone na środki mechanizacji, jak i obiekty budowlane. W strukturze tego strumienia energii zdecydowanie większy udział przypadał na maszyny i urządzenia, stanowiąc średnio 93,9% całkowitych nakładów, natomiast na obiekty budowlane przypadało średnio 6,1%. Podobnie jak w mięcie pieprzowej, analiza poszczególnych strumieni energochłonności skumulowanej była prowadzona w aspekcie danego procesu technologicznego, a ten w drugim roku uprawy nieco się różnił, stąd w dalszej kolejności wykonano analizę energochłonności inwestycyjnej gospodarstw w drugim roku wegetacji melisy lekarskiej, z podziałem na poszczególne składowe, w zależności od zastosowanej technologii uprawy (tab. 44).

Tabela 44.

Energochłonność skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w środkach mechanizacji i budownictwa w drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej w zależności od zastosowanej technologii uprawy

Energochłonność inwestycyjna	Nasiona	Sadzonki	Średnia
Całość	4911±4891 a*	7568±2636 a	6448,9
Środki mechanizacji	4595±4602 a	7277±2637 a	6147,7
Obiekty budowlane	316±289 b	290±131 b	301,2

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, $p=0,05$

Analizując energochłonność skumulowaną w postaci środków mechanizacji i budowl w drugim roku uprawy melisy lekarskiej w wydzielonych grupach gospodarstw, nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wyodrębnionymi technologiami. Mniejsze całkowite wartości energochłonności skumulowanej w maszynach i budowlach w drugim roku wegetacji wynikały z braku czynności dotyczących zabiegów uprawowych przed założeniem plantacji, a także samego siewu lub sadzenia. Niewielkie różnice w porównaniu do pierwszego roku są związane z wystąpieniem w drugim roku prowadzenia plantacji dwóch zabiegów koszenia, a nie tak jak rok wcześniej, jednego. Podobnie jak w pierwszym roku, dominujący udział w energochłonności inwestycyjnej przypadał na maszyny i urządzenia. W średniej energochłonności wynoszącej $6448,9 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, środki mechanizacji stanowiły prawie 95,3%. Analogicznie jak w przypadku mięty pieprzowej, zauważono, że zmniejszanie energochłonności skumulowanej w gospodarstwach zajmujących się uprawą melisy będzie zależeć od prawidłowego użytkowania ciągników, maszyn i urządzeń, , bowiem sama baza magazynowo przechowalnicza w badanych obiektach jest niewielka i dotyczy stodół i strychów przystosowanych do tego celu.

5.4.4. Strumień nośników energii

Mięta pieprzowa – energochłonność skumulowana w nośnikach energii

Współczesna polowa produkcja roślinna nierozzerwalnie jest związana z bezpośrednimi nakładami energii pochodzącej z paliw kopalnych, głównie oleju napędowego. Poziom nakładów zależy od stosowanych sposobów wykonywania poszczególnych zabiegów uprawowych (Golka i Ptaszyński, 2014), intensywności produkcji (Rathke i in., 2002; Kocira i Kołtun, 2013), wyboru technologii produkcji (Wójcicki, 2007; Pawlak, 2016), stanu technicznego stosowanych środków mechanizacji rolnictwa oraz organizacji pracy (Pawlak, 2016).

Strukturę energochłonności skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w strumieniu bezpośrednich nośników energii (olej napędowy i energia elektryczna) w poszczególnych latach prowadzenia plantacji, w zależności od stosowanej technologii prowadzenia rozsadnika przedstawiono w tab. 45.

Tabela 45.

Nakłady nośników energii ($MJ \cdot ha^{-1}$) w produkcji mięty pieprzowej w kolejnych latach prowadzenia plantacji, w zależności od zastosowanej technologii uprawy

Lata prowadzenia plantacji	Technologia		Średnia
	Rozsadnik z sadzonek	Rozsadnik z rozlogów	
I rok wegetacji	16678±7177 a*	14675±5434 a	15676,5
II rok wegetacji	9128±3974 b	7051±2825 b	8183,7

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, p=0,05

Przeprowadzona jednoczynnikowa analiza wariancji dla każdego roku uprawy oddzielnie, nie wykazała zróżnicowania wartości tego strumienia pomiędzy rozpatrywanymi technologiami. W roku zakładania plantacji, w strumieniu nośników energii, ponoszono średnie nakłady w wysokości $15676,5 MJ \cdot ha^{-1}$, natomiast w kolejnym roku uprawy, obserwowano redukcję wydatkowanej energii na ten cel, o około 47,8%. Aby wykazać najbardziej energochłonne czynności w produkcji mięty pieprzowej w pierwszym roku prowadzenia uprawy, w tab. 46 zaprezentowano nakłady nośników energii z rozbiem na wykonywane zabiegi, na tle całkowitych skumulowanych nakładów energetycznych. Należy zaznaczyć, że energia elektryczna wykorzystywana była tylko na etapie obróbki pozbiorczej i tu stanowiła główne źródło energochłonności tego procesu.

Tabela 46.

Średnie wartości energochłonności skumulowanej w strumieniu bezpośrednich nośników energii (olej napędowy i energia elektryczna) ($MJ \cdot ha^{-1}$) w porównaniu do nakładów całkowitych ($MJ \cdot ha^{-1}$) w różnych technologiach uprawy mięty pieprzowej

Czynność	Rozsadnik z sadzonek		Rozsadnik z rozlogów		Średnie nakłady całkowite	Średnie nakłady na paliwo
	Nakłady całkowite	Paliwo	Nakłady całkowite	Paliwo		
orka	2302	1776	2356	1710	2325,0	1747,6
nawożenie mineralne *	1020	722	1162	745	1080,8	731,5
nawożenie organiczne*	11965	980	5020	1495	7004,7	1200,7
uprawa roli	1035	776	829	607	947,2	703,1
sadzenie *	15625	6534	14755	4251	15252,2	5555,4
stosowanie pestycydów *	694	502	540	372	627,9	446,4
pielęgnacja mechaniczna plantacji	303	194	77	52	206,0	133,5
zbiór	6639	1567	8589	1261	7474,8	1436,0
transport	6640	2668	9224	3524	7747,6	3034,8
Obróbka pozbiorcza	6343	960	5623	658	6034,6	830,6
Suma	52566	16678	48175	14675	x	x

* z wyłączeniem materiałów

Zauważono zróżnicowanie wartości skumulowanych nakładów energetycznych ponoszonych na poszczególne czynności w pierwszym roku produkcji mięty pieprzowej i równolegle, wartości energii paliw wydatkowanych na stosowane zabiegi agrotechniczne. Największą energochłonnością odznaczało się zakładanie plantacji, ze średnią wartością $15252 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wynika to głównie z trzech przeprowadzonych czynności jakimi są: wykopywanie podziemnych rozłogów, ich selekcja, a następnie sadzenie. W związku z tym, udział strumienia paliw w tej części był stosunkowo niski i wynosił około 36,4%. Na tym etapie produkcji obserwowano pewne rozbieżności w obrębie poszczególnych technologii, wynikające ze stosowania w niektórych gospodarstwach oddzielnie wału ugniatającego (w innych sadzarka była wyposażona w wały ugniatające), wcześniejszego formowania rzędów za pomocą obsypnika, czy też w jednej plantacji sadzenia ręcznego. 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 wynosiła $7748 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, w tym samo paliwo stanowiło średnio $3035 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. W niewielu gospodarstwach do rozładunku wysuszonego surowca wykorzystywany był ładowacz czołowy, w większości zarówno załadunek, jak i wyładunek wykonywany był ręcznie. Energochłonność zbioru w obydwu wydzielonych technologiach kształtowała się na zbliżonym poziomie, ze średnią wartością $7475 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Prace związane ze zbiorem polegały na koszeniu plantacji za pomocą kosiarek rotacyjnych, grabieniu ręcznym ściętego ziela (rzadkością było wykorzystywanie zgrabiarek) oraz układaniu zebranych roślin w kopy bezpośrednio na polu, gdzie wcześniej prowadzono uprawę, w celu naturalnego dosuszenia. Należy nadmienić, że nawożenie naturalne nie było stosowane we wszystkich gospodarstwach, co rzutuje na otrzymane wyniki, stąd obserwowano zróżnicowanie nakładów energetycznych ponoszonych na tę czynność. Jako ostatnią czynność, w tab. 46 zaprezentowano dane dotyczące nakładów energetycznych ponoszonych na obróbkę pozbiorczą. W większości przypadków ten etap polegał na wykorzystaniu stacjonarnych maszyn do młócenia w celu oddzielenia łodyg od liści i późniejszego doczyszczania w ten sposób uzyskanego surowca za pomocą różnorodnych przesiewaczy, najczęściej wykonywanych lub przystosowanych do tego celu sposobem gospodarskim. W związku z powyższym, przedstawiane dane dotyczące bezpośrednich nośników energii w postaci paliwa odnoszą się przede wszystkim do zużycia energii elektrycznej. Jedynie w przypadku prasowania całego ziela na polu (co było rzadkością) wykorzystywano olej napędowy. Ten wariant powoduje jednak podwyższenie energochłonności i jest przyczyną powstałej zmienności dla bezpośredniego strumienia energii w postaci paliw w technologii z wykorzystaniem sadzonek nadziemnych. Obserwowane duże skumulowane nakłady energetyczne ponoszone na wykonanie orki w uprawach mięty pieprzowej są związane nie tylko z jej jednokrotnym wykonywaniem przed założeniem plantacji, ale także w wielu gospodarstwach, bezpośrednio przed zimą (bądź wczesną wiosną kolejnego roku) przeprowadzano płytką orkę, której zadaniem jest zarówno ochrona roślin podczas niekorzystnych warunków atmosferycznych, jak i zabezpieczenie większej ilości wody w glebie w okresie wczesnowiosennym. Zabieg ten przedłuża żywotność plantacji na słabszych glebach, które dominowały w badanych gospodarstwach. Tak wykonywana orka musi się odznaczać znaczną precyzją, a to przedłuża czas jej realizacji, tym samym energochłonność. Ponadto, należy zwrócić uwagę na zazwyczaj niewielki i często nieregularny rozłóg pól wykorzystywanych

w uprawie, co sprzyja wzrostowi energochłonności prowadzonych prac polowych. Stąd, średnie nakłady na ten podstawowy zabieg uprawowy w obydwu technologiach wynosiły $2325 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Na ścisłą relację wzrostu energochłonności upraw z podwyższaniem kosztów ponoszonych na czynności uprawowe zwraca uwagę Gniadek (2012).

Współczesne rolnictwo oparte jest w znacznej mierze na stosowaniu nawozów mineralnych, co również zauważalne było w uprawach mięty pieprzowej w badanych gospodarstwach. Niezależnie od technologii, obserwowano dwa trendy uprawowe. Pierwszy, pewnej ekologizacji upraw, z mniejszym zużyciem nawozów, które nawet niekiedy w trosce o dobro plantacji (zdaniem plantatora), wykonywane było ręcznie, lub też wręcz przeciwnie, spotykano gospodarstwa wysoce intensywne, które również prowadzą uprawy mięty, gdzie stosowano duże ilości nawozów, zwłaszcza azotowych, kilkakrotnie w ciągu sezonu wegetacji (rozdz. 5.4.5.). Średnie wartości całkowitych skumulowanych nakładów energetycznych ponoszonych na ten cel (z pominięciem materiałów) były do siebie bardzo zbliżone i wynosiły $1080,8 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Kolejną, wydzieloną czynnością były prace dotyczące zespołu uprawek wiosennych mających na celu właściwe przygotowanie gleby przed założeniem plantacji. Zazwyczaj wykonywano je za pomocą agregatów o różnej konstrukcji. Nakłady energii skumulowanej ponoszone na uprawę gleby były zbliżone w obydwu technologiach, i stanowiły średnio $947 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast na samo paliwo wydatkowano $703 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Środki chemiczne, głównie w postaci herbicydów, nie stosowane były w każdym gospodarstwie, co rzutuje na otrzymane wartości średnich nakładów energetycznych. Należy zaznaczyć, że współczesne wymagania farmaceutyczne dotyczą między innymi badania pozostałości środków chemicznej ochrony, co ogranicza ich zastosowanie, a dopuszczonych pestycydów w uprawach mięty jest niewiele. Średnie wartości nakładów ponoszonych na zabiegi z wykorzystaniem pestycydów wynosiły $627 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, w tym samo paliwo stanowiło $446 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Podobnie, mechaniczna pielęgnacja plantacji nie stosowana była w każdym gospodarstwie, niektórzy plantatorzy wykonują tylko ręczne odchwaszczanie plantacji, stąd również obserwowane różnicowanie wartości energochłonności tej czynności.

W dalszej kolejności przeprowadzono analizę struktury nakładów energetycznych w strumieniu paliw w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w danym gospodarstwie. Średnie wartości strumienia paliw dla tej analizy w rozpatrywanych latach prowadzenia plantacji zaprezentowano w tab. 47.

Tabela 47.

Nakłady nośników energii ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$) w produkcji mięty pieprzowej w kolejnych latach prowadzenia plantacji, w zależności od arealu uprawy ziół w gospodarstwie

Lata prowadzenia plantacji	Powierzchnia zajęta uprawą ziół			Średnia
	1-3 ha	4-9 ha	10 ha ≤	
I rok wegetacji	$12888 \pm 3614 \text{ a}^*$	$15790 \pm 7713 \text{ a}$	$18132 \pm 5883 \text{ a}$	15603,0
II rok wegetacji	$6281 \pm 2314 \text{ b}$	$6983 \pm 2606 \text{ b}$	$9637 \pm 3199 \text{ b}$	7579,7

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, $p=0,05$

Przeprowadzona jednoczynnikowa analiza wariancji dla każdego roku oddzielnie nie wykazała zróżnicowania strumienia energii paliw pomiędzy analizowanymi grupami gospodarstw. W pierwszym roku uprawy wydatkowano na paliwo średnio $15603,0 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast w drugim o $8023,3 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ mniej. Przy takim podziale, w grupie gdzie zioła stanowiły 4-9 ha, znalazło się jedno gospodarstwo, które prowadziło uprawę ziół zgodnie z metodami rolnictwa ekologicznego, co mogłoby zaburzać wyniki struktury gospodarstw konwencjonalnych, stąd, przy wydzieleniu poszczególnych czynności uprawowych, podawano tę grupę dwukrotnie, z ujęciem wspomnianego gospodarstwa i bez niego. Wyniki nakładów energii skumulowanej na poszczególne czynności przedstawiono w tab. 48.

Tabela 48.

Struktura energochłonności poszczególnych zabiegów i czynności uprawowych mięty pieprzowej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w pierwszym roku wegetacji w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół

Czynność	Powierzchnia zajęta uprawą ziół				Średnio	Średnio**
	1-3 ha	4-9 ha**	4-9 ha	10 ha ≤		
Orka	2305	2370	2437	2523	2421,4	2398,0
Nawożenie mineralne *	1057	904	1017	860	978,0	938,8
Nawożenie organiczne *	1367	2900	3139	2616	2374,1	2318,7
Uprawa roli	734	1183	1133	1089	985,5	1009,3
Sadzenie *	18929	14388	13792	14826	15849,5	15981,8
Stosowanie pestycydów *	363 b***	428	481ab	1055 a	633,1	607,8
Pielęgnacja mechaniczna plantacji	100	501	344	179	210,4	269,6
Zbiór	7440	7769	8110	6141	7230,6	7142,8
Transport	7529	6774	5165	8890	7194,4	7692,7
Obróbka pozbiorna****	3997	5670	5470	5593	5019,9	5109,8
Suma	43821	42887	41088	43772	x	x

* z wyłączeniem materiałów

** w nakładach ujęto gospodarstwo ekologiczne

***a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, $p=0,05$

Obserwowano zróżnicowanie nakładów energii skumulowanej na poszczególne czynności wykonywane w uprawie mięty pieprzowej w pierwszym roku wegetacji. Największe średnie nakłady, $15981,8 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, wydatkowano na założenie plantacji, na drugiej pozycji równorzędnie znalazł się transport i zbiór. Najmniejsze nakłady z kolei ponoszono na mechaniczną walkę z chwastami, stosowanie środków chemicznej ochrony, uprawę roli i nawożenie mineralne (nie uwzględniając materiałów). Odnotowano zróżnicowanie wysokości nakładów dotyczących stosowania środków chemicznej ochrony. Największe nakłady związane z tą operacją ponoszono w gospodarstwach gdzie zioła zajmowały powierzchnię

co najmniej 10 ha, natomiast najniższe w gospodarstwach o najmniejszym areale uprawy roślin zielarskich. Obserwowany trend miał potwierdzenie statystyczne. Wprowadzenie do analizy gospodarstwa prowadzącego działalność ekologiczną nie zmieniło obrazu struktury całkowitych nakładów energetycznych.

Przeprowadzono również analizę zróżnicowania nakładów energetycznych na poszczególne wykonywane czynności pod kątem wykorzystania strumienia bezpośrednich nośników energii w uprawie mięty pieprzowej, w zależności od wielkości powierzchni zajętej uprawą ziół w gospodarstwie. Wyniki analizy przedstawiono w tab. 49.

Tabela 49.

Struktura energochłonności w strumieniu bezpośrednich nośników energii (olej napędowy i energia elektryczna) ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół

Czynność	Powierzchnia zajęta uprawą ziół				Średnio	Średnio**
	1-3 ha	4-9 ha**	4-9 ha	10 ha ≤		
Orka	1811	1849	1885	1728	1808,1	1798,3
Nawożenie mineralne *	689	652	733	591	671,2	644,4
Nawożenie organiczne *	569	1520	1685	1624	1292,4	1248,7
Uprawa roli	528	918	879	769	725,6	745,8
Sadzenie *	5082	5084	5373	6052	5502,5	5393,1
Stosowanie pestycydów *	234b***	303	341ab	768 a	447,7	429,8
Pielęgnacja mechaniczna plantacji	51	252	231	123	135,1	146,4
Zbiór	788	1693	1865	1499	1384,3	1341,5
Transport	2274	2590	2132	4135	2846,9	2983,2
Obróbka pozbiorna****	860	701	665	842	789,3	797,3
Suma	12888	15562	15790	18132	x	X

* z wyłączeniem materiałów

** w nakładach ujęto gospodarstwo ekologiczne

***a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, $p=0,05$

****nakłady nośników energii są sumą paliw (olej napędowy i prąd elektryczny)

Największe nakłady bezpośrednio w postaci nośników energii odnotowano na założenie plantacji, ze średnią wartością obejmującą wszystkie gospodarstwa objęte badaniem $5393,1 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wysoką energochłonnością odznaczał się też transport, co w przypadku bezpośrednich nośników energii wydaje się być zrozumiałe, średnia dla wszystkich gospodarstw to $2983,2 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Najmniejsza energochłonność związana była z pielęgnacją mechaniczną plantacji (nie stosowana w każdym gospodarstwie) oraz podobnie, nie zawsze wykonywane

stosowanie środków chemicznej ochrony, wartości te wynosiły odpowiednio: 146,4 i 429,8 MJ·ha⁻¹. Zauważalne różnice w wartościach nakładów energii skumulowanej ponoszonych na stosowanie zabiegów pestycydowych dla wyodrębnionych grup powierzchniowych były obserwowane także w trakcie tej analizy. Najwyższe nakłady ponoszono w gospodarstwach o największym areale uprawy ziół, natomiast najniższe w gospodarstwach, gdzie zioła stanowiły 1-3 ha. W grupie gospodarstw gdzie zioła uprawiano na powierzchni 4-9 ha, spotykano takie, gdzie zbiór był wykonywany jednokrotnie w ciągu pierwszego roku uprawy mięty, stąd widoczne niższe nakłady na ten zabieg. W grupie o powierzchni uprawy ziół 4-9 ha, gdzie nie uwzględniano gospodarstwa ekologicznego, zauważono przy nawożeniu naturalnym niższe średnie wartości energii paliw, w porównaniu do tej grupy, gdzie analizie poddawano wszystkie gospodarstwa. Na obniżenie średniej wartości energii wpłynął fakt, że w gospodarstwie prowadzonym metodami ekologicznymi nie stosowano nawożenia naturalnego.

Wzorem pierwszego roku uprawy mięty pieprzowej, dzieląc gospodarstwa w zależności od stosowanej technologii zakładania rozsadnika, przeprowadzono dla drugiego roku analogiczną analizę nakładów energii skumulowanej ponoszonych na poszczególne czynności, w odniesieniu do strumienia bezpośrednich nośników energii (olej napędowy i energia elektryczna). Wg Pawlaka (2012) czynnikiem najbardziej wymuszającym poprawę efektywności nakładów energii w produkcji rolniczej są rosnące ceny jej nośników. Wyniki otrzymanej analizy przedstawiono w tab. 50.

Tabela 50.

Średnie wartości energochłonności w strumieniu paliw (MJ·ha⁻¹) w porównaniu do nakładów całkowitych (MJ·ha⁻¹) w analizowanych technologiach uprawy mięty pieprzowej w drugim roku wegetacji

Czynność	Rozsadnik z sadzonek		Rozsadnik z rozłogów		Średnie nakłady całkowite	Średnie nakłady na paliwo
	Nakłady całkowite	Paliwo	Nakłady całkowite	Paliwo		
orka	1587	992	498	336	1068,4	693,8
nawożenie mineralne *	1068	675	1015	661	1044,0	668,8
stosowanie pestycydów *	636	443	410	287	533,1	533,1
pielęgnacja mechaniczna plantacji	696	461	189	174	465,7	330,7
zbiór	6826	1725	8046	1232	7380,6	1501,0
transport	8995	3366	9617	3609	9277,6	3476,8
Obróbka pozbiorcza	6821	1465	5927	751	6414,5	1140,3
Suma	26629	9128	25702	7051	x	x

* z wyłączeniem materiałów

W drugim roku prowadzenia uprawy mięty pieprzowej najbardziej energochłonnym zabiegiem okazał się transport (9277,6 MJ·ha⁻¹). Należy nadmienić, że w jego skład wliczono

zarówno załadunek, jak i wyładunek mięty, celem dosuszenia i dalszego składowania, które odbywało się zarówno w stodołach, jak i magazynach przystosowanych do tego celu, stąd średnie nakłady na paliwo wynoszą $3476,8 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Szczególnie długotrwałą czynnością był załadunek, bowiem wymagał stopniowego przemieszczania się środków transportu po plantacji i podjazdów do wysuszonego surowca. W drugim roku uprawy mięty zazwyczaj odbywają się dwa zbiory, rzadkością, w wyjątkowo korzystnych latach są trzy. W ciągu analizowanego okresu badań nie zanotowano takiego przypadku w żadnym gospodarstwie. Niekiedy też, w warunkach szczególnie niedoboru wody, praktykowany jest tylko jeden zbiór. Była to również energochłonna operacja na którą średnio wydatkowano $7380,6 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, w tym na samo paliwo $1501,0 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Na kolejnej pozycji pod względem energochłonności wykonywanych czynności była obróbka pozbiorna. Na ten etap produkcji ponoszono średnie nakłady w wysokości $6414,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, w tym energia paliw stanowiła $1140,3 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Zaobserwowano, że uprawa mięty w drugim roku wymaga znacznie większych nakładów związanych z ręcznie wykonywaną pielęgnacją plantacji, natomiast nakłady na zabiegi mechaniczne są niewielkie. Związane jest to z intensywnym rozrastaniem się rozłogów i tym samym brakiem widocznych międzyrzędzi. W skład pielęgnacji mechanicznej plantacji wchodziły zarówno zabiegi mające na celu usunięcie zachwaszczenia, jak i zabiegi stosowane po wykonywaniu orce, np. wałowanie, czy też późniejsze bronowanie, bądź zamiennie, stosowanie agregatu. Jednak jedne i drugie nie wykonywano we wszystkich gospodarstwach.

Jak już wykazywano, ze względu na braki literaturowe dla tej grupy roślin próbowano odnosić się do innych upraw, i tak Strapatsa i in. (2006) wskazują jako najbardziej energochłonne zabiegi prowadzone w sadach jabłkowych (oprócz stosowania zabiegów chemicznej ochrony) zbiór, transport i nawożenie.

Dalszym etapem prowadzonej analizy było wykonanie struktury całkowitych nakładów energetycznych w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w zależności od arealu uprawy ziół w gospodarstwie. Jej wyniki zaprezentowano w tab. 51. Podobnie, jak przy analizie całościowych nakładów energetycznych ponoszonych w uprawie mięty pieprzowej w pierwszym roku prowadzenia plantacji, z racji dużych różnic pomiędzy gospodarowaniem konwencjonalnym, a metodami ekologicznymi, przeprowadzono odrębną analizę statystyczną z uwzględnieniem gospodarstwa ekologicznego.

Podobnie jak w analizie uprawy w pierwszym roku istnienia plantacji, obserwowano różnice w wartościach całkowitych nakładów energii ponoszonych na stosowanie pestycydów w drugim roku uprawy mięty pieprzowej. Najwyższe nakłady ponoszono w gospodarstwach o największym areale ziół, średnio $873 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast najniższe w gospodarstwach o najmniejszej powierzchni ziół, średnio $219 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Analogicznie jak przy porównaniu technologii uprawy, największą energochłonnością odznaczał się transport ($8652,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), wysokie nakłady były też ponoszone na zbiór oraz plewienie, odpowiednio $7038,5$ i $6824,0 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Stosując to samo kryterium podziału, w tab. 52 zamieszczono strukturę nakładów energii paliw.

Tabela 51.

Struktura nakładów energochłonności skumulowanej ($MJ \cdot ha^{-1}$) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół

Czynność	Powierzchnia zajęta uprawą ziół				Średnia	Średnia**
	1-3 ha	4-9 ha**	4-9 ha	10 ha ≤		
orka	829	1088	1224	1196	1072,5	1031,2
nawożenie mineralne *	1081	973	1094	804	996,6	958,3
stosowanie pestycydów *	219 b	512	576 ab	873 a	542,5	521,6
pielęgnacja mechaniczna plantacji	512	757	641	684	608,1	651,0
zbiór	7472	7781	7495	6094	7038,5	7115,6
transport	8971	9709	6010	10937	8652,7	9831,5
Obróbka pozbiorcza****	5977	6651	5418	6379	5926,7	6573,0
Suma	25061	27471	22458	26967	x	x

* z wyłączeniem materiałów

** w nakładach ujęto gospodarstwo ekologiczne

***a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, $p=0,05$

****nakłady nośników energii są sumą paliw (olej napędowy i prąd elektryczny)

Tabela 52.

Struktura nakładów energii w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w postaci strumienia paliw($MJ \cdot ha^{-1}$) w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół

Czynność	Powierzchnia zajęta uprawą ziół				Średnia	Średnia**
	1-3 ha	4-9 ha**	4-9 ha	10 ha ≤		
Orka	492	780	877	851	730,2	702,1
Nawożenie mineralne *	678	608	684	556	640,9	616,3
Stosowanie pestycydów *	151 b	342	385 ab	633 a ***	380,1	365,5
Pielęgnacja mechaniczna plantacji	333	454	459	483	421,0	423,3
Zbiór	901	1404	1501	1499	1284,2	1268,0
Transport	2674	3588	2472	4773	3281,1	3636,1
Obróbka pozbiorcza****	1053	758	605	842	842,1	884,3
Suma	6281	7934	6983	9637	x	X

* z wyłączeniem materiałów

** w nakładach ujęto gospodarstwo ekologiczne

***a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, $p=0,05$

****nakłady nośników energii są sumą paliw (olej napędowy) i prądu elektrycznego

Analizując energochłonność poszczególnych czynności w postaci zużytych paliw w uprawie mięty w wydzielonych grupach gospodarstw, zauważono takie same zależności, jak dla całkowitych nakładów energii skumulowanej (tab.51). Największe nakłady na stosowanie środków chemicznej ochrony ponoszono w gospodarstwach o największych powierzchniach uprawy ziół, natomiast najmniejsze w grupie od 1 do 3 ha, średnia wartość w tej grupie wynosiła $151 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nadmienić należy, że w tej grupie nie we wszystkich gospodarstwach stosowane były środki chemicznej ochrony, bowiem w gospodarstwach o mniejszym areale ziół zazwyczaj stosowane są maszyny o mniejszych wydajnościach, oraz jest bardziej realnym dopilnowanie terminów agrotechnicznych skutkujące zużywaniem mniejszej ilości środków chemicznych. Podobnie jak przy wcześniejszych analizach, najwyższe nakłady nośników energii ponoszone były na transport, średnio $3281,1 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, na drugim miejscu uplasował się zbiór – $1284,2 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Gdy w analizie ujmowano gospodarstwo ekologiczne, obserwowano obniżenie wielkości nakładów strumienia paliw na poszczególne zabiegi, z wyjątkiem transportu i obróbki pozbiorowej. Wysokie nakłady na transport były spowodowane przewożeniem ściętych roślin do zadaszonego tunelu, celem dosuszenia, a następnie usuwania surowca o pożądanej wilgotności do pomieszczenia magazynowego. Z kolei obróbkę pozbiorową cechowała szczególna staranność i wykorzystanie obecnych w gospodarstwie maszyn i urządzeń, stąd obserwowane różnice.

Melisa lekarska – energochłonność skumulowana w nośnikach energii

W sektorze produkcji roślinnej wykorzystywane jest przede wszystkim paliwo w postaci oleju napędowego i w mniejszym stopniu energia elektryczna. Jak wskazuje Pawlak (2016) w ciągu 10 lat, od roku 2004 do 2014 nastąpił wzrost zużycia oleju napędowego w rolnictwie o 6,9%. Średnie wartości strumienia paliw w wydzielonych technologiach uprawy przedstawiono w tab. 53.

Tabela 53.

Średnie wartości strumienia paliw w poszczególnych latach prowadzenia plantacji melisy lekarskiej w zależności od stosowanej technologii uprawy

Lata prowadzenia plantacji	Technologia		Średnia
	Nasiona	Sadzonki	
I rok wegetacji	4665±1667 b	20413±7859 a*	13782,6 b
II rok wegetacji	4686±1921b	10226±3750 a*	7893,7

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, $p=0,05$

Wyniki przeprowadzonej jednoczynnikowej analizy wariancji dla strumienia paliw wskazują na istotne różnice w wyodrębnionych technologiach uprawy melisy lekarskiej w obydwu latach prowadzenia plantacji. Niższe nakłady na analizowany strumień energii ponoszono w gospodarstwach wykonujących siew nasion bezpośrednio na polu docelowym.

Jak kształtowało się zużycie nośników energii w uprawie melisy lekarskiej w odniesieniu do całkowitych nakładów energii na poszczególne czynności w pierwszym roku założenia plantacji przedstawiono w tab. 54. Należy podkreślić, że podobnie jak w uprawie mięty pieprzowej, energia elektryczna wykorzystywana była tylko na etapie obróbki pozbiorczej i dla tych czynności stanowiła główne źródło energochłonności.

Tabela 54.

Średnie nakłady energii w postaci nośników w pierwszym roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w porównaniu do nakładów całkowitych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w gospodarstwach mieszanych

Czynność	Nasiona		Sadzonki		Średnie nakłady całkowite	Średnie nakłady na paliwo
	Nakłady całkowite	Paliwo	Nakłady całkowite	Paliwo		
Orka	1419	1073	1620	1200	1539,9	1149,7
Nawożenie mineralne *	456	306	925	649	737,5	511,9
Nawożenie organiczne*	0	0	3566	2048	2139,3	1228,9
Uprawa roli	566	415	795	606	703,2	529,6
Sadzenie lub siew*	647 b**	317 b	22809 a	10109 a	13944,3	6192,1
Stosowanie pestycydów *	684	426	443	329	539,4	367,5
Pielęgnacja mechaniczna plantacji	606	341	1175	594	947,8	492,6
Zbiór	1201 b	671 b	5564 a	697 b	3818,7	686,6
Transport	1857 b	378 b	4943 a	2343 a	3708,4	1557,4
Obróbka pozbiorcza	5399	737	4984	892	5150,2	830,0

* z wyłączeniem materiałów

**a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, $p=0,05$

Największą energochłonnością zarówno całkowitych nakładów energii skumulowanej, jak i paliw, odznaczały się prace wykonywane przy zakładaniu plantacji. Całkowite nakłady energii na czynności nazwane tu „sadzeniem lub siewem” były niższe w technologii siewu nasion na polu produkcyjnym o $22162 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, a ponoszone na samo paliwo o $9792 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Znaczna różnica między wielkością nakładów całkowitych, a ponoszonych tylko na paliwo jest związana z pokaźnym udziałem prac wykonywanych ręcznie (dotyczy to zwłaszcza procesu produkcji sadzonek w tunelu foliowym). Kolejną czynnością, która różnicowała wydzielone technologie pod kątem nakładów był zbiór. Niższe nakłady energii

skumulowanej ponoszono w gospodarstwach gdzie prowadzono siew nasion bezpośrednio do gruntu, średnie nakłady wynosiły tu 1201 MJ·ha⁻¹. Na otrzymany wynik miała wpływ eliminacja prac ręcznych związanych z grabieniem i formowaniem stogów. W tym przypadku rośliny pozostawiano na pokosie celem wstępnego podsuszenia. Stąd nie obserwowano zróżnicowania w wysokości nakładów na analizowaną czynność w strumieniu paliw. Nakłady energii były podobnie i wynosiły średnio 686,6 MJ·ha⁻¹. Ponadto, wykazano zróżnicowanie energochłonności czynności realizowanych na etapie transportu, niższe nakłady energii skumulowanej i w strumieniu paliw ponoszono w technologii siewu nasion bezpośrednio na polu produkcyjnym.

Z racji na znaczącą odmienność gospodarowania metodami ekologicznymi, przeprowadzono kolejną analizę w której znalazły się tylko gospodarstwa o konwencjonalnym sposobie produkcji, jej wyniki zamieszczono w tab. 55.

Tabela 55.

Średnie nakłady energii w postaci nośników w pierwszym roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej (MJ·ha⁻¹) w porównaniu do nakładów całkowitych (MJ·ha⁻¹) w gospodarstwach konwencjonalnych

Czynność	Nasiona		Sadzonki		Średnie nakłady całkowite	Średnie nakłady na paliwo
	Nakłady całkowite	Paliwo	Nakłady całkowite	Paliwo		
Orka	1419	1073	1601	1167	1524,4	1127,9
Nawożenie mineralne *	456	306	935	662	733,0	512,3
Nawożenie organiczne*	0	0	3864	2219	2237,0	1284,8
Uprawa roli	566	415	708	662	648,5	486,2
Sadzenie lub siew*	647 b**	317 b	22673 a	10799 a	13398,6	6385,6
Stosowanie pestycydów *	684	426	483	358	567,8	386,8
Pielęgnacja mechaniczna plantacji	606	341	1116	602	901,3	492,0
Zbiór	1201 b	671 b	4524 a	760 b	3125,0	722,8
Transport	1857 b	378 b	5089 a	2424 a	3728,0	1562,7
Obróbka po-zbiorcza	5399	737	4687	883	4986,7	821,6

* z wyłączeniem materiałów

**a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, p=0,05

Usunięcie z analizy gospodarstwa ekologicznego nie zmieniło w sposób zasadniczy otrzymanego obrazu zarówno całkowitych nakładów energii, jak i bezpośrednich jej nośników w postaci paliw i energii elektrycznej. Podobnie, stwierdzono istotność różnic pomiędzy rozpatrywanymi technologiami na etapie zakładania plantacji, zbioru i transportu, obserwując takie same zależności. Zauważono podwyższenie się średniej wartości energii paliw przeznaczonej na czynność i niewielką redukcję całkowitych nakładów. Widoczne zjawisko zapewne zależne jest od większych nakładów pracy ludzkiej jakie mają miejsce w systemie produkcji ekologicznej.

Przeprowadzono również analizę nakładów ponoszonych w drugim roku uprawy we wszystkich gospodarstwach objętych badaniem, a jej wyniki zamieszczono w tab. 56.

Tabela 56.

Średnie nakłady energii w postaci nośników w drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w porównaniu do nakładów całkowitych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w gospodarstwach mieszanych

Czynność	Nasiona		Sadzonki		Średnie nakłady całkowite	Średnie nakłady na paliwo
	Nakłady całkowite	Paliwo	Nakłady całkowite	Paliwo		
nawożenie mineralne *	581	412	994	717	828,8	594,8
stosowanie pestycydów *	510	327	375	280	429,2	298,5
pielęgnacja mechaniczna plantacji	610	346	2644	1314	1830,6	926,7
zbiór	2326 b	1304 a	8392 a	1678 a	5966,0	1528,8
transport	3573 b	721 b	11876 a	4936 a	8555,1	3250,1
Obróbka pozbiorcza	9843	1576	7681	1373	8545,8	1454,0

* z wyłączeniem materiałów

**a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, $p=0,05$

Największe nakłady energii skumulowanej w drugim roku uprawy melisy odnotowano dla czynności związanych z transportem, obróbką pozbiorcza oraz zbiorem, stąd wydaje się, że to szczególnie wśród nich, należałoby szukać ewentualnych oszczędności wydatkowanej energii. Obserwowano różnice pomiędzy wydzielonymi technologiami, zarówno w wysokości nakładów dotyczących zbioru, jak i transportu. Niższą energochłonnością skumulowaną odznaczała się technologia siewu nasion bezpośrednio na polu docelowym, gdzie na zbiór wydatkowano średnio $2326 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast transport $3573 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. W strumieniu paliw, odnotowano znaczące różnice tylko na nakłady energii związanej z transportem i należy przypuszczać, że to ten proces zadecydował przede wszystkim

o mniejszej energochłonności tego strumienia w technologii siewu nasion bezpośrednio do gruntu.

Przeprowadzono również analizę tylko dla gospodarstw stosujących konwencjonalne metody uprawy, a jej rezultaty zamieszczono w tab. 57.

Tabela 57.

Średnie nakłady energii w postaci nośników w drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w porównaniu do nakładów całkowitych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w gospodarstwach konwencjonalnych

Czynność	Nasiona		Sadzonki		Średnie nakłady całkowite	Średnie nakłady na paliwo
	Nakłady całkowite	Paliwo	Nakłady całkowite	Paliwo		
Nawożenie mineralne *	581	412	1084	782	872,4	626,2
Stosowanie pestycydów *	510	327	409	305	451,8	314,2
Pielęgnacja mechaniczna plantacji	610	346	1831	1052	1317,1	754,8
Zbiór	2326 b	1304 b	8468 a	1774 b	5881,8	1576,1
Transport	3573 b	721 b	11170 a	4816 a	7971,2	3091,9
Obróbka po-zbiorna	9843	1576	7536	1497	8507,3	1530,6

* z wyłączeniem materiałów

**a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, $p=0,05$

Eliminacja gospodarstwa ekologicznego nie spowodowała większych zmian w otrzymanych wynikach badań. Podobnie jak poprzednio, obserwowano mniejsze średnie zużycie energii skumulowanej na zbiór oraz transport w grupie gospodarstw gdzie siew nasion dokonywany był bezpośrednio na polu docelowym. W strukturze energochłonności paliw, podobnie, dominował transport, który różnicował rozpatrywane technologie. Wykorzystanie przyczep samobierających pozwoliło średnio na zaoszczędzenie $4095 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Największą energochłonnością skumulowaną odznaczały się obróbka pozbiorcza, transport oraz zbiór, stanowiąc w rozpatrywanej metodzie produkcji nieco mniejsze wartości w odniesieniu do analizy prowadzonej w gospodarstwach mieszanych i wynosiły odpowiednio $8507,3$, $7971,2$ oraz $5881,8 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Uzyskane wartości pośrednio świadczą o wysokiej energochłonności gospodarstwa ekologicznego.

5.4.5. Strumień surowców i materiałów

Mięta pieprzowa – energochłonność skumulowana w surowcach i materiałach

Niezwykle ważnym elementem w ocenie energochłonności skumulowanej uprawy mięty pieprzowej jest strumień nakładów energetycznych związany ze zużyciem w trakcie procesu produkcji materiałów i surowców. W roślinach wieloletnich do jakich zalicza się badane gatunki ziół, odmienne jest wykorzystanie tego strumienia w poszczególnych latach wegetacji, stąd przedstawiono go podobnie jak i dla innych strumieni, oddzielnie dla analizowanych lat użytkowania plantacji, stosowanych technologii i grup powierzchniowych. Średnią energochłonność materiałów wykorzystywanych w pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej w wyróżnionych technologiach uprawy przedstawiono w tab. 58.

Tabela 58.

Średnia energochłonność skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w materiałach i surowcach w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika

Strumień energochłonności	Sadzonki z pędów nadziemnych	Sadzonki z rozłogów podziemnych	Średnio
Materiały całość	14840±6886 a	19635±8512 a	17237,5
Nawożenie mineralne (NPK)	12355 b	18062 a*	15208,5
Nawożenie naturalne	250	467	358
Pestycydy	2224	1105	1664,5
Woda	2,93	2,3	2,6

*a, b, c grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, $p=0,05$

Nie stwierdzono istotnych różnic w sumarycznych nakładach energetycznych ponoszonych na materiały w badanych technologiach uprawy w pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej. Przeprowadzona analiza wykazała, że dominującą pozycję w nakładach materiałowych miało nawożenie mineralne, średnio wydatkowano na ten cel 15208,5 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Stwierdzono różnice w nakładach ponoszonych z tego tytułu między rozpatrywanymi technologiami uprawy. Mniejszą energochłonnością aplikacji nawozów mineralnych odznaczały się gospodarstwa stosujące sadzonki nadziemne (12355 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). Pomędzy pozostałymi składowymi nakładów materiałowych nie stwierdzono istotnych różnic. W związku z wystąpieniem zróżnicowania nakładów energetycznych ponoszonych na nawożenie mineralne w wyodrębnionych technologiach uprawy, analizie poddano energochłonność poszczególnych składników nawozowych, jednocześnie podając stosowane dawki NPK na 1 ha. Otrzymane wartości przedstawiono w tab. 59. Nakłady energii dotyczącej stosowanego nawożenia naturalnego liczone były w odniesieniu do całego nawozu, natomiast zawartość NPK ustalono zgodnie z ogólnie przyjętymi przelicznikami przedstawionymi w rozdziale 4.3.

Tabela 59.

Energochłonność oraz dawkovanie poszczególnych składników nawozów w uprawach mięty pieprzowej w pierwszym roku wegetacji w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika

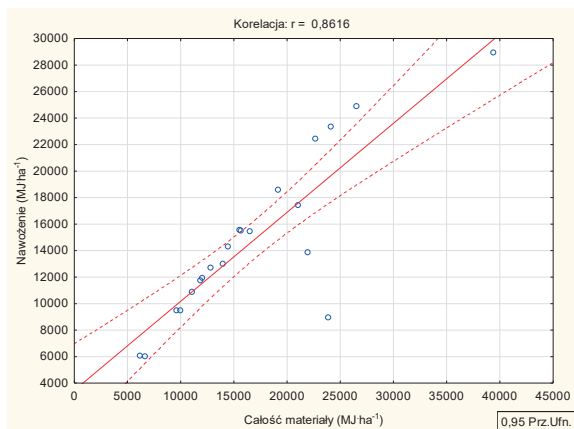
Rodzaj nawozu		Technologia uprawy		Średnia
		Sadzonki nadziemne	Sadzonki podziemne	
Nawozy mineralne	N (MJ·ha ⁻¹)	10090±5001 b	16186±5484 a*	12702,3
	P ₂ O ₅ (MJ·ha ⁻¹)	729±311 a	710±177 a	721,06
	K ₂ O (MJ·ha ⁻¹)	1536±850 a	1166±288 a	1377,4
	N (kg·ha ⁻¹)	131±65	210±71	165,0
	P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	73±31	71±18	72,1
	K ₂ O (kg·ha ⁻¹)	102±57	78±19	91,8
Nawozy naturalne	Łącznie NPK (MJ·ha ⁻¹)	250±621a	467±481a	358
	N (kg·ha ⁻¹)	25±62	47±48	35,8
	P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	15±37	28±29	21,5
	K ₂ O (kg·ha ⁻¹)	35±87	65±67	50
Łącznie nawozy mineralne i naturalne	(MJ·ha ⁻¹)	12605±5660 b	18528±6067 a	15566,5
	N (kg·ha ⁻¹)	156±116	257±103	206,5
	P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	88±43	99±44	93,5
	K ₂ O (kg·ha ⁻¹)	137±109	143±76	140

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, p=0,05

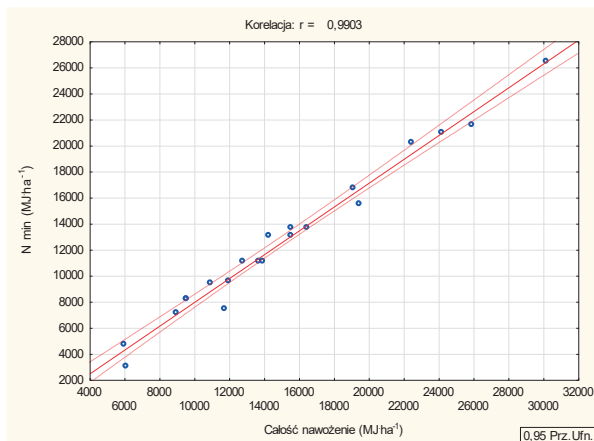
Odnutowano najwyższą energochłonność w postaci nawozów azotowych. Średnio wydatkowano na N mineralny 12702,3 MJ·ha⁻¹. Przeprowadzona jednoczynnikowa analiza wariancji poszczególnych składników nawozowych (NPK) występujących w nawozach mineralnych i stosowanej technologii uprawy wykazała, że bardziej energooszczędną pod względem mineralnego nawożenia azotowego była technologia wykorzystująca sadzonki nadziemne, średnio było to 10090 MJ·ha⁻¹ w porównaniu do 16186 MJ·ha⁻¹ wydatkowanych na technologię alternatywną. Generalnie, stwierdzono bardzo wysokie dawki nawożenia azotowego. N mineralny stosowany był w ilości 131 kg·ha⁻¹ tam gdzie do zakładania rozsadnika stosowano sadzonki nadziemne i 210 kg·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 kg·ha⁻¹. Pomiędzy energochłonnością nawozów fosforowych i potasowych w badanych technologiach uprawy nie stwierdzono istotnych różnic.

Przeprowadzona wcześniej analiza wykazuje zależność ponoszonych całkowitych nakładów materiałowych z nakładami wydatkowanymi z tytułu stosowanego nawożenia (rys. 21) oraz energochłonnością nawożenia z energochłonnością stosowanych w uprawach mineralnych nawozów azotowych (rys. 22). Obserwowano ścisłą zależność dla analizowanych cech. Stwierdzono bardzo wysoką korelację pomiędzy całościowymi nakładami mate-

riałowymi 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 (rys. 22). 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.

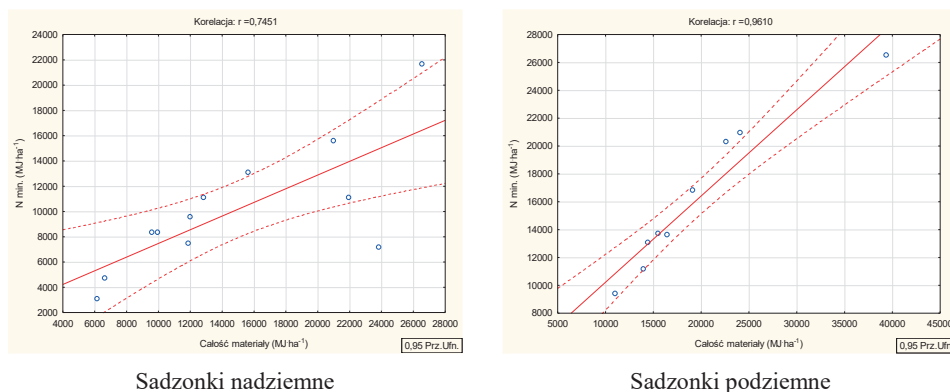


Rysunek 21. Wykres rozrzutu korelacji całkowitych materiałowych nakładów energetycznych z nakładami na stosowane nawożenie w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej



Rysunek 22. Wykres rozrzutu korelacji nakładów energetycznych ponoszonych na nawożenie z nakładami na mineralne nawożenie azotowe w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej

Korelacje nakładów stosowanych na mineralne nawożenie azotowe z całkowitymi nakładami ponoszonymi na nawożenie w rozbiciu na wydzielone technologie przedstawiono na rys. 23. W obydwu przypadkach stwierdzono bardzo wysoką zależność analizowanych cech, jednak nieco wyższy współczynnik korelacji r -Pearsona ($r=0,96$) otrzymano w technologii stosującej sadzonki rozłogowe. Należy przypuszczać, że na otrzymaną wyższą wartość współczynnika korelacji w technologii wykorzystującej sadzonki podziemne mają wpływ większe nakłady ponoszone na nawozy azotowe w porównaniu do drugiej analizowanej technologii, co miało potwierdzenie statystyczne.



Rysunek 23. Wykresy rozrzutu korelacji nakładów energetycznych ponoszonych na materiały z nakładami na mineralne nawożenie azotowe w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej, w badanych technologiach

Przedstawione trendy, potwierdzone statystycznie, wyraźnie świadczą o szczególnej roli mineralnych nawozów azotowych w podnoszeniu energochłonności uprawy mięty pieprzowej w pierwszym roku uprawy. Jednocześnie, daje się zauważyć brak racjonalności w prowadzonym nawożeniu mineralnym. Według Kołodziej (2010) zalecane dawki nawozów mineralnych dla mięty pieprzowej, zależnie od zasobności gleby to: $80\text{--}120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $60\text{--}80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, $120\text{--}140 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$. Analizując wyniki badań w tab. 59 można zauważyć szczególnie niedobór nawozów potasowych, przedstawione średnie dawkowanie K_2O to 90 kg ha^{-1} . Jak wykazują Johnston i in. (2001), Pawlus i Nowak (2001), Antoszkiewicz i in. (2003), w warunkach dobrego zaopatrzenia roślin w potas, następuje lepsze wykorzystanie nawozów azotowych, co wyraża się wzrostem ich efektywności. Ponadto, potas, między innymi, reguluje gospodarkę wodną roślin, niwelując oddziaływanie stresu suszy, poprawia i stabilizuje plonowanie roślin.

W dalszej kolejności, analizie poddano nakłady materiałowe ponoszone w pierwszym roku uprawy, w grupach gospodarstw badanych ze względu na powierzchnię uprawy ziół. Średnie wartości energochłonności skumulowanej w materiałach przedstawiono w tab. 60.

Tabela 60

Średnie wartości energochłonności skumulowanej w surowcach i materiałach ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w badanych grupach gospodarstw o różnej powierzchni uprawy ziół, w pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej

Strumień energochłonności	Powierzchnia zajęta uprawą ziół			
	1-3 ha	4-9 ha	10 ha $\leq$	Średnio
Surowce i materiały całość	14967 $\pm$ 5004	17373 $\pm$ 6530	18154 $\pm$ 10190	16831,3
Pestycydy	995	2219	4477	2563,5
Nawożenie naturalne i mineralne łącznie	13958	15151	13673	14260,8
Nawożenie mineralne	13771	14782	13179	13910,8
Nawożenie naturalne	188	369	494	350
Woda	2,1 b	2,3 b	3,8 a	2,7

*a, b, grupy jednorodne wg testu Tukey'a, $p=0,05$

Przeprowadzona analiza statystyczna otrzymanych wartości energochłonności skumulowanej w zastosowanych surowcach i materiałach nie wykazała istotnych różnic pomiędzy wydzielonymi grupami gospodarstw. Średnio, kształtowały się na poziomie 16831,3 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Podobnie, nie stwierdzono różnic pomiędzy grupami powierzchniowymi w obrębie większości składowych. Największe nakłady energii przypadły na nawożenie, w tym nawożenie mineralne pochłaniało średnio 13910,8 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Należy nadmienić, że w obrębie każdej z grup zarówno nawozy naturalne, jak i pestycydy nie były stosowane we wszystkich gospodarstwach, co z pewnością rzutuje na otrzymane wyniki. Obserwowano jedynie zróżnicowanie w wykorzystaniu wody. Dominujący udział miały tu gospodarstwa o największym areale uprawy ziół, co może pośrednio świadczyć o większym wykorzystaniu środków chemicznych. Wcześniej prowadzona analiza dotycząca nakładów energii skumulowanej na poszczególne czynności wykonywane w uprawach melisy, takie zależności wykazała. Brak istotnych różnic w materiałowych nakładach związanych z wykorzystaniem pestycydów, może być związany z mniejszą ilością substancji aktywnych w danym środku. W celu poznania struktury nakładów energetycznych wydatkowanych na stosowane nawożenie w uprawach mięty pieprzowej, w wydzielonych grupach gospodarstw, przeprowadzono dokładną analizę, oddzielnie na poszczególne składniki nawozów (NPK), a wyniki przedstawiono w tab. 61. Dla pełniejszego obrazu tego strumienia energetycznego, oprócz wydatkowanej energii na ten cel przedstawiono stosowane dawki NPK w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Przeprowadzona analiza nie wykazała zróżnicowania w materiałowych nakładach energetycznych na poszczególne makroskładniki (NPK) pomiędzy 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 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Przekłada się to na zastosowanie w nawozach 153 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N. Średnie nakłady na nawożenie K_2O to 1367 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast P_2O_5 726,2 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nadmienić należy, że zazwyczaj nawozy te są stosowane jeden raz przed założeniem plantacji, w odróżnieniu od nawożenia

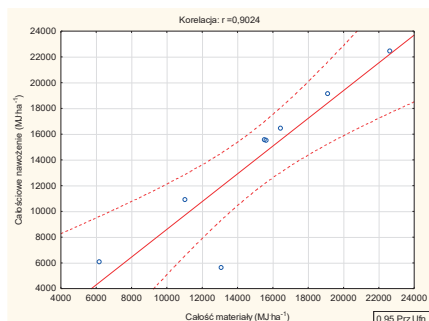
azotowego, które prowadzone jest także pogłównie i to w niektórych przypadkach kilkakrotnie. Rola N jako podstawowego pierwiastka plonotwórczego jest powszechnie znana. Tylko w nielicznych gospodarstwach w grupie obejmującej uprawy zlokalizowanych na 4-9 ha obserwowano dodatkowe, pogłowne stosowanie nawożenia potasowego. Pogłowne nawożenie potasowe w uprawach mięty pieprzowej ma swoje racjonalne uzasadnienie, bowiem jak wykazano wcześniej, pierwiastek ten wpływa między innymi na gospodarkę wodną roślin (Brogowski i Gawrońska-Kulesza, 2005), a mięta pieprzowa jest gatunkiem mającym wysokie wymagania wodne (Kołodziej, 2010). Nakłady energii ponoszone na wytworzenie NPK z nawozów naturalnych liczono jednokrotnie (w całości na obornik), wychodząc z założenia, że wydatkowane są na ten sam produkt. Według niektórych autorów, ten rodzaj nakładów można potraktować jako energię odnawialną (Unakitan i Aydın, 2018). Porównując nakłady energii na poszczególne rodzaje nawozów mineralnych z nakładami na nawozy naturalne, nadal dominującym było mineralne nawożenie azotowe.

Tabela 61.

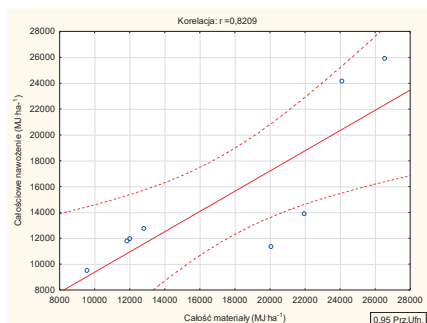
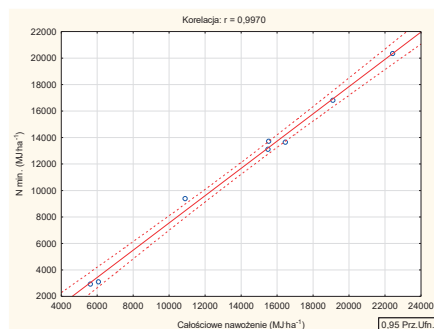
Energochłonność oraz dawkovanie poszczególnych składników nawozów w uprawach mięty pieprzowej w grupach powierzchniowych, w pierwszym roku wegetacji

Strumień energochłonności		Powierzchnia zajęta uprawą ziół			
		1-3 ha	4-9 ha	10 ha ≤	Średnio
Nawozy mineralne	N ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	11627±6176	12343±5677	11484±7158	11817,7
	P ₂ O ₅ ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	812±247	772±278	594±206	726,2
	K ₂ O ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	1332±331	1667±992	1101±308	1367
	N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	151±80	160±74	149±93	153
	P ₂ O ₅ ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	81±25	77±28	59±21	73
	K ₂ O ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	89±22	111±66	73±20	91
Nawozy naturalne	N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	19±37	37±52	49±76	35
	P ₂ O ₅ ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	11±22	22±31	30±46	21
	K ₂ O ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	26±52	52±73	69±107	49
	Łącznie NPK ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	188±372	369±523	494±761	350
Łącznie nawozy mineralne i naturalne	N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	170±98	197±111	199±155	188
	P ₂ O ₅ ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	92±29	99±45	89±51	93
	K ₂ O ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	115±47	163±92	143±122	140

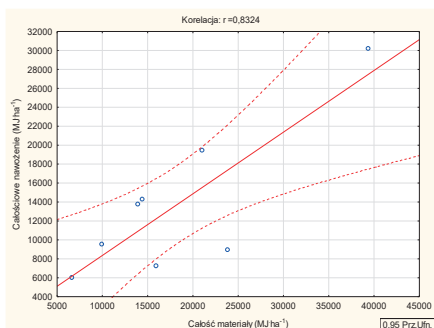
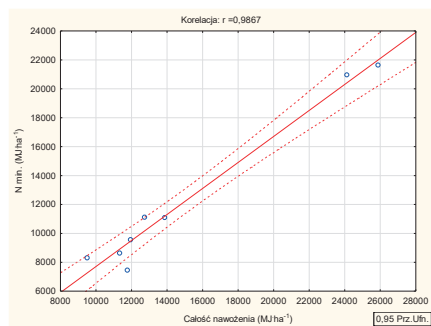
W wyodrębnionych grupach gospodarstw przeprowadzono analizę stopnia zależności wysokości nakładów energetycznych ponoszonych na strumień materiałów z nakładami na nawożenie, a następnie całościowego nawożenia, z mineralnym nawożeniem azotowym. Wyniki analizy zamieszczono na rys. 24.



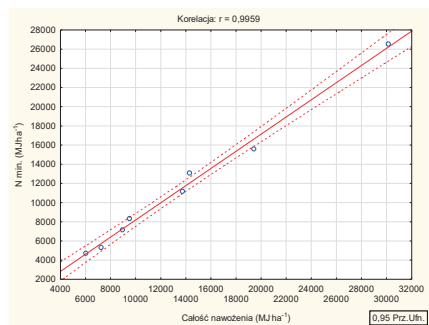
1-3 ha



4-9 ha



10 ha ≤



A

B

Rysunek 24. Wykresy rozrzutu korelacji nakładów energetycznych ponoszonych na materiały z nakładami na nawożenie mineralne (A) oraz nawożenia mineralnego z azotowym (B), w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej, w grupach powierzchniowych

W każdej grupie badanych gospodarstw stwierdzono ścisłą zależność wysokości nakładów energetycznych ponoszonych na wykorzystywane w pierwszym roku uprawy mięty materiały, z nakładami wydatkowanymi na stosowane nawożenie. Najwyższy współczyn-

nik korelacji r-Pearsona obserwowano w grupie najmniejszej powierzchniowo, gdzie wynosił 0,9, co wskazuje na prawie całkowitą zależność analizowanych parametrów. W grupie gdzie ziola zajmowały 4-9 ha stanowił 0,82, a przy największych arealach uprawy ziół 0,83, co sugeruje, wykazany w tabeli 51, trend wyższych nakładów energii skumulowanej związanej ze stosowaniem pestycydów w gospodarstwach o większym areale uprawy ziół, co wydaje się mieć logiczne uzasadnienie.

Średnie wartości energochłonności skumulowanej w materiałach w drugim roku wegetacji mięty pieprzowej w badanych technologiach zestawiono w tabeli 62.

Tabela 62.

Średnie nakłady energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ponoszone na materiały w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika w drugim roku wegetacji mięty pieprzowej

Strumień energochłonności	Sadzonki z pędów nadziemnych	Sadzonki z rozłogów podziemnych	Średnio
Materiały całość	11950±3881a*	14159±7115a	12953,9
Pestycydy	390	889	616,9
Nawożenie	11549	13268	12330,4
Woda	3	2	2,4

*a, b, grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, $p=0,05$

W drugorocznej uprawie mięty pieprzowej nie stwierdzono różnicy w nakładach materiałowych między rozpatrywanymi technologiami uprawy. Obserwowano dysproporcje pomiędzy poszczególnymi składowymi. Podobnie, jak i w pierwszym roku uprawy, największą energochłonnością odznaczało się nawożenie, ze średnimi wartościami 12330,4 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Należy podkreślić, że w drugim roku prowadzenia plantacji stosowano tylko nawozy mineralne. Aby wydzielić najbardziej energochłonne składniki nawożenia, przeprowadzono kolejną analizę, a jej rezultaty zamieszczono w tab. 63.

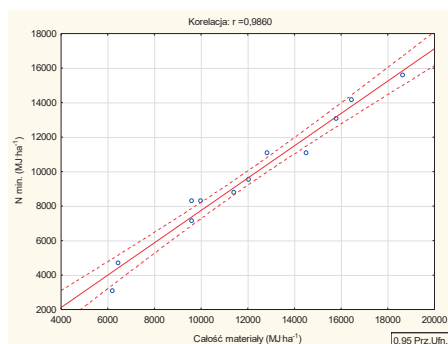
Tabela 63.

Energochłonność oraz dawkovanie poszczególnych składników nawozów w uprawach mięty pieprzowej w drugim roku wegetacji w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika

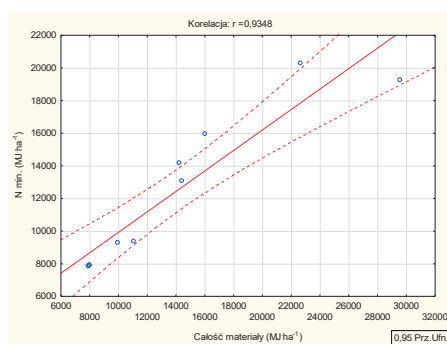
Strumień energochłonności		Technologia uprawy		Średnio
		Sadzonki nadziemne	Sadzonki podziemne	
Nawozy mineralne	N (MJ·ha ⁻¹)	9580±3692 a*	12537±4774 a	10924,0
	P ₂ O ₅ (MJ·ha ⁻¹)	696±301 a	256±352 b	496,1
	K ₂ O (MJ·ha ⁻¹)	1274±401 a	474±652 b	910,4
	N (kg·ha ⁻¹)	124±48	163±62	141,9
	P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	70±30	26±35	49,6
	K ₂ O (kg·ha ⁻¹)	85±27	32±43	60,7

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, $p=0,05$

Rozpatrując nawożenie NPK w drugim roku wegetacji mięty pieprzowej stwierdzono, podobnie jak w roku poprzednim, że największą energochłonnością w obydwu technologiach charakteryzowało się nawożenie azotowe, stanowiąc średnio $10924,0 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Pośród rozpatrywanych technologii nie obserwowano różnic w nakładach ponoszonych na ten składnik. Natomiast, zarówno nawożenie potasowe, jak i fosforowe, różniło się wartościami energii wydatkowanej na te makroskładniki w poszczególnych technologiach. Większe, średnie nakłady ponoszono w technologii wykorzystującej sadzonki podziemne. Należy jednak nadmienić, że te pierwiastki w drugim roku prowadzenia uprawy nie były stosowane we wszystkich gospodarstwach. Korelacje nakładów energii skumulowanej w materiałach z nakładami ponoszonymi na nawożenie azotowe w rozbiu na wydzielone technologie uprawy przedstawiono na rys. 25.



Sadzonki nadziemne



Sadzonki podziemne

Rysunek 25. Wykresy rozrzutu korelacji całkowitych materiałowych nakładów energetycznych z nakładami na nawożenie azotowe w drugim roku uprawy mięty pieprzowej, w wydzielonych technologiach

Przedstawiona statystyczna zależność o bardzo wysokiej sile, współczynnik korelacji r-Pearsona 0,986 dla technologii wykorzystującej sadzonki nadziemne i 0,935 dla technologii z sadzonkami rozłogowymi jest potwierdzeniem najwyższej roli nawożenia azotowego w materiałowych nakładach energetycznych w obydwu analizowanych technologiach.

Podobnie jak w pierwszym roku wegetacji, analizie poddano nakłady energii wydatkowanej na materiały w drugim roku wegetacji mięty pieprzowej w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w danym gospodarstwie. Wyniki tej analizy zamieszczono w tab. 64.

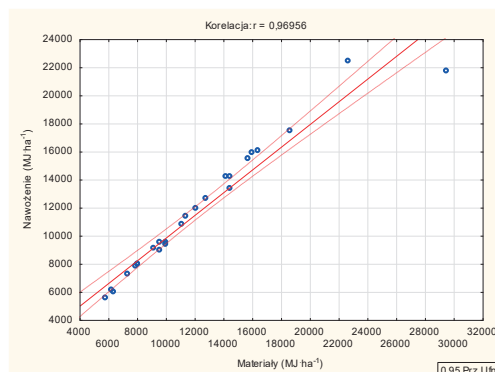
Tabela 64.

Średnie wartości energochłonności skumulowanej w materiałach ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w badanych grupach powierzchniowych, w drugim roku wegetacji mięty pieprzowej

Strumień energochłonności	Powierzchnia zajęta uprawą ziół			Średnio
	1-3 ha	4-9 ha	10 ha $\leq$	
Surowce i materiały całość	11051 $\pm$ 5559 a	12747 $\pm$ 2722 a	13235 $\pm$ 7674 a	12292,6
Nawożenie mineralne	10954	12514	11818	11729,6 a
Pestycydy	85	231	1413	556,9 b
Woda	2	2	3	2,5 b

*a, b, grupy jednorodne wg testu Tukey'a, $p=0,05$

Przy tak prowadzonej analizie, obserwowano tylko różnice pomiędzy rodzajem materiałów, natomiast nie wykazano zróżnicowania w grupach powierzchniowych wydzielonych ze względu na areal uprawy ziół. Podobnie jak poprzednio, najwięcej energii pochłaniało nawożenie, średnio $11729,6 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Jako, że w drugim roku prowadzenia plantacji stosowane było tylko nawożenie mineralne, ta informacja dotyczy tylko tego rodzaju nawozów. Aby sprawdzić czy istnieje zależność całościowych nakładów materiałowych od nakładów ponoszonych tylko na nawożenie, przeprowadzono analizę korelacji tych parametrów. Graficzną interpretację związku między całkowitymi nakładami ponoszonymi w uprawie mięty pieprzowej w drugim roku uprawy, a nakładami ponoszonymi tylko na nawożenie mineralne przedstawiono na rys. 26.



Rysunek 26. Wykres rozrzutu korelacji całkowitych nakładów materiałowych z nakładami na nawożenie mineralne w drugim roku uprawy mięty pieprzowej, w badanych gospodarstwach o zróżnicowanej powierzchni ziół

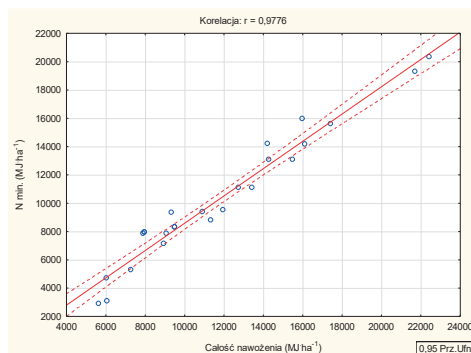
Stwierdzono silną zależność całkowitych nakładów materiałowych z nakładami energoczynnymi ponoszonymi w drugim roku uprawy mięty pieprzowej. Współczynnik korelacji r-Pearsona wynosił w tym przypadku 0,97. Aby wykazać, które z analizowanych makroskładników mają tu decydujące znaczenie, wykonano kolejną analizę, osobno dla wartości przedstawionych w jednostkach energii i masy, a jej wyniki zamieszczono w tab. 65.

Tabela 65.

Energochłonność oraz dawkovanie poszczególnych składników nawozów w uprawach mięty pieprzowej w grupach powierzchniowych, w drugim roku uprawy

Strumień energochłonności		Powierzchnia zajęta uprawą ziół			Średnio
		1-3 ha	4-9 ha	10 ha ≤	
Nawozy mineralne	N (MJ·ha ⁻¹)	9645±5524	10856±2891	10348±5176	10257,3
	P ₂ O ₅ (MJ·ha ⁻¹)	483±504	587±351	504±284	523,2
	K ₂ O (MJ·ha ⁻¹)	825±811	1071±600	966±497	949,1
	N (kg·ha ⁻¹)	125±72	141±38	134±67	133,2
	P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	48±50	59±35	50±28	52,3
	K ₂ O (kg·ha ⁻¹)	55±54	71±40	64±33	63,3

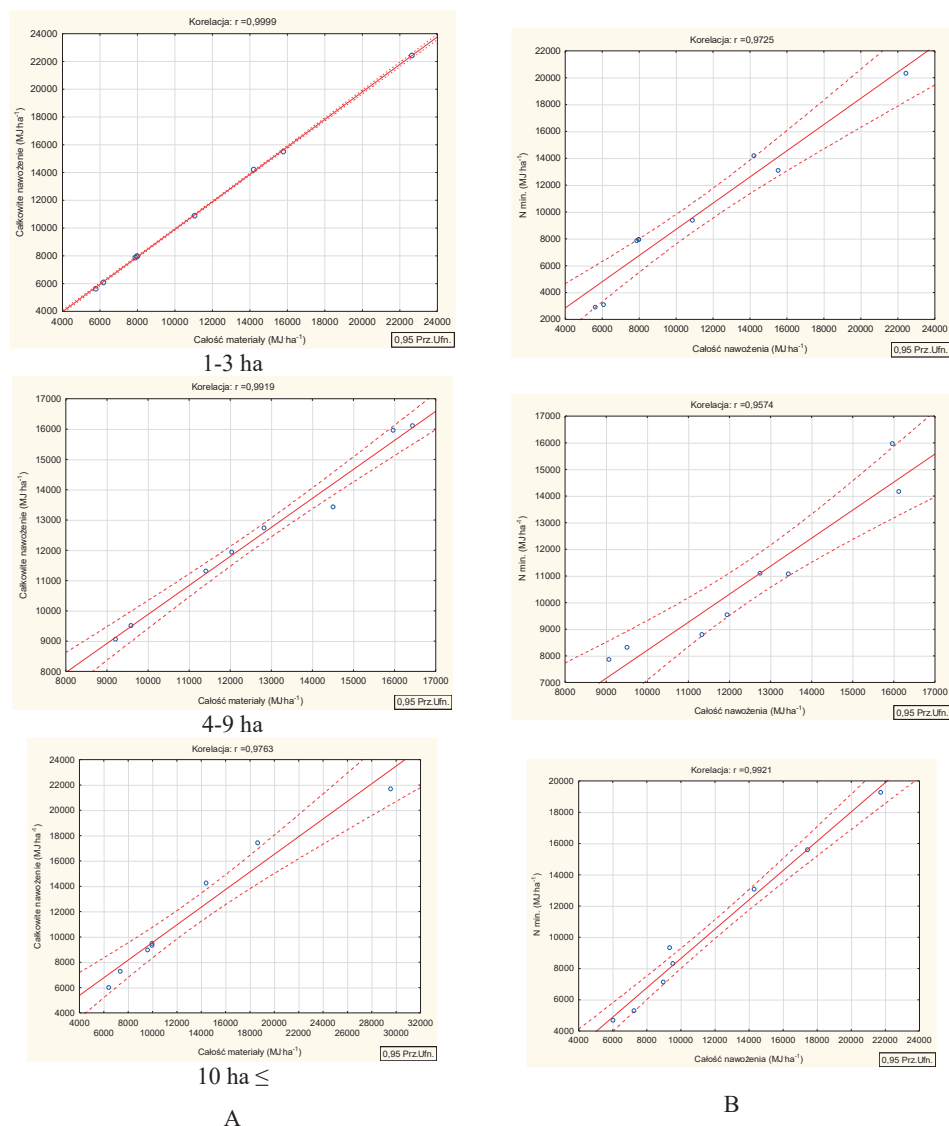
Otrzymane wyniki analizy, to kolejne potwierdzenie statystyczne najwyższej energochłonności nawozów azotowych stosowanych w uprawie mięty pieprzowej w drugim roku wegetacji. Średnie nakłady energii ponoszone na ten cel wynosiły 10257,3 MJ·ha⁻¹, co przekłada się na stosowanie w uprawach średnio 133,2 N kg·ha⁻¹. Natomiast nie obserwowano zróżnicowania w nakładach energetycznych wydatkowanych na analizowane makroskładniki (NPK) pomiędzy wydzielonymi grupami powierzchniowymi uprawy ziół. W gospodarstwach, podobnie jak w roku poprzednim, daje się zauważyć niewspółmiernie niskie, w stosunku do nawożenia azotowego, wykorzystanie fosforu i potasu. Średnie dawkovanie tych makroskładników wynosi P₂O₅, 52,3 kg·ha⁻¹, natomiast K₂O, 63,3 kg·ha⁻¹. Zależność nakładów materiałowych dotyczących stosowanego nawożenia w gospodarstwach objętych analizą z nakładami związanymi z nawożeniem azotowym przedstawiono na rys. 27.



Rysunek 27. Zależność nakładów energetycznych na nawożenie mineralne z nakładami na nawożenie azotowe w drugim roku uprawy mięty pieprzowej, w gospodarstwach o zróżnicowanej powierzchni uprawy ziół

Obserwowano ścisłą zależność nakładów materiałowych ponoszonych w związku ze stosowanym nawożeniem mineralnym z nawożeniem azotowym w gospodarstwach, współczynnik r-Pearsona wynosił 0,977. Analizowane zależności w rozbiciu na grupy powierzchniowe uprawy ziół, wysokości nakładów energetycznych ponoszonych na materiały

z nakładami na nawożenie mineralne oraz energochłonności nawożenia mineralnego i nawożenia azotowego w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej przedstawiono na rys. 28.



Rysunek 28. Zależność całkowitych nakładów energetycznych materiałowych z nakładami na nawożenie mineralne (A) oraz nawożenia mineralnego z nawożeniem azotowym (B) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w analizowanych grupach powierzchniowych

W każdym analizowanym przypadku, zależność badanych parametrów można uznać za bardzo silną, co wskazuje, że podobnie jak w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej, niezależnie od wielkości powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie, wzrost wartości nakładów materiałowych jest równoznaczny ze zwiększeniem nakładów na 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; Uzunoz i in., 2008; Alluvione, 2011).

Melisa lekarska – energochłonność skumulowana w surowcach i materiałach

Istotnym czynnikiem mającym wpływ na efektywność produkcji melisy lekarskiej są nakłady materiałowe. Charakterystykę tego strumienia energii w pierwszym roku uprawy melisy w gospodarstwach realizujących odmienną technologię uprawy przedstawiono w tab. 66.

Tabela 66.

Średnie nakłady energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) skumulowane w materiałach i surowcach w zależności od zastosowanej technologii uprawy melisy lekarskiej w pierwszym roku prowadzenia plantacji

Strumień materiałów i jego składowe	Technologia		Średnia
	Nasiona	Sadzonki	
Strumień materiałów	10282±2620 a*	14616±6646 a	12791,0
Nawożenie mineralne	10043 a	12546 a	11492,0
Nawożenie organiczne i naturalne	86,80 a	2018 a	1205,0
Pestycydy	353 a	2612 a	1660,8
Nasiona	150 a	6,98 b	67,2
Woda	3 b	14 a	9,4
Ziemia do tuneli	0	30	x

*a, b, grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, $p=0,05$

W pierwszym roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej nie obserwowano istotnych różnic w sumarycznych nakładach materiałowych pomiędzy wyodrębnionymi technologiami uprawy, średnio stanowiły one $12791 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Zauważono zróżnicowanie wielkości nakładów na nisko energochłonne składniki tego strumienia, nasiona oraz wodę, co związane jest ze stosowaną technologią uprawy, ale nie wpływa w znacznym stopniu na osiągnięte rezultaty końcowe. Największą energochłonnością z pośród zastosowanych materiałów odznaczało się nawożenie mineralne, średnio w obydwu technologiach stanowiło 89,8% całkowitych nakładów, należy więc poszukiwać ewentualnych oszczędności w ograniczaniu tego strumienia energii. W związku z dominującą rolą nawożenia mineralnego, szczegółowej analizie poddano energochłonność podstawowych makroskładników

nawozowych, jednocześnie podając stosowane dawki NPK na 1 ha. Otrzymane wartości przedstawiono w tab. 67.

Tabela 67.

Energochłonność oraz dawkowanie poszczególnych składników nawozów w uprawach melisy lekarskiej w pierwszym roku prowadzenia plantacji w zależności od zastosowanej technologii uprawy

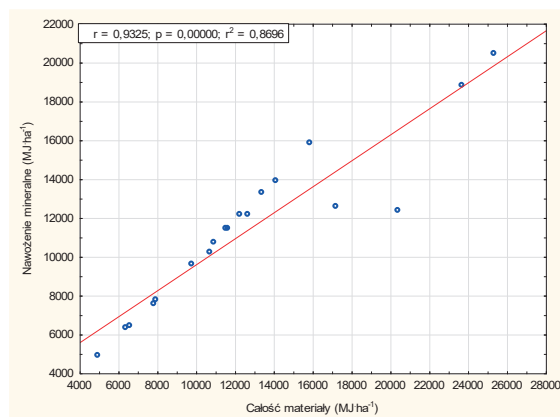
Strumień materiałów		Technologia uprawy		Średnia
		Nasiona	Sadzonki	
Nawozy mineralne	N ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	7320±2169 a*	7923±3635 a	7669,0
	P ₂ O ₅ ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	715±189 a	697±240 a	704,5
	K ₂ O ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	1681±615 a	1227±443 a	1418,0
	N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	95±28	103±47	99,6
	P ₂ O ₅ ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	72±19	70±24	70,4
	K ₂ O ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	112±41	82±30	94,5
	N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	0	55±71	x
	P ₂ O ₅ ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	0	33±42	x
	K ₂ O ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	0	77±100	x
Łącznie NPK ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)		0	2018	x
Łącznie nawozy mineralne i naturalne	N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	95	158	126,5
	P ₂ O ₅ ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	72	103	87,5
	K ₂ O ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	112	159	135,5

*a, b, grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, p=0,05

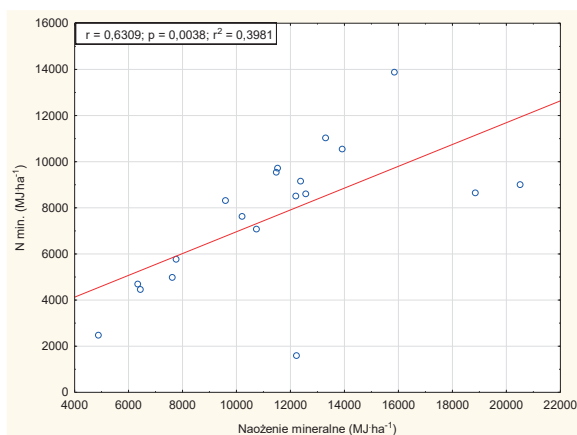
Nie stwierdzono heterogeniczności w wartościach energii i dawkach poszczególnych składników pomiędzy rozpatrywanymi technologiami. Najwięcej energii wydatkowanej na nawożenie mineralne pochłaniało nawożenie azotowe, średnio w gospodarstwach objętych analizą było to 7669,0 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast nawożenie potasowe wymagało średnich nakładów w wysokości 1418,0 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ i fosforowe 704,5 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. W analizowanych gospodarstwach średnie dawkowanie N wynosiło 99,6 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, K₂O 94,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ i P₂O₅ 70,4 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Po zsumowaniu masy stosowanych makroskładników w nawożeniu mineralnym i naturalnym (zgodnie z podaną metodyką), średnie wartości kształtowały się odpowiednio: 126,5, 135,5 oraz 87,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Kołodziej (2010) wskazuje, że najlepsze rezultaty dla tego gatunku osiągnano przy stosowaniu ilości N 90-120 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, P₂O₅ 60-80 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ i K₂O 80-100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

W związku z tym, że przeprowadzona analiza pokazuje zależność ponoszonych sumarycznych nakładów materiałowych z nakładami wydatkowanymi z tytułu stosowanego nawożenia oraz energochłonnością nawożenia z energochłonnością stosowanych w upra-

wach mineralnych nawozów azotowych, przeprowadzono analizę korelacyjną wymienionych parametrów, a jej rezultaty zamieszczono na rys. 29 i 30.



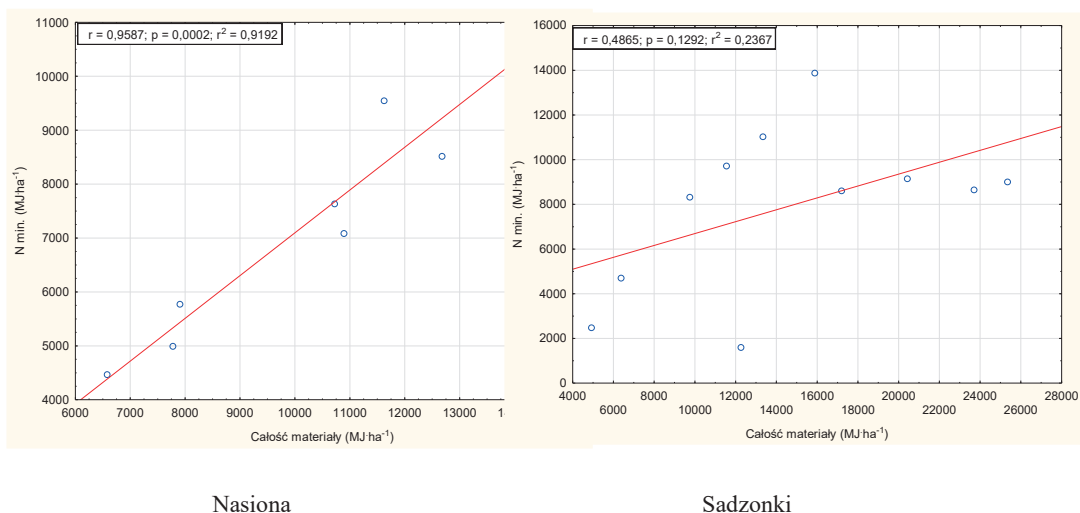
Rysunek 29. Wykres rozrzutu korelacji całkowitych materiałowych nakładów energetycznych z nakładami na stosowane nawożenie mineralne w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej



Rysunek 30. Wykres rozrzutu korelacji nakładów energetycznych ponoszonych na nawożenie z nakładami na stosowane nawożenie azotowe w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej

Obserwowano istotną zależność dla analizowanych cech. Stwierdzono bardzo wysoką korelację pomiędzy sumarycznymi nakładami materiałowymi a nakładami ponoszonymi na nawożenie azotowe melisy lekarskiej w pierwszym roku wegetacji, współczynnik korelacji

r-Pearsona wynosił tu 0,93. Natomiast pomiędzy energochłonnością nawożenia a energochłonnością mineralnych nawozów azotowych wystąpiła zależność niższa, współczynnik korelacji r-Pearsona stanowił 0,63, co świadczy jeszcze o roli pozostałych składników. Zmniejszanie energochłonności skumulowanej w materiałach w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej jest najbardziej skuteczne przez optymalne nawożenie mineralne. Na rys. 31 zaprezentowano korelacje sumarycznych nakładów ponoszonych na materiały z nakładami związanymi z nawożeniem azotowym w rozbiu na wydzielone technologie. W gospodarstwach, gdzie stosowano siew nasion bezpośrednio na polu docelowym, stwierdzono bardzo wysoką zależność analizowanych cech, współczynnik korelacji Pearsona $r=0,96$. Natomiast w technologii alternatywnej, nie otrzymano istotnej zależności. Na ten fakt wpłynęła zarówno potrzeba wykorzystania materiałów na etapie produkcji sadzonek (ziemia kompostowa, woda do podlewania, środki grzybobójcze) jak i wyższe średnie zużycie energii na nawozy naturalne i środki chemicznej ochrony.



Rysunek 31. Wykresy rozrzutu korelacji nakładów energetycznych ponoszonych na materiały z nakładami na mineralne nawożenie azotowe w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej, w rozpatrywanych technologiach

W dalszej kolejności analizie poddano nakłady materiałowe ponoszone w drugim roku uprawy melisy lekarskiej w grupach gospodarstw wydzielonych ze względu na stosowanie odmiennej technologii uprawy. Średnie wartości energochłonności skumulowanej w materiałach przedstawiono w tab. 68.

Tabela 68.

Średnie nakłady energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ponoszone na materiały w zależności od zastosowanej technologii uprawy w drugim roku prowadzenia plantacji

Strumień materiałów i jego składowe	Technologia		Średnia
	Nasiona	Sadzonki	
Strumień materiałów	9875±2265 a*	12085±5591 a	11154,7
Nawożenie mineralne	9758	11967	11036,8
Pestycydy	115	116	115,8
Woda	2	2	2,2

a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, $p=0,05$

W drugim roku uprawy melisy nie wykazano istotnych różnic pomiędzy badanymi grupami gospodarstw. Średnio nakłady materiałowe kształtowały się na poziomie 11154,7 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, czyli w stosunku do pierwszego roku uprawy były niższe o 16 36,7 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Najwięcej energii pochłaniało stosowane nawożenie mineralne ze średnią wartością 11036,8 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, a między badanymi technologiami nie stwierdzono istotnych różnic. W celu poznania struktury nakładów energetycznych ponoszonych na stosowane nawożenie w drugim roku uprawy melisy lekarskiej, w badanych grupach gospodarstw, przeprowadzono analizę, oddzielnie na poszczególne składniki nawozów (NPK), a wyniki przedstawiono w tab. 69. Dla pełniejszego obrazu tego strumienia energetycznego, oprócz wydatkowanej energii na ten cel przedstawiono stosowane dawki NPK w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

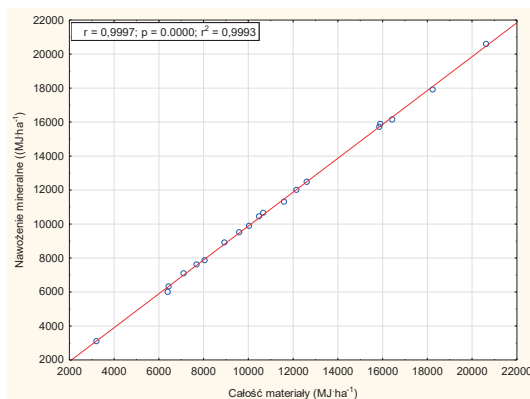
Tabela 69.

Energochłonność oraz dawkowanie poszczególnych składników nawozów w uprawach melisy lekarskiej w drugim roku wegetacji

Strumień materiałów	Technologia uprawy		Średnia
	Nasiona	Sadzonki	
Nawozy mineralne	N ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	8297±2681 a	9790,3
	P ₂ O ₅ ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	372±307 a	401,2
	K ₂ O ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	813±685 a	795,7
	N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	108±35	127
	P ₂ O ₅ ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	33±31	38
	K ₂ O ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	47±46	50

*a, b, grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, $p=0,05$

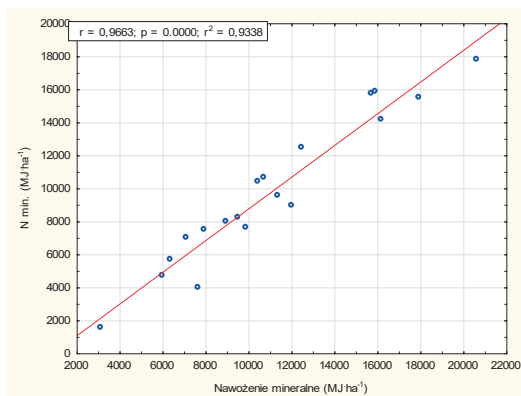
Wyniki przeprowadzonej analizy nakładów energetycznych ponoszonych na zastosowane nawożenie mineralne poszczególnymi makroskładnikami w badanych grupach gospodarstw nie wykazały heterogeniczności pomiędzy rozpatrywanymi technologiami. Niezależnie od technologii, największe nakłady energii ponoszone były na nawożenie azotowe. Średnia energochłonność azotu w uprawie melisy w drugim roku to $9790,3 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Natomiast średnie nakłady na nawożenie K_2O to $795,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ oraz P_2O_5 , $401,2 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Takie same zależności obserwowane były dla nawożenia ujmowanego w jednostkach masy, w analizowanych gospodarstwach średnie dawki N wynosiły $127 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, K_2O , $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, P_2O_5 , $38 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Podobnie jak dla pierwszego roku uprawy, w badanych grupach gospodarstw przeprowadzono analizę stopnia zależności wysokości nakładów energetycznych ponoszonych na strumień materiałów z nakładami na nawożenie, a wyniki analizy zamieszczono na rysunku 32.



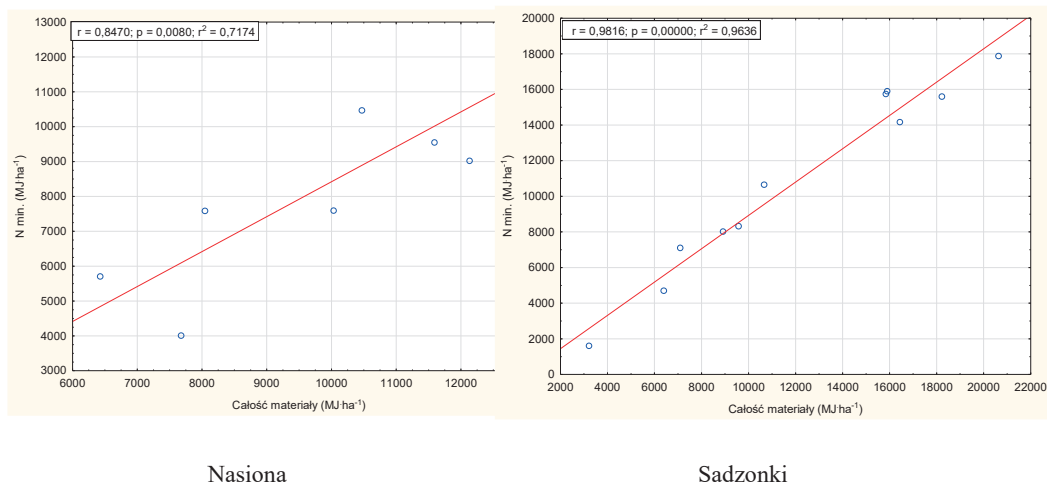
Rysunek 32. Wykres rozrzutu korelacji całkowitych nakładów materiałowych z nakładami na nawożenie mineralne w drugim roku uprawy melisy lekarskiej

Stwierdzono bardzo silną, praktycznie pełną zależność sumarycznych nakładów materiałowych z nakładami energetycznymi ponoszonymi z tytułu nawożenia mineralnego na plantacjach melisy lekarskiej w drugim roku uprawy. Współczynnik korelacji r-Pearsona wynosił w tym przypadku 0,9997. Ze względu na to, że wcześniejsza analiza wykazała najwyższą energochłonność nawozów azotowych, w dalszej kolejności sprawdzono związki korelacyjne między energochłonnością tych nawozów, a wydatkami energii ponoszonej w związku ze stosowanym nawożeniem mineralnym. Graficzną interpretację tej zależności przedstawiono na rys. 33.

Przedstawiona statystyczna zależność o bardzo wysokiej sile, współczynnik korelacji r-Pearsona 0,966 jest potwierdzeniem najwyższej roli nawożenia azotowego w nakładach energetycznych związanych ze stosowanym nawożeniem mineralnym w uprawie melisy w drugim roku wegetacji. Korelacje nakładów energii skumulowanej w materiałach z nakładami ponoszonymi na nawożenie azotowe w rozbiciu na wydzielone technologie uprawy przedstawiono na rys. 34.



Rysunek 33. Wykres rozrzutu korelacji całkowitych nakładów energetycznych na nawożenie mineralne z nakładami na nawożenie azotowe w drugim roku uprawy melisy lekarskiej



Rysunek 34. Wykresy rozrzutu korelacji sumarycznych materiałowych nakładów energetycznych z nakładami na nawożenie azotowe w drugim roku uprawy melisy lekarskiej, w poszczególnych technologiach

W każdym analizowanym przypadku, zależność badanych parametrów można uznać za bardzo silną, co wskazuje, że wzrost wartości nakładów materiałowych jest równoznaczny ze zwiększeniem nakładów poniesionych na 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; Uzunoz i in., 2008; Alluvione, 2011).

5.5. Energochłonność skumulowana w produkcji ziół

Energochłonność skumulowana w produkcji mięty pieprzowej

Analizy nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję mięty pieprzowej wskazują, że dominujące w tej branży produkcji są nakłady energii wnoszone w formie materiałów i bezpośrednich nośników energii, np. paliw (Harasim, 1997; Gündoğmuş, 2006; Kowalski i Malaga-Toboła, 2006; Shahin i in., 2008; Khan i in., 2009). Aby wyłonić w produkcji mięty pieprzowej najbardziej energochłonny strumień energii skumulowanej przeprowadzono podsumowującą analizę jej poszczególnych składowych. Zestawienie wszystkich strumieni energetycznych wraz z analiza statystyczną dla pierwszego roku uprawy mięty pieprzowej w badanych technologiach przedstawiono w tab. 70 i na rys. 35.

Tabela 70.

Strumienie nakładów energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej

Nakłady energii skumulowanej	Sadzonki z pędów nadziemnych	Sadzonki z rozłogów podziemnych	Średnio
Suma całkowitych nakładów energetycznych ponoszonych w I roku uprawy	64117±14126 a*	73300±12865 a	68708,5
Energochłonność inwestycyjna	11396±4004 a	10519±3110 a	10957,5
Energochłonność pracy	21203±5960 b	28470±5738 a	24836,5
Energochłonność paliw	16678±7177 a	14675±5434 a	15676,5
Energochłonność materiałów	14840±6886 a	19635±8512 a	17237,5

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, $p \leq 0,05$

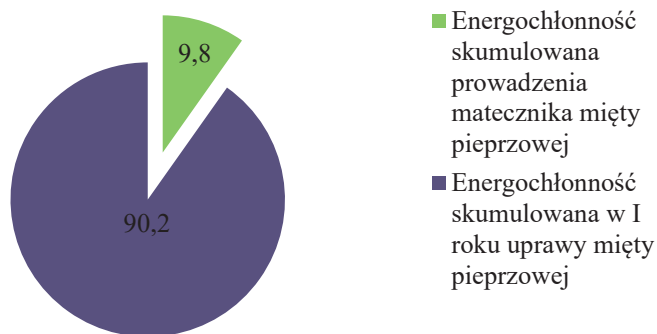
Przeprowadzona analiza wariancji nakładów energii skumulowanej ponoszonych w uprawie mięty pieprzowej na rocznych plantacjach w analizowanych technologiach uprawy, nie wykazała istotnych różnic pomiędzy nimi. W pierwszym roku uprawy największą energochłonnością skumulowaną odznaczał się strumień pracy ludzkiej, który pochłaniał średnio aż $24836,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Na drugiej pozycji znalazł się strumień materiałów ze średnią wartością $17237,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, niewiele mniejsze średnie wartości stwierdzono dla strumienia paliw, $15676,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nietypowym dla większości roślin rolniczych, aczkolwiek charakterystycznym dla upraw mięty pieprzowej jest prowadzenie rozsadnika. Niewątpliwie ten etap produkcji rocznej generuje znaczne nakłady energii skumulowanej. Celem jego jest wytworzenie materiału rozmnożeniowego służącego do założenia plantacji, w związku z powyższym, w analogii do pozostałych upraw rolniczych, stanowi odpowiednik materiału siewnego, czy też np. w produkcji ziemniaków sadzeniaków. Należy nadmien-

nić, że niewłaściwą, choć niekiedy stosowaną w praktyce metodą pozyskiwania materiału rozmnożeniowego jest pobieranie rozłogów z likwidowanej plantacji produkcyjnej (Kołodziej, 2010). Traktując ten etap (prowadzenie matecznika) jako element racjonalnego gospodarowania, tym samym pozyskania zdrowego materiału szkółkarskiego, między innymi podejmujemy działania prewencyjne, zdążające w kierunku ograniczania na plantacjach produkcyjnych zużycia pestycydów. Jednocześnie, nakłady te należy doliczyć do pierwszego roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej. Idąc tym tropem rozumowania, w tab. 71 przedstawiono średnie nakłady ponoszone we wszystkich strumieniach energii skumulowanej dla I roku wraz z sumarycznymi nakładami przeznaczonymi na rozsadnik w jednostkach energii, natomiast na rys. 35 w ujęciu procentowym.

Tabela 71.

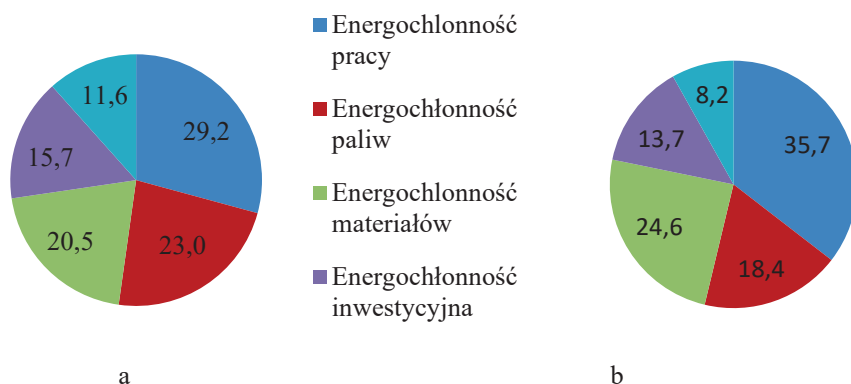
Sumaryczne nakłady energii skumulowanej ($MJ \cdot ha^{-1}$) ponoszone na rozsadniku i w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej

Energochłonność skumulowana	Sadzonki z pędów nadziemnych	Sadzonki z rozłogów podziemnych	Średnio
Energochłonność skumulowana prowadzenia matecznika mięty pieprzowej	8424±3426 a	6529±2632 a	7476,5
Energochłonność skumulowana uprawy w I roku mięty pieprzowej	64117±14126 a	73300±12865 a	68708,5
Łącznie	72541 a	79829 a	76485



Rysunek 35. Średnie nakłady energii skumulowanej w uprawie mięty pieprzowej na rozsadniku i w pierwszym roku wegetacji (%)

Z przedstawionych wartości liczbowych wynika, że całkowite nakłady energii skumulowanej przeznaczonej na prowadzenie rozsadnika, stanowią w pierwszym roku w uprawie mięty około 10%. Analiza statystyczna nie wykazała różnic w skumulowanych nakładach energetycznych, ponoszonych w pierwszym roku wegetacji w badanych technologiach uprawy mięty pieprzowej, ale obserwowano zróżnicowanie w nakładach strumienia pracy żywej i uprzedmiotowionej. Na rys. 36 (a i b) przedstawiono w ujęciu procentowym, energochłonność poszczególnych strumieni w rozdzieleniu na technologie uprawy.



Rysunek 36. Struktura energochłonności skumulowanej (%) w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej, w wydzielonych technologiach: a - rozsadnik z wykorzystaniem sadzonek naziemnych, b - rozsadnik z rozłogów podziemnych

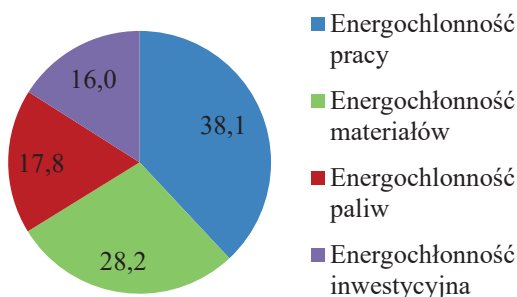
Przedstawione wartości liczbowe charakteryzują energochłonność skumulowaną produkcji mięty pieprzowej w pierwszym roku wegetacji i wskazują na wysokie nakłady wynikające ze strumienia pracy ludzkiej. Według Jagody i Klimczaka (2011) strumień, określa daną zmienną ilościową w określonym przedziale czasu. Z przedstawionej analizy wynika, że te zasoby pracy ludzkiej muszą w danym gospodarstwie i określonym czasie się znaleźć. Zgodnie z klasyczną szkołą ekonomii stwierdzenie „zasoby pracy ludzkiej” oznacza pracę, siłę roboczą, jako jeden z trzech środków produkcji. Z obserwacji przeprowadzonych w trakcie badań terenowych wynika, że w gospodarstwach pracują tylko ich właściciele, współmałżonkowie, dzieci (często pobierające naukę) oraz rodzice. Tylko jedno gospodarstwo o profilu ekologicznym zatrudniało siłę najemną.

Zestawienie wszystkich strumieni energetycznych dla drugiego roku uprawy mięty pieprzowej w badanych technologiach przedstawiono w tab. 72, natomiast w ujęciu procentowym na rys. 37.

Tabela 72.

Strumienie energochłonności ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej

Strumień energochłonności	Sadzonki z pędów nadziemnych	Sadzonki z rozłogów podziemnych	Średnio
Suma wszystkich strumieni dla II roku uprawy	46580±11195 a	45261±9902 a	45920
Energochłonność inwestycyjna	8134±3951 a	6342±2133 a	7365,9
Energochłonność pracy	17368±6418 a	17648±6004 a	17495,4
Energochłonność paliw	9128±3974 a	7051±2825 a	8183,7
Energochłonność materiałów	11950±3881 a	14159±7115 a	12953,9



Rysunek 37. Struktura energochłonności skumulowanej (%) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej

Jak wykazano w tab. 72 w drugim roku uprawy mięty pieprzowej ponoszone są bardzo wysokie nakłady energii, stanowiące średnio $45920 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nie stwierdzono zróżnicowania w energochłonności upraw w analizowanych technologiach. Próbuując odnieść otrzymane wyniki do uzyskiwanych w uprawach roślinnych, napotkano w literaturze podobne wartości całkowitych nakładów energetycznych w uprawie pomidora w Turcji ($45566,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). W cytowanych badaniach przeszło 40% stanowiła energia wydatkowana na nawożenie (Canakci i in., 2005). Także produkcja pszenicy w warunkach Iranu generuje znaczne nakłady energii skumulowanej, w badaniach Shahin i in. (2008) jej zużycie szacowano na $38360 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Jak wykazano w tab. 72 i na rys. 37 w prowadzonych badaniach własnych w drugim roku wegetacji mięty pieprzowej, podobnie jak w pierwszym, dominującym strumieniem nakładów energii skumulowanej jest praca ludzka, średnio $17495,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Mimo, iż wartości te są znacznie niższe w porównaniu do roku pierwszego, to w ujęciu procentowym, w stosunku do całkowitych nakładów energii skumulowanej stanowią aż 38,1%. Przedstawiona w rozdziale 5.5. struktura nakładów pracy w drugim roku uprawy mięty, wskazuje na dominujący udział prac pielęgnacyjnych polegających na ręcznym

plewieniu plantacji oraz dotyczących zbioru roślin. Tak duży udział nakładów energii wynikającej z pracy ludzkiej jest nietypowy w produkcji rolniczej. Na ile tu możliwe są oszczędności energii. Rozwiązaniem, przynajmniej częściowym, może być stosowanie środków ochrony roślin oparte na naturalnych substancjach, stanowiąc tym samym tzw. bezpieczne herbicydy. W świecie tworzone są nowe składniki aktywne oparte na obserwacji wpływu naturalnych substancji oraz pestycydów pochodzenia naturalnego. Obecnie w gospodarstwach ekologicznych w różnych krajach świata dopuszcza się stosowanie wielu naturalnych pestycydów. W Polsce jest to wciąż temat mało znany. Pomiedzy pozostałym strumieniem energii skumulowanej również nie stwierdzono istotnych różnic. Stosunkowo wysokie nakłady energii związane były z wykorzystanymi materiałami i surowcami i wynosiły średnio $12953,9 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, co w ujęciu procentowym wyniosło 28,2%. Jak wykazano w rozdziale 5.8. wysokie nakłady materiałów wynikają przede wszystkim ze stosowania nawozów azotowych. Duża energochłonność tego źródła energii jest wykazana w wielu pracach dotyczących produkcji roślinnej. Khan i in. (2010) stwierdzili, że głównym źródłem nakładów energetycznych w uprawach pszenicy, ryżu i jęczmienia w warunkach Australii było nawożenie, a jego udział wahał się odpowiednio od 47% w pszenicy, poprzez 43% w ryżu do 29% w jęczmieniu. Podobnie Shahin i in. (2008) analizując skumulowane nakłady energetyczne ponoszone na uprawę pszenicy w Iranie dowiedli, że najwyższe nakłady energii są związane ze stosowaniem nawozów. Dobek (2006) w analizowanych gospodarstwach zajmujących się uprawą ziemniaków wykazał, że strumień materiałów i surowców stanowił od 71,5 do 75% całkowitej energochłonności skumulowanej. Podobnie Gorzelany (2010), zaprezentował w strukturze nakładów energetycznych we wszystkich analizowanych technologiach uprawy buraków cukrowych dominującą rolę zużytych na produkcję materiałów i surowców. Z kolei w produkcji sadowniczej jabłek ze względu na dużą ilość prac związanych z wykorzystaniem ciągników i Maszyn, Strapatsa i in. (2006) jako główne nakłady energii w ilości 58% całościowych nakładów skumulowanych, wskazują strumień paliw i energii eksploatacyjnej.

Czy istnieje możliwość obniżenia tego strumienia energii starano się wykazać w rozdziale 5.8.

Przedstawione wartości liczbowe obrazujące wielkość nakładów energetycznych na uprawę mięty w drugim roku wegetacji, wskazują na niższe zużycie energii skumulowanej, średnio o $22788,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ w stosunku do pierwszego roku uprawy, w ujęciu procentowym stanowi to 33,2%. Jeśli jako punkt odniesienia przyjmiemy średnie nakłady ponoszone w czasie prowadzenia rozsadnika i pierwszego roku wegetacji, co wydaje się być właściwszym rozumowaniem, różnica stanowi średnio $30565 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, co w ujęciu procentowym wynosi 40,0%. Przedstawiona analiza struktury energochłonności skumulowanej, zarówno w pierwszym, jak i drugim roku uprawy mięty pieprzowej, wyraźnie uwidacznia, że potencjał oszczędności energii tkwi zarówno w redukcji bezpośrednich nakładów energii, jak i zmniejszaniu pośrednich nakładów energetycznych. Przedstawione dane wskazują także, że minimalizując energochłonność skumulowaną w gospodarstwach uprawiających miętę pieprzową, należy szczególnie zadbać o żywotność plantacji, aby możliwie nie tracąc na jakości zbieranego surowca starać się ją wydłużyć. Jako częstą przyczynę utraty zdolności plonowania, szczególnie w latach o nierównomiernym rozkładzie opadów w ciągu sezonu wegetacji, obserwuje się wysychanie plantacji. Aby temu zapobiec, najprostszym rozwiązaniem byłoby nawadnianie upraw. Jednak wątpliwym wydaje się być szukanie w tego typu rozwiązaniach oszczędności nakładów energetycznych. Azizi i Heidari (2013) porów-

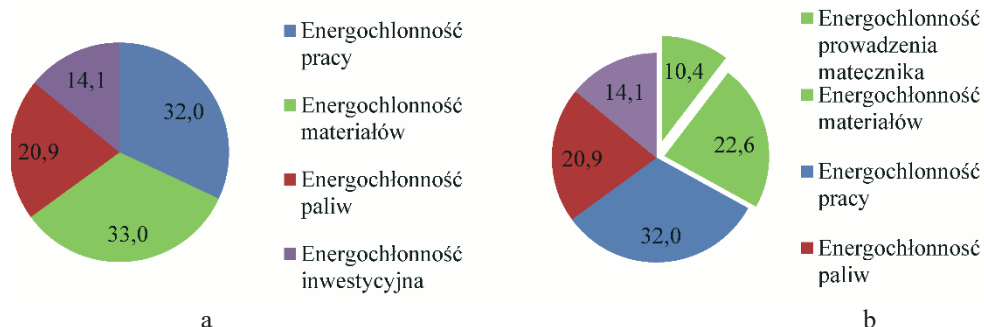
nując skumulowane nakłady energetyczne ponoszone na nienawadnianych i nawadnianych plantacjach jęczmienia stwierdzili wzrost zużycia energii odpowiednio z 7867,82 do 19308,967 MJ·ha⁻¹. Uzyskane wyniki z badań prowadzonych przez Kardoni i in. (2015) dotyczące bilansu energetycznego nawadnianej pszenicy w warunkach Iranu wskazują, że energia wydatkowana na nawadnianie stanowiła aż 31,1% całkowitej ilości energii ponoszonej w uprawie pszenicy. Podobnie, badania prowadzone w Australii wskazują na wysoką energochłonność systemów nawadniających. Nawodnienie ryżu było drugim co do wielkości (po nawożeniu) strumieniem nakładów energetycznych i stanowiło 28% całego wkładu energetycznego (Khan i in., 2010).

Zestawienie poszczególnych strumieni energetycznych w pierwszym roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w zależności od wielkości powierzchni uprawy roślin zielarskich w gospodarstwie przedstawiona zostało w tab.73, a na rys. 38. średnia struktura całkowitych nakładów energii skumulowanej w ujęciu procentowym w odniesieniu do 1 ha.

Tabela 73.

Strumień energochłonności (MJ·ha⁻¹) w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej w grupach powierzchniowych

Strumień energochłonności	Powierzchnia plantacji mięty pieprzowej (ha)			Średnio
	1-3	4-9	10 ≤	
Suma wszystkich strumieni dla I roku uprawy	66598±13931 a	64733±16810 a	68943±16515 a	66757,8 +7800 (rozsadnik)
Energochłonność inwestycyjna	9916±3106 a	10180±4418 a	11388±3638 a	10494,7
Energochłonność pracy	28827±11067 a	21391±6593 a	21269±4745 a	23829,0
Energochłonność paliw	12888±3614 a	15790±7713 a	18132±5883 a	15603,0
Energochłonność materiałów	14967±5004 a	17373±6530 a	18154±10190 a	16831,3
Przyjęty strumień materiałów wynikający z sadzonek wegetatywnych	-	-	-	7800



Rysunek 38. Struktura energochłonności skumulowanej (%), w pierwszym roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej wg powierzchni uprawy ziół; a - nakłady całkowite, b - nakłady całkowite z wydzieleniem energii ponoszonej na rozsadnik

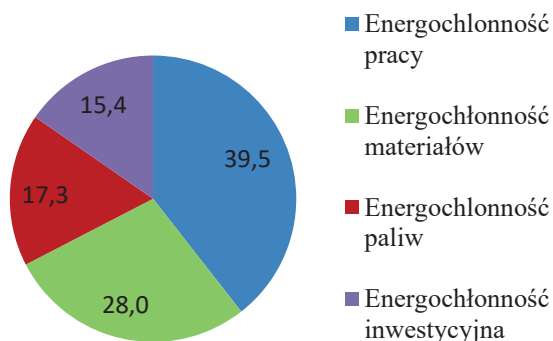
W tak prowadzonej analizie średnia energochłonność skumulowana produkcji mięty na rocznej plantacji wynosiła $66757,8 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Porównując nakłady energii skumulowanej z poszczególnych źródeł w odniesieniu do 1 ha stwierdzono, podobnie jak i przy analizie z wyodrębnieniem technologii uprawy, największe nakłady wynikające z pracy ludzkiej ($23829 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) oraz w dalszej kolejności materiałów ($16831,3 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) i paliw ($15603 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). W związku z tym, że w grupie analizowanych gospodarstw ujmowano również takie, które albo nie prowadziły rozsadnika, a materiał do rozmnożenia pozyskiwały ze starych likwidowanych plantacji, bądź też miały specyficzną i nie porównywalną technologię zakładania plantacji, do materiałów doliczono, zgodnie z zaproponowaną w rozdz. 5.9. metodyką nakłady energii skumulowanej wydatkowane na materiał nasadzeniowy. W obliczeniach przyjęto średnią masę rozłógów $780 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Po tych uzupełnieniach, nakłady energii wynikające ze strumienia pracy ludzkiej i materiałowe przyjmują zbliżone wartości (tab. 73 i rys. 38).

W dalszej kolejności, w tab. 74 podsumowano poszczególne strumienie energochłonności w zależności od powierzchni uprawy ziół w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej, natomiast strukturę strumieni energetycznych w ujęciu procentowym przedstawiono na rys. 39.

Tabela 74.

Strumienie energochłonności ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w grupach powierzchniowych

Strumień energochłonności	Powierzchnia plantacji mięty pieprzowej (ha)			Średnio
	1-3	4-9	10 ≤	
Suma wszystkich strumieni dla II roku uprawy	44501±11568 a	41687±10953 a	45607±11377 a	43931,5
Energochłonność inwestycyjna	7333±4610 a	5414±2151 a	7423±2410 a	6747,7
Energochłonność pracy	19836±6438 a	16542±6678 a	15312±4437 a	17334,3
Energochłonność paliw	6281±2314 a	6983±2606 a	9637±3199 a	7579,7
Energochłonność materiałów	11051±5559 a	12747±2722 a	13235±7674 a	12292,6



Rysunek 39. Struktura energochłonności skumulowanej (%) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w grupach powierzchniowych

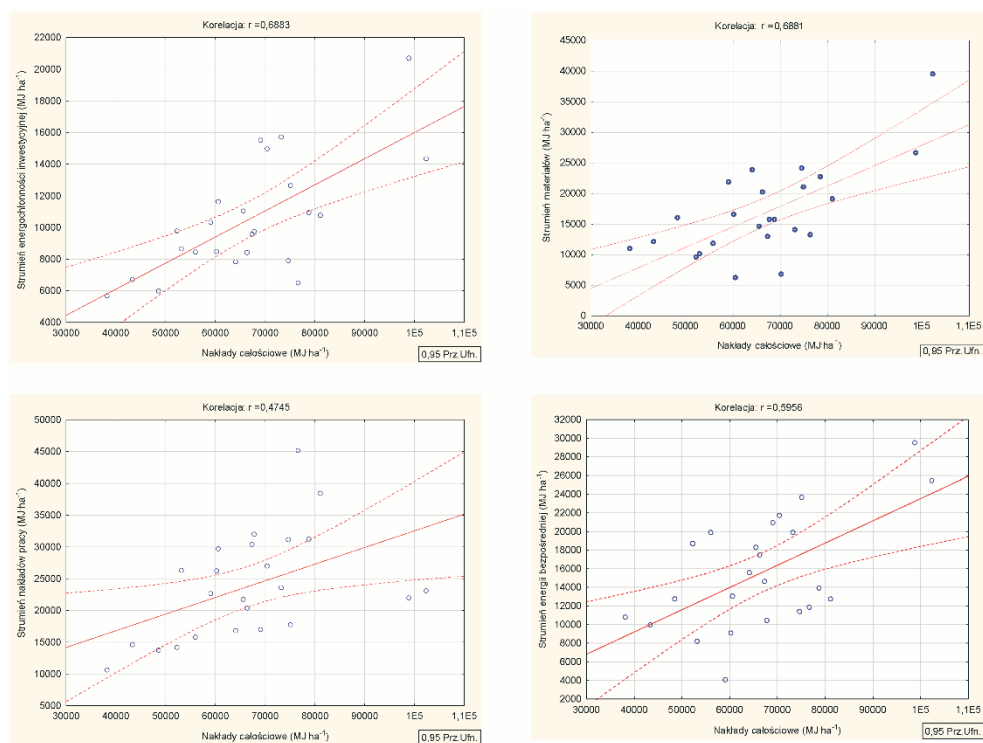
Podobnie jak w przypadku analizy całkowitych nakładów energii skumulowanej w badanych technologiach uprawy, biorąc pod uwagę grupy powierzchniowe, nie stwierdzono różnic w wielkości nakładów na poszczególne grupy. Największą energochłonnością odznaczała się praca ludzka, na ten cel wydatkowano średnio 17334,3 MJ·ha⁻¹, co stanowiło aż 39,5% całkowitych nakładów. Na drugiej pozycji, niezależnie od kryteriów analizy, niezmiennie znajdował się strumień materiałów i surowców ze średnią wartością 12292,6 MJ·ha⁻¹. Zauważalne, wysokie odchylenia standardowe od wartości średnich energochłonności analizowanych strumieni energetycznych, zarówno w pierwszym, jak i drugim roku wegetacji, nie są czymś niezwykłym w tego typu badaniach. Rathke i Diepenbrock (2006) wykazali, że przy zmiennym poziomie nawożenia azotowego i różnych przedplonach uśrednione na przestrzeni lat nakłady energii w produkcji rzepaku ozimego mogą odznaczać się znaczną zmiennością, w cytowanych badaniach rozpiętość nakładów wynosiła od 7,42 do 16,1 GJ ha⁻¹.

Szukając możliwości minimalizacji energii skumulowanej w uprawach mięty pieprzowej, należałoby wykazać jaka jest siła jej zależności z poszczególnymi składowymi strumieniami energii. Graficzne przedstawienie tych korelacji, wraz z wykazaniem siły i kierunku dla pierwszego roku uprawy w analizowanych technologiach przedstawiono na rys. 40.

Oceniając powiązania korelacyjne pomiędzy całkowitymi nakładami energii skumulowanej wraz z poszczególnymi składowymi strumieniami energetycznymi, zauważono najwyższe wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona między energią maszyn i budynków oraz materiałów wykorzystywanych w uprawie mięty. W obydwu przypadkach zależność była dodatnia i wynosiła około 0,69. Nieco niższe wartości współczynników obserwowano dla zależności nakładów całkowitych energii skumulowanej od paliwa, około 0,6 i nakładów pracy 0,47. W dalszej kolejności sprawdzono, czy istnieją różnice w wzajemnych zależnościach poszczególnych strumieni energetycznych od nakładów całkowi-

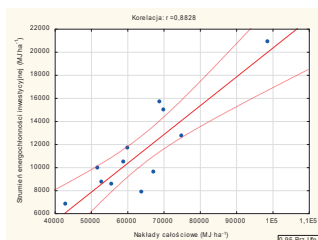
tych w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej w badanych technologiach, a wyniki analizy zmieszczono na rys. 41.

W obydwu badanych technologiach najsilniejsza była zależność energii skumulowanej od strumienia inwestycji i strumienia paliw. Przy sadzonkach nadziemnych współczynnik korelacji r-Pearsona wynosił odpowiednio dla wspomnianych korelacji 0,88 i 0,74, natomiast w technologii wykorzystującej sadzonki podziemne 0,71 i 0,66. Przeprowadzona analiza wykazała nieco odmienną siłę zależności strumienia pracy, w przypadku sadzonek nadziemnych. Była to bardzo słaba zależność (0,22), natomiast tam gdzie stosowano rozłogi podziemne stwierdzono już zależność istotną (0,54). Należy podkreślić, że stosowanie sadzonek rozłogowych generowało nieco wyższe nakłady pracy, co wykazano w rozdz. 5.4.2. W technologii z udziałem sadzonek nadziemnych obserwowano także istotną zależność nakładów energii skumulowanej ze strumieniem materiałów, współczynnik korelacji r-Pearsona wynosił tu 0,57, natomiast stwierdzono brak związku liniowego dla tego strumienia w przypadku sadzonek podziemnych.

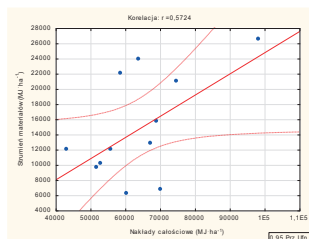


Rysunek 40. Zależność poszczególnych strumieni energetycznych od całkowitych nakładów energii skumulowanej w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej wg stosowanych technologii produkcji

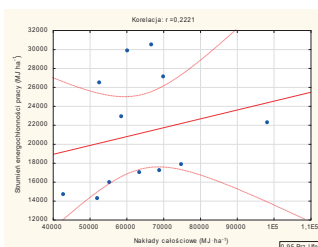
Rozsadnik z sadzonek nadziemnych



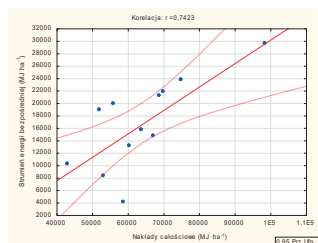
a



b

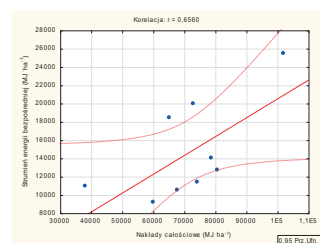
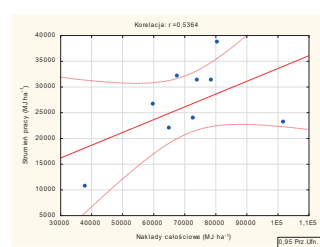
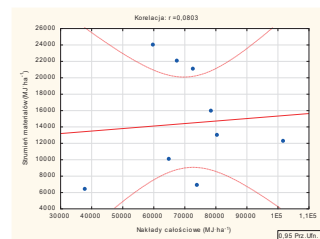
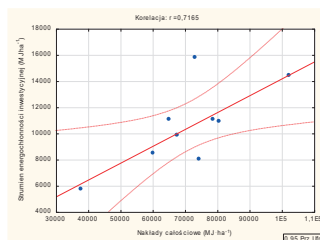


c



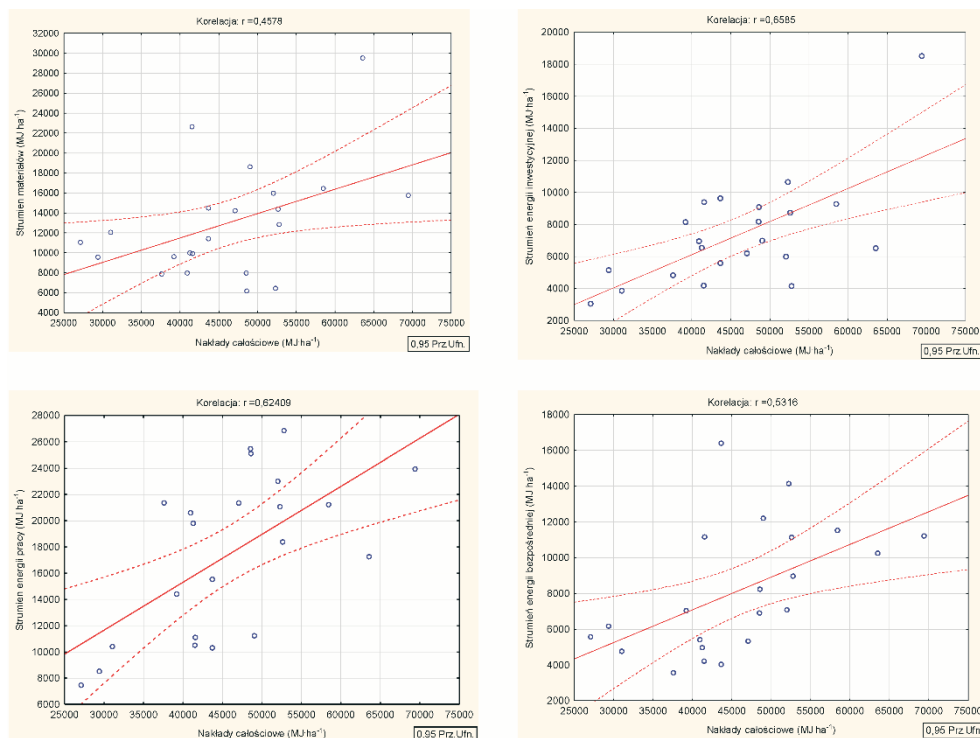
d

Rozsadnik z sadzonek podziemnych



Rysunek 41. Zależność nakładów energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych (a - strumień inwestycji, b - materiałów, c - pracy, d - paliw) w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej w badanych technologiach uprawy

Podobne analizy przeprowadzono także dla drugiego roku uprawy mięty pieprzowej, na rys. 42 przedstawiono zależność energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych w drugim roku uprawy mięty pieprzowej, natomiast na rys. 43 z rozbiem na badane technologie.



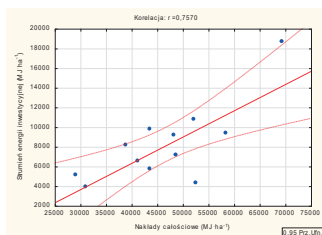
Rysunek 42. Zależność energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w analizowanych technologiach produkcji

Analizując zależność energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w gospodarstwach objętych analizą ze względu na badane technologie produkcji, stwierdzono najwyższą wartość współczynnika korelacji r -Pearsona w przypadku strumienia inwestycji, wynosił on 0,66. Zależność ta wydaje się być zrozumiała, wyraźnie widoczna była w pierwszym roku wegetacji, a nakłady inwestycyjne są podstawą rozwoju każdego gospodarstwa rolnego, umożliwiając jego przetrwanie na rynku. Na drugą pozycję pod względem wysokości współczynnika korelacji wysunęła się zależność nakładów pracy, przyjmując wartość 0,62, tym samym podkreślając rolę tego strumienia energii w dalszych latach uprawy mięty pieprzowej.

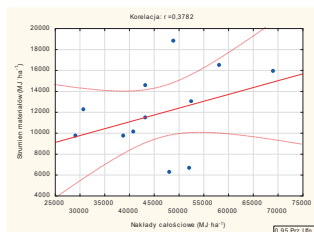
Jak wykazano wcześniej, w analizowanych technologiach uprawy mięty pieprzowej w drugim roku wegetacji, nie stwierdzono różnic pomiędzy wielkością całkowitych nakładów energetycznych ponoszonych w jej uprawie. Prezentowane na rys. 43 wartości korelacji, wskazują na zróżnicowanie wielkości siły związków dla poszczególnych składowych. W technologii wykorzystującej sadzonki nadziemne, najwyższe wartości współczynników korelacji stwierdzono dla strumienia inwestycji (0,76) oraz pracy (0,72), natomiast w przypadku sadzonek podziemnych dominował strumień materiałów (0,62). Tym samym, podobnie jak w pierwszym roku, w drugim roku uprawy mięty, stwierdzono różną

siłę związków poszczególnych strumieni energetycznych z energochłonnością skumulowaną wydatkowaną w wyodrębnionych technologiach.

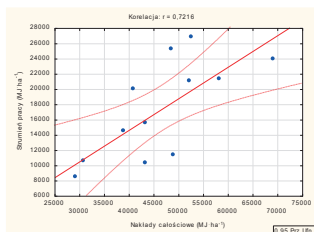
Rozsadnik z sadzonek nadziemnych



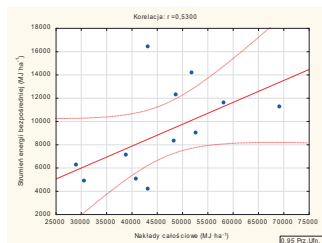
a



b

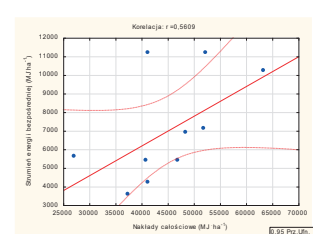
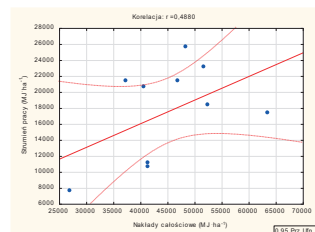
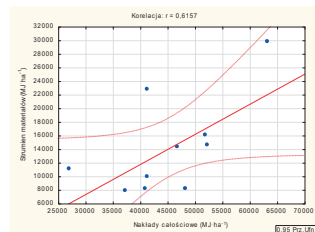
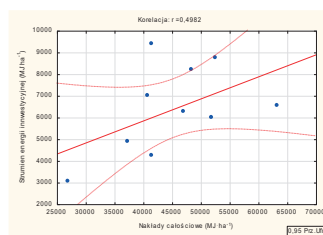


c



d

Rozsadnik z sadzonek podziemnych



Rysunek 43. Zależność energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych (a - strumień inwestycji, b - materiałów, c - pracy, d - paliw) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej, w badanych technologiach uprawy

Energochłonność skumulowana w produkcji melisy lekarskiej

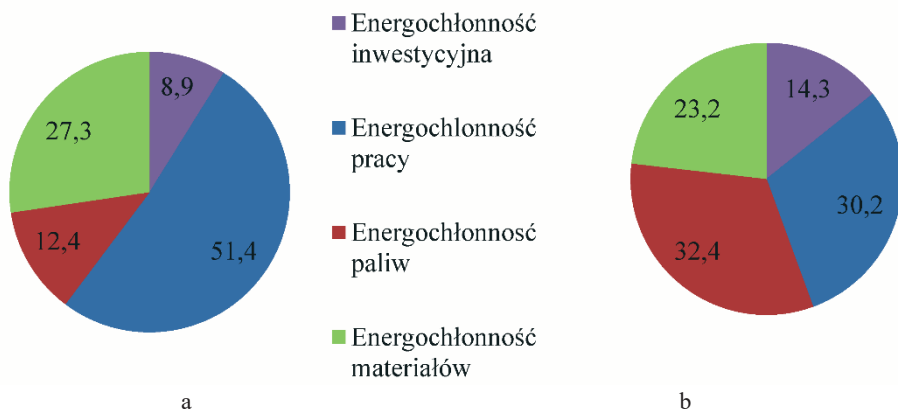
Zestawienie wszystkich strumieni energetycznych w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej w wydzielonych technologiach uprawy przedstawiono w tab. 75 i na rys 44.

Tabela 75.

Strumienie energochłonności ($MJ \cdot ha^{-1}$) w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej

Strumień energochłonności	Nasiona	Sadzonki	Średnia
Suma wszystkich strumieni dla I roku uprawy	37638±11402 b*	63041±12332 a	52345,0
Energochłonność inwestycyjna	3360±2438 b	8987±2577 a	6607,1
Energochłonność pracy	19330±9777 a	19024±3490 a	19153,2
Energochłonność paliw	4665±1667 b	20413±7859 a	13782,6
Energochłonność materiałów	10282±2620 a	14616±6646 a	12791,0

*a, b, c grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, $p=0,05$



Rysunek 44. Struktura energochłonności skumulowanej (%) w pierwszym roku prowadzenia plantacji w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej: a - siew nasion, b - sadzonki zielne

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 uprawnym, 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 $19153,2 MJ \cdot ha^{-1}$. 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 zau-

ważyć 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⁻¹, 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. Jak wykazano w rozdziale 5.5. na ten fakt miały wpływ większe 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 zela 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 MJ·ha⁻¹ ponoszono w technologii siewu nasion bezpośrednio do gruntu. Jednak wydaje się, że rola tego strumienia przy porównywaniu stosowanych technologii produkcji jest mniejsza. Strukturę nakładów energetycznych w drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej przedstawiono w tab. 76 i na rys. 45.

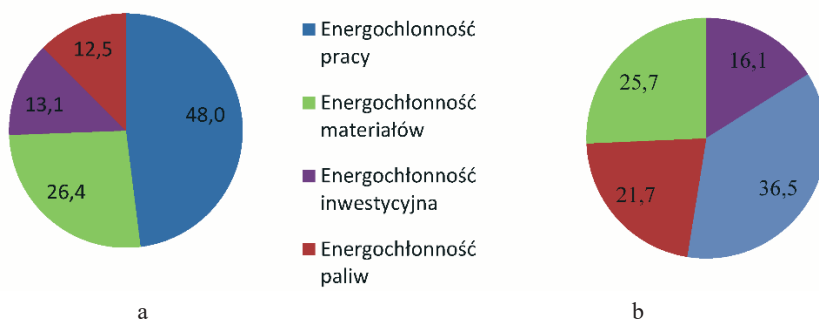
Tabela 76.

Strumienie energochłonności (MJ·ha⁻¹) w drugim roku uprawy melisy lekarskiej

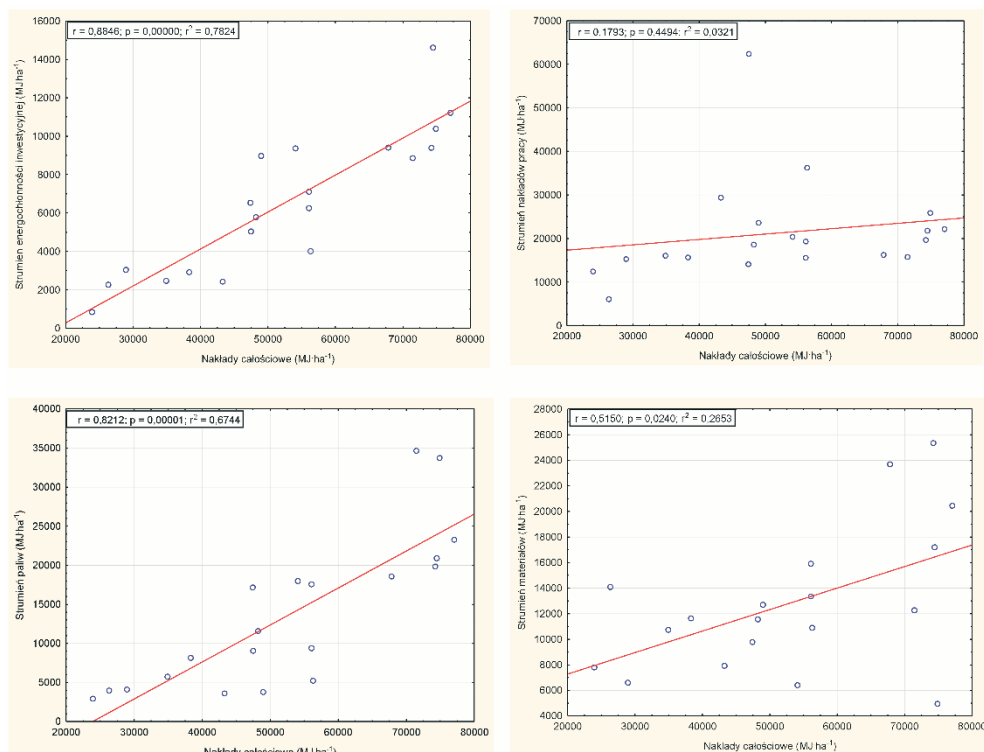
Strumień energochłonności	Nasiona	Sadzonki	Średnia
Suma wszystkich strumieni dla II roku uprawy	37466±13031 a	47028±11701 a	45914,07
Energochłonność inwestycyjna	4911±4891 a	7568±2636 a	6448,87
Energochłonność pracy	17994±7043 a	17149±6473 a	17504,7
Energochłonność paliw	4686±1921 a	10226±3750 a	7893,7
Energochłonność materiałów	9875±2265 a	12085±5591 a	11154,7

W drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej, podobnie jak w pierwszym roku uprawy, a także w technologiach produkcji mięty pieprzowej, stwierdzono największe nakłady w postaci strumienia energii pracy żywej i uprzedmiotowionej ze średnią wartością wynoszącą 17504,7 MJ·ha⁻¹, przy czym nie obserwowano różnic w wielkościach tego strumienia energii pomiędzy wyszczególnionymi technologiami uprawy. Zróżnicowanie jest widoczne tylko w strukturze procentowej, gdzie zdecydowanie ten strumień energii dominuje w technologii A, stanowiąc tu 48%, natomiast w drugiej analizowanej stanowi 36,5% (rys. 45). Bardzo dużą energochłonnością odznaczał się także strumień materiałów, na który wydatkowano średnio 11154,7 MJ·ha⁻¹, bez istotnych różnic pomiędzy wyodrębnionymi technologiami. Podobnie, nie obserwowano w analizowanych technologiach uprawy melisy, istotnego zróżnicowania w nakładach pomiędzy strumieniem paliw, a także strumieniem inwestycji. Tym samym nie stwierdzono statystycznie istotnej różnicy w nakładach energii skumulowanej w rozpatrywanych technologiach uprawy melisy lekarskiej, w drugim roku prowadzenia plantacji.

Analizowano również związki korelacyjne pomiędzy całkowitymi nakładami energetycznych wydatkowanych na uprawę melisy lekarskiej z jej poszczególnymi składowymi strumieniami energii skumulowanej. Graficzne przedstawienie tych zależności dla pierwszego roku uprawy przedstawiono na rys. 46.

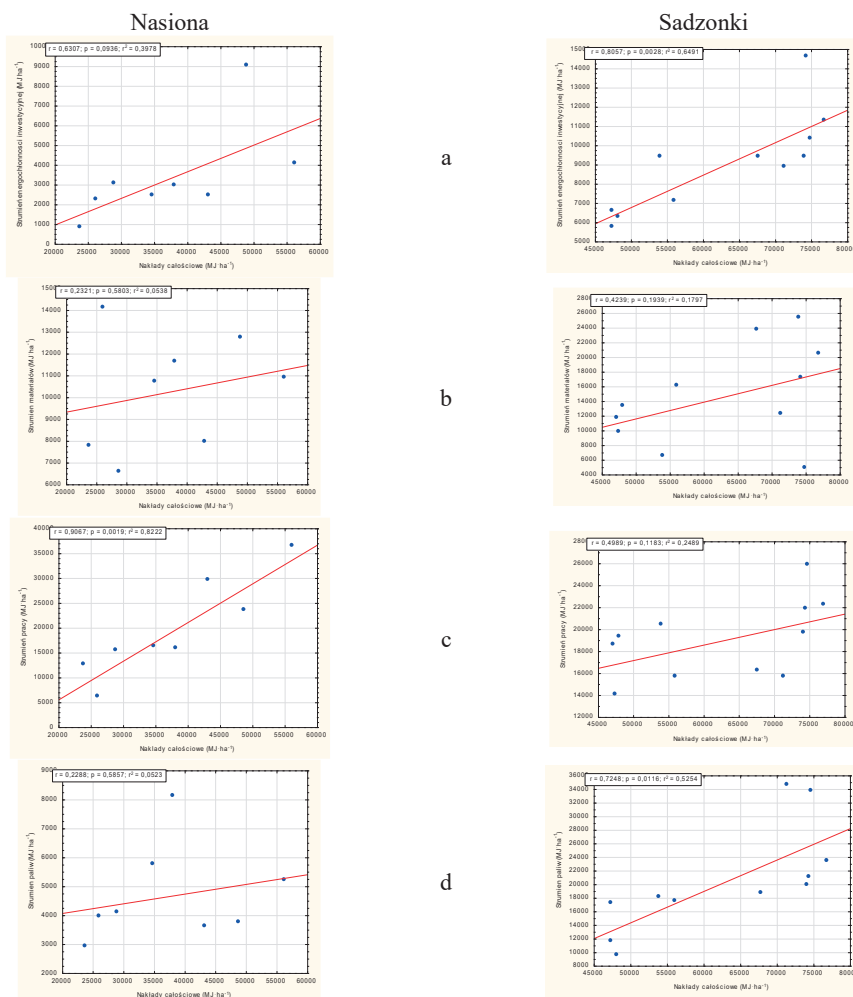


Rysunek 45. Struktura energochłonności skumulowanej (%) w drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej: a - siew nasion, b - sadzonki zielne



Rysunek 46. Zależność poszczególnych strumieni energetycznych od całkowitych nakładów energii skumulowanej w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej w gospodarstwach objętych analizą

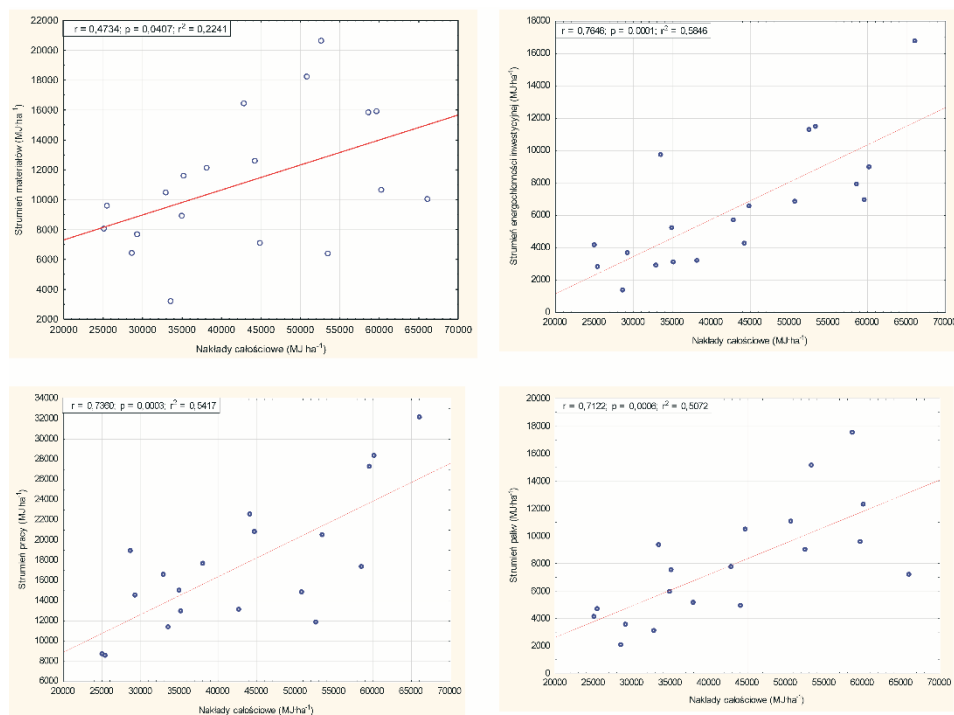
Oceniając powiązania korelacyjne pomiędzy całkowitymi nakładami energii skumulowanej z poszczególnymi składowymi strumieniami w uprawie melisy lekarskiej na rocznych plantacjach, zauważono najwyższe wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona między strumieniem inwestycji (0,88) oraz paliw (0,82). Istotną zależność, ale o mniejszej sile, obserwowano także dla strumienia materiałów, tu współczynnik korelacji r-Pearsona wyniósł 0,51. Natomiast nie stwierdzono istotnej zależności dla strumienia pracy ludzkiej.



Rysunek 47. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych (a - strumień inwestycji, b - materiałów, c - pracy, d - paliw) w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej

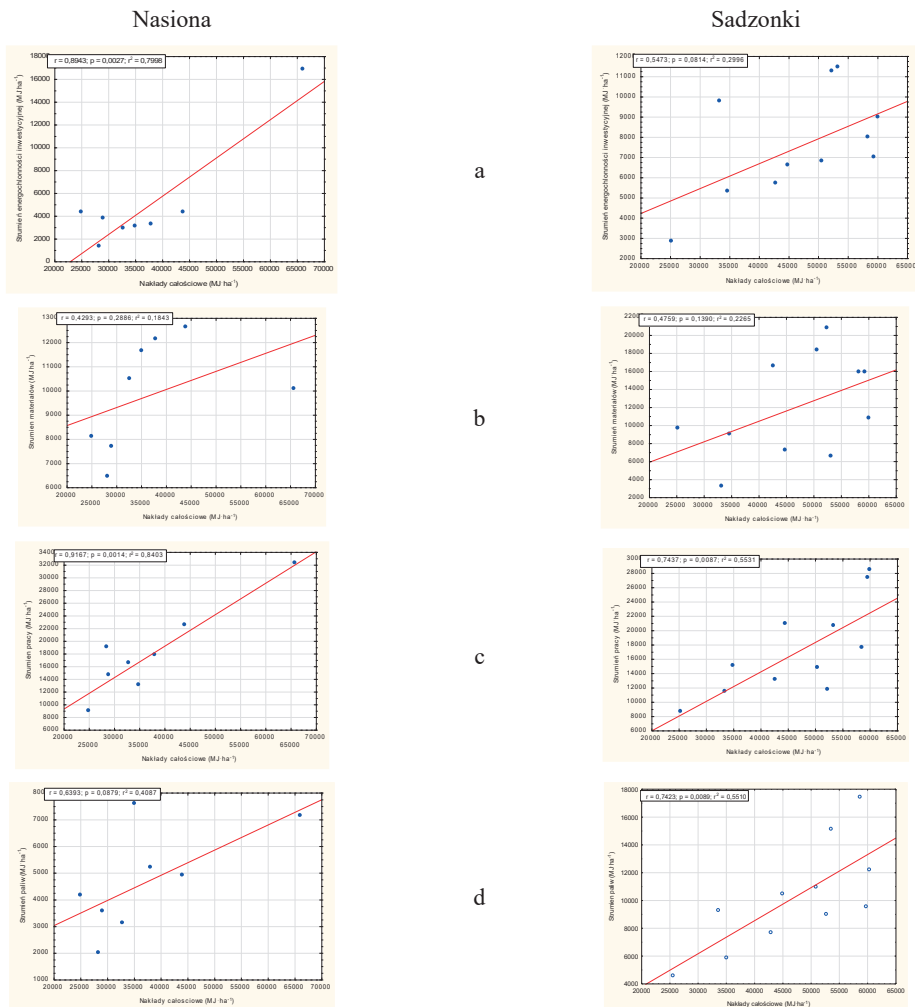
Przyczyną tego stanu rzeczy są wysokie, ale w większości gospodarstw na zbliżonym poziomie nakłady pracy żywej. Sprawdzono jak kształtują się zależności poszczególnych strumieni energetycznych od nakładów całkowitych w badanych technologiach uprawy w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej. Wyniki analizy zamieszczono na rys. 47.

Analizując grupy gospodarstw z odmiennymi technologiami uprawy melisy lekarskiej zaobserwowano zróżnicowane zależności w nakładach poszczególnych strumieni w odniesieniu do całkowitych nakładów energetycznych. W technologii siewu nasion bezpośrednio na polu docelowym obserwowano silną zależność wysokości całkowitych nakładów energii skumulowanej z energią związaną z wykonywaną pracą ludzką (0,91). Wydaje się, że na obserwowane zjawisko mają wpływ bardzo wysokie nakłady pracy ludzkiej wydatkowane w tej technologii, związane z ręcznie wykonywaną walką mechaniczną z chwastami (rozd. 5.4.2.). Z kolei w gospodarstwach, gdzie zakładano nowe plantacje z rozsady, silne zależności wystąpiły dla strumienia inwestycji (0,81) oraz paliw (0,72). Można przypuszczać, że w tym przypadku na zaistniały stan rzeczy mają wpływ wysokie nakłady związane z zakładaniem plantacji i ze zbiorem roślin (rozd. 5.4.4). Podobne analizy przeprowadzono także dla drugiego roku uprawy melisy lekarskiej. Na rys. 48 przedstawiono zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej z poszczególnymi strumieniami energii, natomiast na rys. 49 z rozbićiem na badane technologie.



Rysunek 48. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych w drugim roku uprawy melisy lekarskiej

W drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej otrzymano istotne zależności całkowitych nakładów energii skumulowanej ze wszystkimi strumieniami energetycznymi. Związki o podobnej sile obserwowano zarówno dla strumienia pracy ludzkiej (0,78), inwestycji (0,76) oraz paliw (0,71). Słabszą zależność otrzymano dla strumienia materiałów, w tym przypadku współczynnik korelacji r-Pearsona wyniósł 0,47.



Rysunek 49. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej z poszczególnymi strumieniami energetycznymi (a - strumień inwestycji, b - materiałów, c - pracy, d - paliw) w drugim roku uprawy melisy lekarskiej w wydzielonych technologiach uprawy

Na dwuletnich plantacjach, gdzie w poprzednim roku siew nasion wykonywany był bezpośrednio do gruntu wystąpiła silna zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej od strumienia pracy (0,91) oraz strumienia inwestycji (0,89). Z kolei dla drugiej technologii istotne korelacje o podobnej sile zauważono dla strumienia pracy (0,74) oraz paliw (0,74).

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 (tab. 77).

Tabela 77.

Energia skumulowana ($MJ \cdot ha^{-1}$) w dwuletnim cyklu produkcji melisy lekarskiej

Wyszczególnienie	Nasiona	Sadzonki	Średnia
Suma wszystkich strumieni dla I roku uprawy	37638±11402 b*	63041±12332 a	52345,0
Suma wszystkich strumieni dla II roku uprawy	37466±13031 a	47028±11701 a	45914,07
Łącznie I i II rok energia skumulowana	75104±22690 b	110069±14955 a	95347,1

*a, b, c grupy jednorodne wg testu Tukey'a dla różnych n, $p=0,05$

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 $34965 MJ \cdot ha^{-1}$, co wg danych prezentowanych przez Dobka i in. (2010) w polskich warunkach umożliwiłoby zaspokojenie nakładów energii skumulowanej na uprawę 1 ha rzepaku ozimego.

5.6. Plonowanie badanych gatunków ziół

Plony mięty pieprzowej

W tej specyficznej grupie upraw ważna jest nie tylko wysokość uzyskiwanych plonów, ale także ich jakość, rozumiana w głównej mierze jako zawartość związków biologicznie aktywnych. Plon i skład olejków eterycznych roślin aromatycznych zależy zarówno od warunków środowiskowych, położenia geograficznego, czasu zbioru, fazy ontogenezy rośliny, metody zbioru, a także obróbki pozbiorniczej (Padalia i in., 2013), jak i odmiennego genotypu i chemotypu (Saeb i Gholamrezaee, 2012; Verma i in., 2012).

Wielkość plonowania ziela, rozumianego jako nadziemna część roślin, liści młóconych oraz pozyskiwanych z nich olejków eterycznych w badanych technologiach uprawy, przedstawiono w tab. 78, natomiast z podziałem na grupy powierzchniowe w tab. 79. W prezentowanych wynikach, plon olejku z łądyg został pominięty, gdyż zgodnie z badaniami własnymi próbek roślin pobieranych z poszczególnych gospodarstw jest go niewiele, 14-15 krotnie mniej, niż w liściach, ponadto łądygi nie stanowią surowca farmaceutycznego (FP, 2011). Prezentowane wyniki plonowania dotyczą średnich wartości analizowanych surowców uzyskiwanych z dwóch pokosów wykonywanych w ciągu sezonu wegetacyjnego.

Tabela 78.

Plonowanie mięty pieprzowej w gospodarstwach o zróżnicowanej technologii uprawy w poszczególnych latach wegetacji

Rok produkcji	Technologia	Plon ziela ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Plon liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Zawartość olejku eterycznego (%)	Plon olejku eterycznego ($\text{dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$)
I	Sadzonki zielne	2,38±0,62 a*	1,79±0,43 a	2,5±0,4 a	45,1±14,8 a
	Sadzonki rozłogowe	2,31±0,32 a	1,72±0,26 a	2,3±0,7 a	40,9±13,9 a
Średnia		2,35	1,76	2,4	43,0
II	Sadzonki zielne	3,08±0,55 b	2,34±0,39 b	2,5±0,4 a	58,7±15,0 b
	Sadzonki rozłogowe	2,88±0,44 b	2,15±0,34 b	2,3±0,7 a	50,9±17,9 b
Średnia		2,98	2,25	2,4	54,8

*a, b – grupy homogeniczne, wg testu Tukey’a dla różnych n, $p \leq 0,05$

W prezentowanych badaniach nie stwierdzono istotnego zróżnicowania w plonach ziela, liści a także olejku eterycznego mięty pieprzowej, pomiędzy porównywanymi technologiami uprawy. W każdym gospodarstwie uzyskiwano pożądaną normatywnie zawartość olejków eterycznych. Istotne różnice wystąpiły w plonowaniu pomiędzy latami użytkowania plantacji. 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. Na większe plonowanie mięty pieprzowej w drugim roku po założeniu plantacji zwraca uwagę Kołodziej (2010). Tak jak wspomniano poprzednio, zarówno plony ziela, jak i liści oraz hipotetycznie obliczone plony olejku eterycznego podawano łącznie z 2 pokosów. W praktyce

produkcyjnej może wystąpić zróżnicowanie między pierwszym i drugim zbiorem w danym roku. Zazwyczaj większy plon występuje podczas pierwszego zbioru (Gruľová, 2012; Gruľová i in., 2015; Gruľová i in., 2016; Machiani i in., 2018). Gruľová (2012) oraz Gruľová i wsp. (2015, 2016), tłumaczą to zjawisko na podstawie swoich badań prowadzonych w rejonie Prešov, zwiększeniem suchej masy i utratą liści z niższych poziomów roślin, jakie pojawiają się u części roślin podczas zbioru w sierpniu i wrześniu. Na mniejszą zawartość olejku eterycznego w drugim pokosie zwraca uwagę Machiani i in. (2018).

Tabela 79.

Plonowanie mięty pieprzowej w poszczególnych latach wegetacji w badanych grupach powierzchniowych

Rok produkcji	Areal uprawy ziół w gospodarstwie (ha)	Plon ziela (Mg ha ⁻¹)	Plon liści (Mg ha ⁻¹)	Zawartość olejku eterycznego (%)	Plon olejku eterycznego (dm ³ ha ⁻¹)
I	1-3	2,63±0,64 a*	1,91±0,44 a	2,3±0,6 a	44,93±17,88 a
	4-9	2,15±0,40 a	1,65±0,31 a	2,3±0,4 a	37,13±8,54 a
	10 ha ≤	2,28±0,31 a	1,75±0,27 a	2,7±0,4 a	47,56±11,94 a
Średnia		2,35	1,77	2,4	43,21
II	1-3	3,17±0,70 b	2,33±0,50 b	2,3±0,6 a	54,53±20,37 b
	4-9	2,89±0,42 b	2,14±0,37 b	2,3±0,4 a	48,30±11,61 b
	10 ha ≤	2,93±0,34 b	2,31±0,37 b	2,7±0,4 a	62,63±14,56 b
Średnia		3,00	2,26	2,4	55,15

*a, b – grupy homogeniczne, wg testu Tukey'a dla różnych n, p≤0,05

Podobnie, nie stwierdzono różnic w plonowaniu ziela, liści i olejku eterycznego mięty pieprzowej pomiędzy wydzielonymi grupami gospodarstw, zarówno w pierwszym, jak i w drugim roku prowadzenia plantacji. Zawartość olejków mieściła się w zakresie wymaganych norm i odnotowano jedynie różnice pomiędzy latami uprawy. W drugim roku prowadzenia plantacji odnotowano większe średnie plony ziela mięty pieprzowej i wynosiły 3,0 Mg ha⁻¹, liści 2,26 Mg ha⁻¹, natomiast olejku 55,15 dm³ ha⁻¹. Uzyskiwanie średniego plonu ziela w wysokości około 3 Mg ha⁻¹ jest normą krajową (Kołodziej, 2010), natomiast prezentowane w badaniach plony liści przekraczają zazwyczaj podawane dane, jednak należy mieć na względzie fakt, że dotyczą one plonów liścia młóconego, a nie zrywanego. Oczywiście jest, że w takim przypadku występują domieszki cieńszych łodyg, a to zwiększa masę, stąd w prezentowanych wynikach liście stanowią średnio około 74% uzyskanego

plonu. W badaniach prowadzonych na *Mentha spiciata* w Etiopii przyjmowano 51% udział liści w plonie ogólnym (Nurhussen i Philipos, 2014). Podobne wyniki badań dotyczące plonowania mięty pieprzowej w województwie świętokrzyskim wykazują Pisulewska i in. (2010). W cytowanych badaniach obserwowano średnie plony liści w wysokości $2,25 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast suchej masy ziela $2,79 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zważywszy, że czynniki rozwojowe i środowiskowe mają duży wpływ na plon mięty i skład olejków eterycznych z niej pozyskanych (Magda i in., 2010) prezentowane w literaturze dane mogą wykazywać się znacznym zróżnicowaniem. W warunkach Indii Dwivedi i in. (2004) uzyskiwali nieco większe plony w porównaniu do prezentowanych w tab. 78 i 79, wydajność świeżego materiału w różnych kombinacjach wynosiła 17,2, 18,2, 17,5, 16,4 i $18,0 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, oraz produkcji olejków eterycznych, 72,6, 145,5, 80,1, 74,6 i $75,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z kolei w warunkach Brazylii plonowanie różnych odmian mięty pieprzowej kształtowało się w zakresie $1,319\text{--}3,702 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a zawartość olejku eterycznego była w przedziale 0,51–2,83% (Gracindo i in., 2006). Natomiast w uwarunkowaniach zbliżonych klimatycznie do Polski, we wschodniej Słowacji, w wyniku prowadzonych tam metod hodowlanych polegających na selekcji klonów i linii wytworzono rekordowo plonującą odmianę o nazwie „Kristinka”. Średnia produkcja biomasy wynosiła aż $4,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, natomiast średnia zawartość olejku była mniejsza, i wynosiła 1,38% (Fejér i in., 2017). Zawartość olejku eterycznego, a tym samym jego plony zmieniają się w trakcie rozwoju roślin, a optimum przypada na początek kwitnienia (Fialová i in., 2014). W cytowanych badaniach obserwowano zmniejszanie się udziału procentowego olejku z 3,6% (koniec czerwca) do 2,5% (koniec lipca). Średnia zawartość olejku eterycznego w analizowanych gospodarstwach była zbliżona i kształtowała się na poziomie 2,4%. Według literatury zawartości olejku eterycznego w biomase mięty kształtują się w zakresie 0,1–3,61% (Novák i in., 2001; Dwivedi i in., 2004; Kišgeci i in., 2009; Derwich i in., 2010; Gupta i in., 2016; Sadowska i in., 2016). Przedstawione przykłady literaturowe pokazują szeroki wachlarz plonowania mięty w zależności od warunków klimatycznych.

W pracy przedstawione zostały zależności między całkowitymi nakładami energii skumulowanej i poszczególnymi jej składowymi, ponoszonymi w uprawie mięty, a uzyskiwanymi plonami ziela oraz liści mięty pieprzowej. Analiza wzajemnych oddziaływań poszczególnych strumieni energetycznych na uzyskiwane plony mięty pieprzowej została przedstawiona w tab. 80.

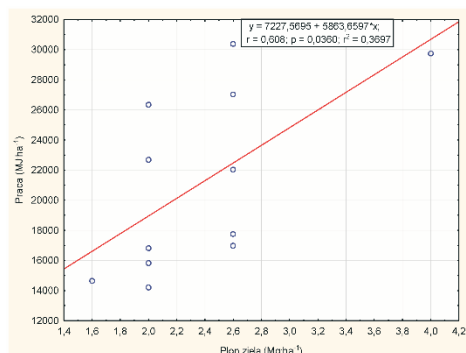
W pierwszym roku prowadzenia plantacji wykorzystujących na matecznikach sadzonki zielne stwierdzono istotną zależność ponoszonych nakładów pracy żywej od wysokości plonowania ziela i liści, tym samym wskazując, że przyczyniają się one bezpośrednio do uzyskanych plonów (rys. 50), w odróżnieniu od technologii sadzonek rozłogowych, gdzie takiej zależności nie stwierdzono. W technologii uprawy ziół z sadzonek rozłogowych odnotowano większe średnie nakłady pracy opisane w rozdziale 5.4.2.

Tabela 80.

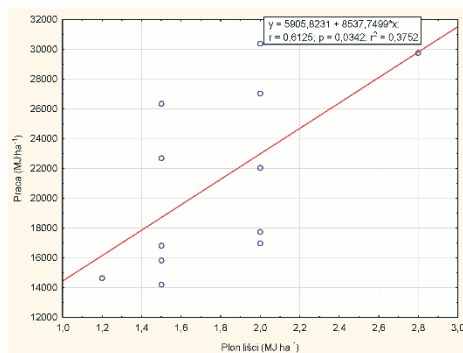
Współczynniki korelacji pomiędzy składnikami energochłonności skumulowanej ($MJ\ ha^{-1}$) a uzyskiwanymi plonami mięty pieprzowej ($Mg\ ha^{-1}$) w gospodarstwach w badanych technologiach produkcji

Rok produkcji	Technologia	Plon	Całkowite nakłady energii skumulowanej	Nakład pracy żywej	Materiały	Bezpośrednie nośniki energii	Nakłady inwestycyjne
I	Sadzonki zielne	Z	0,39	0,61 *	0,24	0,24	0,45
		L	0,48	0,61 *	0,32	0,32	0,53
	Sadzonki rozłogowe	Z	0,15	0,36	0,20	0,46	0,37
		L	0,05	0,35	0,12	0,31	0,30
II	Sadzonki zielne	Z	0,72*	0,73*	0,05	0,24	0,56*
		L	0,79*	0,74*	0,08	0,37	0,59*
	Sadzonki rozłogowe	Z	0,57	0,71 *	0,14	0,08	0,19
		L	0,44	0,65*	0,02	0,20	0,28

* współczynnik korelacji istotny $p \leq 0,05$



a

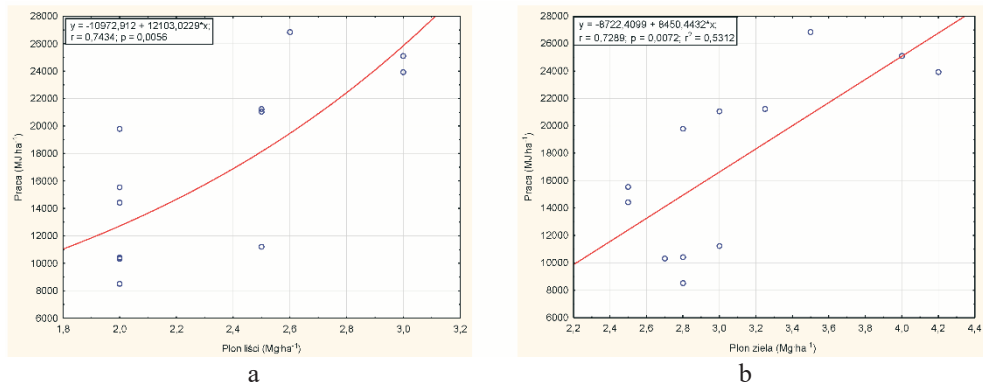


b

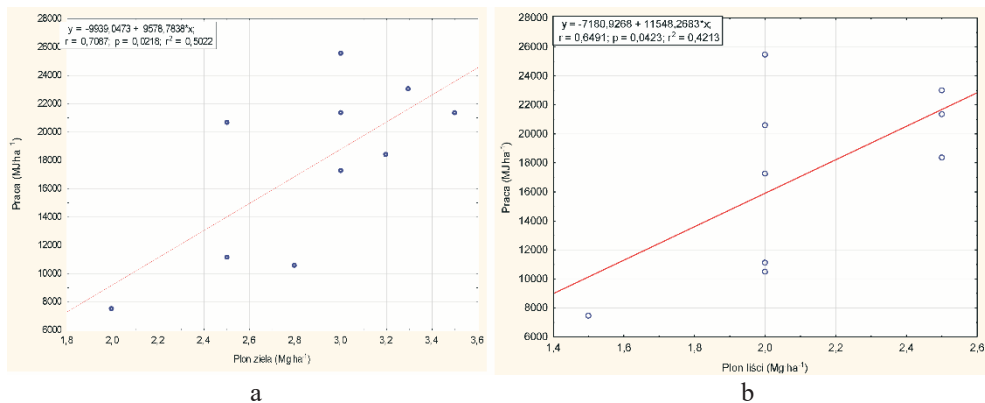
Rysunek 50. Zależność nakładów pracy żywej ($MJ\ ha^{-1}$) od plonów ziela ($Mg\ ha^{-1}$) - (a) oraz liści ($M\ ha^{-1}$) - (b) w pierwszym roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w technologii wykorzystującej sadzonki zielne

W drugim roku prowadzenia plantacji mięty stwierdzono istotną korelację nakładów pracy od wysokości uzyskiwanych plonów w obydwu technologiach. Zależności regresyjne dla drugiego roku z rozróżnieniem na stosowane technologie przedstawiono na rys. 51 i 52. Przebieg równań regresji wskazuje, jak dużych nakładów pracy należy się spodziewać przy

założonym poziomie plonowania roślin. Istotną korelację nakładów energii skumulowanej w drugim roku uprawy ziela z otrzymanymi plonami, w technologii z sadzonek zielnych, przedstawiono na rys. 53.



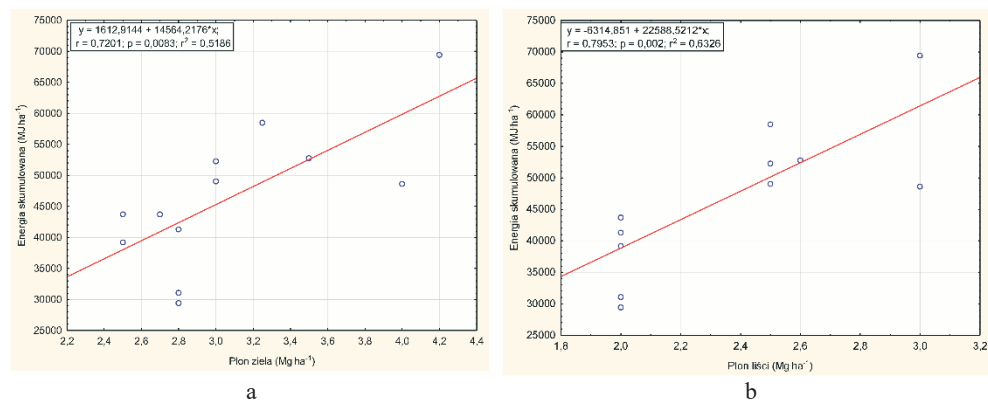
Rysunek 51. Zależność nakładów pracy żywej (MJ/ha⁻¹) od plonów ziela (Mg/ha⁻¹) - a oraz liści (Mg/ha⁻¹) - b w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w technologii wykorzystującej sadzonki zielne



Rysunek 52. Zależność nakładów pracy żywej (MJ/ha⁻¹) od plonów ziela (Mg/ha⁻¹) - a oraz liści - b w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w technologii wykorzystującej sadzonki rozlogowe

Kolejno sprawdzano, czy istnieją związki korelacyjne pomiędzy całkowitymi nakładami energii skumulowanej i poszczególnymi jej składowymi, ponoszonymi w uprawie mięty, a uzyskiwanymi plonami ziela oraz liści mięty pieprzowej w wydzielonych grupach

powierzchniowych. Analiza wzajemnych oddziaływań poszczególnych strumieni energetycznych na uzyskiwane plony mięty pieprzowej w grupach gospodarstw uprawiających zioła na różnym areale została zamieszczona w tab. 81.



Rysunek 53. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów zioła ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - a oraz liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - b w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w technologii wykorzystującej sadzonki zielne

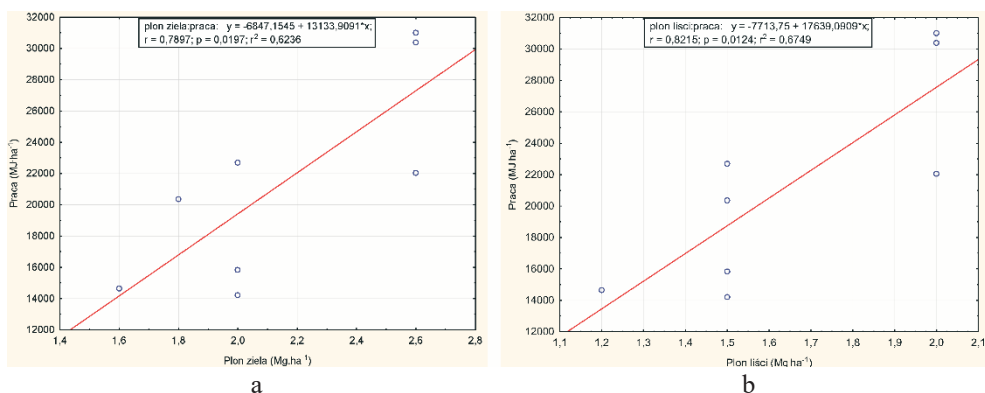
Tabela 81.

Współczynniki korelacji pomiędzy składnikami energochłonności skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), a uzyskiwanym plonem mięty pieprzowej ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w badanych gospodarstwach w zależności od powierzchni uprawy

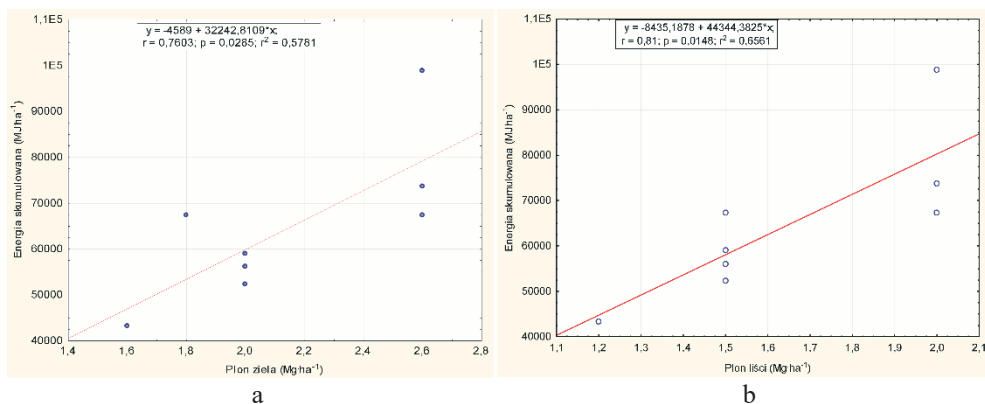
Rok produkcji	Grupa powierzchniowa	Plon	Całkowite nakłady energii skumulowanej	Nakład pracy żywej	Nakłady na materiały	Nakłady na nośniki energii	Nakłady inwestycyjne
I	1-3 ha	Z	0,006	0,23	0,68	0,04	0,24
		L	0,06	0,21	0,60	0,17	0,32
	4-9 ha	Z	0,76*	0,79*	0,47	0,30	0,50
		L	0,81*	0,82*	0,52	0,34	0,49
	10 ha ≤	Z	0,21	0,19	0,39	0,22	0,01
		L	0,28	0,27	0,38	0,15	0,07
II	1-3 ha	Z	0,70*	0,66	0,13	0,62	0,69*
		L	0,69*	0,67*	0,13	0,59	0,66
	4-9 ha	Z	0,69	0,70	0,59	0,48	0,02
		L	0,76*	0,69	0,74*	0,45	0,24
	10 ha ≤	Z	0,10	0,07	0,08	0,01	0,59
		L	0,39	0,32	0,30	0,11	0,46

* współczynnik korelacji istotny $p \leq 0,05$

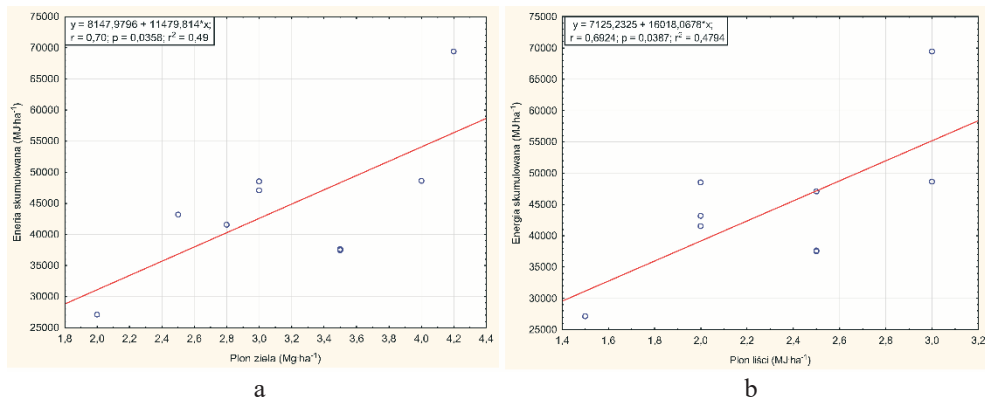
Istotne zależności dla pierwszego roku wegetacji mięty pieprzowej w wydzielonych grupach gospodarstw ze względu na areal uprawy ziół, wystąpiły tylko dla przedziału wielkościowego 4-9 ha, gdzie stwierdzono korelację zarówno całkowitych nakładów energii skumulowanej, jak i pracy od plonów ziela i liści. Równania regresji dla tych zależności przedstawiono na rys. 54 i 55. Tym samym wykazano, że nakłady pracy żywej w tej grupie gospodarstw są najbardziej racjonalnie wykorzystane i oddziałują bezpośrednio na wielkość plonowania mięty pieprzowej. Jednak w drugim roku uprawy, mimo wysokich współczynników korelacji, przy założonym poziomie istotności, nie stwierdzono tej zależności. Natomiast obserwowano tu istotną korelację strumienia materiałów z uzyskiwanymi plonami liści, gdzie współczynnik korelacji wynosił 0,74. 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. Przedstawione na rys. 56, 57 i 58, potwierdzone statystycznie trendy, wskazują istotne powiązania wzrostu plonowania mięty pieprzowej w gospodarstwie z poszczególnymi rodzajami nakładów energetycznych i tym samym pozwalają szacować wysokość niezbędnych nakładów energetycznych (mając na uwadze współczynnik determinacji) oraz możliwości produkcyjne poszczególnych gospodarstw.



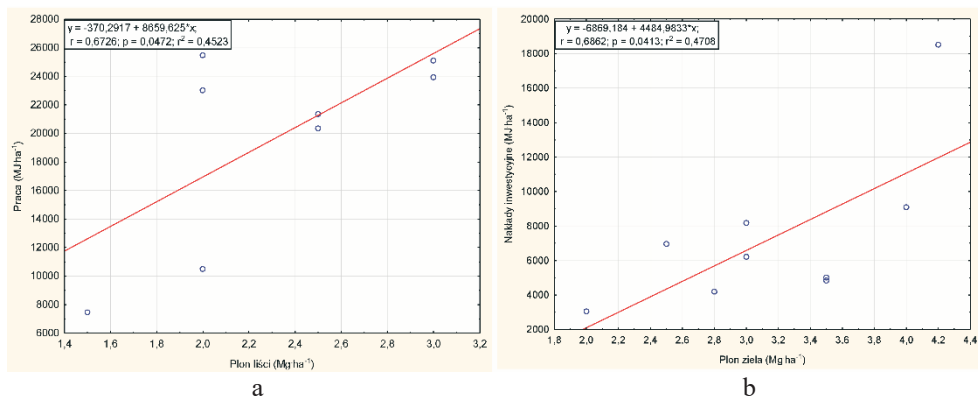
Rysunek 54. Zależność nakładów pracy żywej ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$) od plonów ziela ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) - a oraz liści ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) - b w pierwszym roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w grupie powierzchniowej 4-9 ha



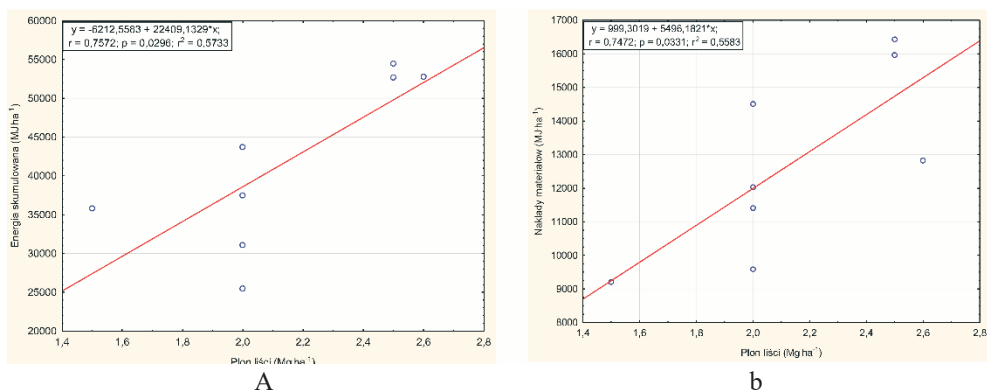
Rysunek 55. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej (MJ ha⁻¹) od plonów ziela (Mg ha⁻¹) - a oraz liści (Mg ha⁻¹) - b w pierwszym roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w grupie powierzchniowej 4-9 ha



Rysunek 56. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej (MJ ha⁻¹) od plonów ziela (Mg ha⁻¹) - a oraz liści (Mg ha⁻¹) - b w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w grupie powierzchniowej 1-3 ha



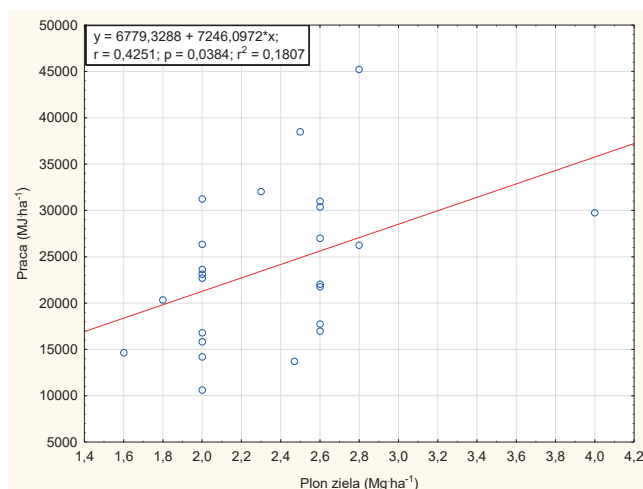
Rysunek 57. Zależność nakładów pracy żywej (MJha⁻¹) od plonów liści (Mgha⁻¹) - a oraz nakładów inwestycyjnych (MJha⁻¹) od plonu ziela - b w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w grupie powierzchniowej 1-3 ha



Rysunek 58. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej (MJha⁻¹) od plonów liści (Mgha⁻¹) - a oraz plonów liści (Mgha⁻¹) od nakładów materiałowych (MJha⁻¹) - b w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w grupie powierzchniowej 4-9 ha

Nie stwierdzono istotnych korelacji w grupie powierzchniowej gdzie uprawy roślin zielarskich prowadzone są na przynajmniej 10 ha. Zważywszy specyfikę tego typu upraw, są to bardzo duże powierzchnie. Z tego nasuwa się przypuszczenie o nieracjonalności zagospodarowania wydatkowanej energii skumulowanej na dużych arealach. Podobnie, zaskakującym wydaje się fakt w większości przypadków braku istotnych zależności pomiędzy strumieniem materiałów, który jak wykazano w rozdz. 5.4.5. dotyczy w największej mierze nakładów energetycznych ponoszonych na stosowane nawozy azotowe i plonowanie mięty pieprzowej zarówno w pierwszym, jak i drugim roku wegetacji. Odnotowano jedynie istotną zależność dla uzyskiwanych plonów liści w grupie gospodarstw 4-9 ha, gdzie współczynnik korelacji r-Pearsona wynosił 0,74 (rys. 58 b). Podsumowując, odniesiono się do

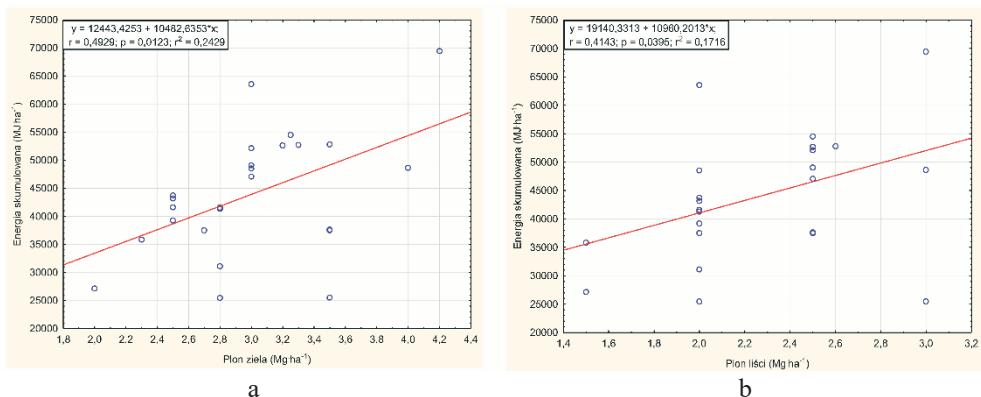
wzajemnych, istotnych statystycznie zależności plonowania mięty pieprzowej z poszczególnymi rodzajami nakładów energii skumulowanej dla analizowanych gospodarstw niezależnie od wielkości. Istotne zależności przedstawiono na rysunkach 59-61. Najsilniejszy, istotny statystycznie związek w pierwszym roku prowadzenia plantacji (współczynnik korelacji liniowej Pearsona 0,425) otrzymano dla zależności nakładów strumienia związanego z wykonywaną pracą, a wysokością plonów ziela. Została ona przedstawiona na rys. 59. Uwagę zwraca zróżnicowanie wysokości nakładów pracy na ten sam poziom plonowania mięty. Dla pozostałych zależności całkowitej energii skumulowanej oraz jej poszczególnych składowych strumieni energetycznych, a plonowaniem mięty w postaci ziela, czy też liści, wystąpiły nieistotne związki korelacyjne. Poszukiwanie racjonalnych powiązań zwłaszcza między wysoko nakładowymi strumieniami energii, a uzyskiwanymi plonami jest jednym z najważniejszych elementów poprawy wskaźnika efektywności energetycznej produkcji. Skoro w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej ponoszone są wysokie nakłady energii skumulowanej w materiałach, a te z kolei są silnie powiązane ze stosowanym nawożeniem azotowym, a nie korelują z uzyskiwaną wysokością plonów, nasuwa się wniosek, że są one nieracjonalne. Jak wykazano wcześniej, na plonowanie roślin zielarskich ma wpływ wiele czynników, niekoniecznie zależnych od plantatora, lecz w tym przypadku skala tego zjawiska wydaje się zbyt duża.



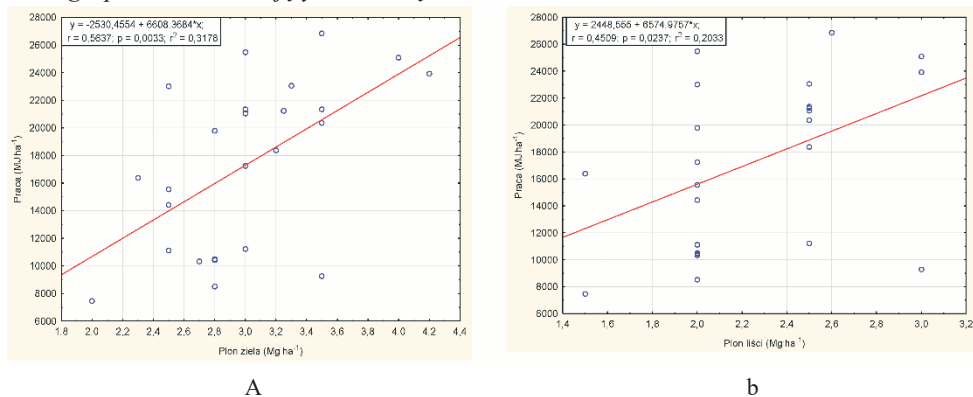
Rysunek 59. Zależność nakładów pracy żywej (MJ ha^{-1}) od plonów ziela (Mg ha^{-1}) w pierwszym roku wegetacji w badanych gospodarstwach

W drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej można odnieść wrażenie, że nakłady energii skumulowanej są mniej rozproszone, a bardziej skondensowane na produkcie finalnym. W tym przypadku odchodzą wszelkie czynności związane z zakładaniem plantacji, a to zależne jest, jak starano się wykazać w niniejszej pracy w dużej mierze od jakości materiału szkółkarskiego. Zależności całkowitych nakładów energii skumulowanej od wysokości plonu ziela i liści w drugim roku uprawy przedstawiono na rys. 60. Dla zależności przedstawionych na rys. 60 stwierdzono korelację umiarkowaną i współczynniki

korelacji r-Pearsona wynosiły odpowiednio 0,49 i 0,41. Stwierdzono także zależności istotne uzyskiwanych plonów ziela i liści mięty pieprzowej z nakładami energii wynikającymi z pracy ludzkiej. Współczynniki korelacji r-Pearsona dla tych zależności wynosiły odpowiednio 0,56 oraz 0,45 (rys. 61). Przedstawione na rysunkach 60 i 61 zależności umożliwiają określanie minimalnych nakładów energii skumulowanej oraz nakładów wynikających z pracy żywej potrzebnych do uzyskania określonej wielkości plonowania mięty. Tym samym widoczna jest rozpiętość nakładów energii dla tych samych wysokości plonowania. Przykładowo, plony ziela mięty pieprzowej w wysokości 2,8 Mg·ha⁻¹ jak i 3,5 Mg·ha⁻¹ można uzyskać przy zbliżonych skumulowanych nakładach energetycznych, wynoszących około 26000 MJ·ha⁻¹. Zazwyczaj są one jednak znacznie większe.



Rysunek 60. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej (MJ·ha⁻¹) od plonów ziela - a oraz liści - b (Mg·ha⁻¹) w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w gospodarstwach objętych analizą



Rysunek 61. Zależność nakładów pracy żywej (MJ·ha⁻¹) od plonów ziela - a oraz liści (Mg·ha⁻¹) - b w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w analizowanych gospodarstwach

Plony melisy lekarskiej

Podstawą oceny działalności produkcyjnej gospodarstw są osiągane plony roślin. W kontekście wcześniej prowadzonych rozważań nad tym tematem dotyczącym mięty pieprzowej, powinny być one odzwierciedleniem ponoszonych nakładów, ale uprawa roślin zielarskich jest szczególnie trudna i wymagająca. Aby móc odpowiedzieć na ile uzyskiwane wysokości plonów melisy lekarskiej zależą od nakładów poszczególnych strumieni energii, poddano analizie statystycznej zebrane wyniki dotyczące plonowania w analizowanych latach użytkowania plantacji, a jej rezultaty zamieszczono w tab. 82.

Tabela 82.

Plony melisy lekarskiej w poszczególnych latach wegetacji

Rok produkcji	Technologia	Plon ziela (Mg·ha ⁻¹)	Plon liści (Mg·ha ⁻¹)	Zawartość oleju eterycznego (%)	Plon oleju eterycznego (dm ³ ·ha ⁻¹)
I	Nasiona	1,96±0,18 a*	1,06±0,18 a	0,05	0,53±0,09 a
	Sadzonki	1,98±0,20 a	1,04±0,12 a		0,52±0,06 a
Średnia		1,97	1,05		0,52
II	Nasiona	4,26±0,73 b	2,76±0,34 b	0,05	1,38±0,17 b
	Sadzonki	3,85±0,34 b	2,86±0,34 b		1,43±0,17 b
Średnia		4,02	2,82		1,41

*a, b – grupy homogeniczne, wg testu Tukey'a, dla różnych n, p=0,05

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 Mg·ha⁻¹ ziela i 1,05 Mg·ha⁻¹ liści, natomiast w drugim roku było to średnio 4,02 Mg·ha⁻¹ i 2,82 Mg·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 kg·m⁻², natomiast liści 0,15 kg·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 młodego, 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 kg·m⁻², natomiast nie obserwowano istotnych różnic w zawartości olejków eterycznych, kształtowały się w zakresie 0,115-0,150 ml·100g⁻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 dm³·ha⁻¹ i 1,41 dm³·ha⁻¹ drugim.

Analogicznie jak przy mięcie pieprzowej, przeprowadzono analizę związków korelacyjnych pomiędzy całkowitymi nakładami energii skumulowanej, a także poszczególnymi jej składowymi, ponoszonymi w uprawie melisy lekarskiej, a uzyskiwanymi plonami ziela oraz liści. Zależność oddziaływań poszczególnych strumieni energetycznych na uzyskiwane plony melisy lekarskiej została przedstawiona w tab. 83.

Tabela 83.

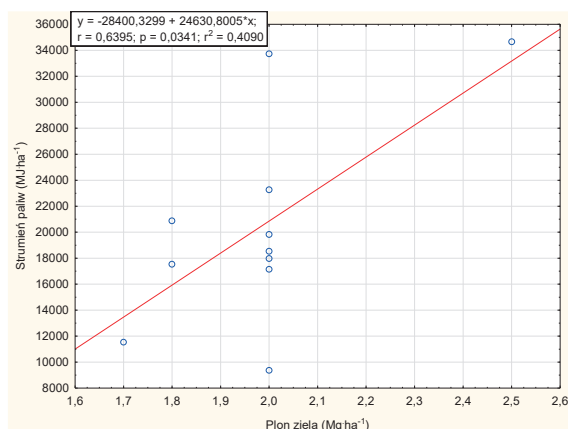
Współczynniki korelacji pomiędzy składnikami energochłonności skumulowanej (MJ ha⁻¹), a uzyskiwanym plonem melisy lekarskiej (Mg ha⁻¹) w gospodarstwach, w badanych technologiach produkcji

Rok produkcji	Technologia	Plon	Całkowite nakłady energii skumulowanej	Nakłady pracy żywej	Nakłady na materiały	Nakłady na nośniki energii	Nakłady inwestycyjne
I	Nasiona	Z	0,34	0,27	0,12	0,40	0,09
		L	0,1	0,14	0,07	0,26	1,06
	Sadzonki	Z	0,32	0,19	0,08	0,64*	0,03
		L	0,23	0,31	0,12	0,60	0,02
II	Nasiona	Z	0,22	0,11	0,38	0,75	0,27
		L	0,32	0,47	0,06	0,31	0,32
	Sadzonki	Z	0,24	0,12	0,32	0,47	0,02
		L	0,29	0,09	0,31	0,55	0,04

* współczynnik korelacji istotny p≤0,05

W większości analizowanych związków nie otrzymano istotnych zależności korelacyjnych. Przyczynę tego stanu rzeczy należy upatrywać w stosunkowo wysokim i wyrównanym plonowaniu, jakie było uzyskiwane w obydwu technologiach. W pierwszym roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej zakładanych z sadzonek zielnych, stwierdzono istotną zależność wysokości plonowania ziela od ponoszonych tam nakładów dotyczących strumienia paliw. Dodatni współczynnik korelacji wskazuje, że nakłady te przyczyniają się bezpośrednio do uzyskanych plonów. Nawiązując do wcześniej prowadzonej analizy po-

szczególnych strumieni energetycznych z całościowymi nakładami energii skumulowanej, również stwierdzono istotną korelację ze strumieniem paliw. Analizując zużycie paliwa na poszczególne zabiegi w pierwszym roku uprawy, zauważono największe nakłady na czynności związane z zakładaniem plantacji, w dalszej kolejności wykazano, że ta technologia generuje niższe nakłady prac ręcznych związanych z pieleniem plantacji. Tym samym można wnioskować jak ważny jest ten etap produkcji w analizowanej technologii, który pochłania dużo energii paliw, jednak ma bezpośrednie przełożenie na uzyskiwane plony ziela melisy. Równania regresji dla omawianego strumienia energii przedstawiono na rys. 62.



Rysunek 62. Zależność strumienia paliw (MJ ha⁻¹) od plonów ziela melisy lekarskiej (Mg ha⁻¹) w pierwszym roku produkcji w gospodarstwach stosujących sadzonki zielne

5.7. Wskaźniki energochłonności roślin zielarskich

Wskaźniki energochłonności mięty pieprzowej

Do oceny wydajności i porównywania danych systemów produkcyjnych oraz ich wpływu na środowisko wykorzystywana jest analiza wejściowo-wyjściowa energii (Mobtaker i in., 2010). Według Gołasa (2014) efektywność energetyczna polskich gospodarstw jest silnie uzależniona od ich typu, a Starczewskiego i in. (2008) w praktyce jest wyraźnie różnicowana przez stosowane technologie produkcji. Stąd, analizę poszczególnych wskaźników oceny energetycznej prowadzono osobno z wydzieleniem stosowanych w gospodarstwach uprawiających miętę pieprzową technologii i w zależności od areалу uprawy ziół w gospodarstwie. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej uprawy mięty pieprzowej w pierwszym i drugim roku wegetacji z wyróżnieniem metod uprawy mięty pieprzowej przedstawiono w tab. 84 i 86 oraz z podziałem na grupy powierzchniowe w tab. 85 i 87.

Tabela 84.

Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy mięty pieprzowej w pierwszym roku wegetacji

Wyszczególnienie	Jednostka	Sadzonki zielne	Sadzonki rozłogowe	Średnio
Wartość energetyczna plonu liści	(MJ·ha ⁻¹)	28778,8±7225,4	27271,5±4849,7	28025,2
Wartość energetyczna plonu ziela	(MJ·ha ⁻¹)	38062,3±10289,4	36360,0±5906,9	37211,2
Wskaźnik energochłonności liści	(MJ·kg ⁻¹)	36,5±6,4	42,3±13,12	39,41
Wskaźnik energochłonności ziela	(MJ·kg ⁻¹)	27,6±5,2	31,5±9,88	29,55
Wskaźnik energochłonności olejku eterycznego	(MJ·dm ⁻³)	1538,7±603,8	1855,91±453,9	1697,3
Wskaźnik efektywności liści	(kg·MJ ⁻¹)	0,0284±0,0062	0,0256±0,0077	0,0270
Wskaźnik efektywności ziela	(kg·MJ ⁻¹)	0,0378±0,0095	0,0345±0,0104	0,0361
Wskaźnik efektywności olejku	(dm ³ ·MJ ⁻¹)	0,0007±0,0002	0,0006±0,0002	0,0007
Wskaźnik efektywności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	0,60±0,15	0,54±0,16	0,57
Wskaźnik energochłonności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	1,73±0,32	2,01±0,62	1,87
Energia netto	(MJ·ha ⁻¹)	-26,05±13,40	-34,95±18,53	-30,51

Tabela 85.

Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej uprawy mięty pieprzowej w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie w pierwszym roku wegetacji

Wyszczególnienie	Jednostka	1-3 ha	4-9 ha	10 ha ≤	Średnio
Wartość energetyczna plonu liści	(MJ·ha ⁻¹)	30238,2±7517,1	26708,4±5502,5	27815,6±4722,9	28254,1
Wartość energetyczna plonu ziela	(MJ·ha ⁻¹)	41230,5±10811,5	34615,9±7077,5	35955,2±5387,1	37267,2
Wskaźnik energochłonności liści	(MJ·kg ⁻¹)	36,06±10,27	39,12±5,37	40,57±13,32	38,59

Wyszczególnienie	Jednostka	1-3 ha	4-9 ha	10 ha ≤	Średnio
Wskaźnik energochłonności ziela	(MJ·kg ⁻¹)	26,39±7,74	30,10±4,85	30,86±9,63	29,12
Wskaźnik energochłonności olejku eterycznego	(MJ·dm ⁻³)	1635,95±470,75	1817,19±652,31	1530,56±529,30	1661,23
Wskaźnik efektywności liści	(kg·MJ ⁻¹)	0,0299±0,0092	0,0259±0,0032	0,0268±0,008	0,0276
Wskaźnik efektywności ziela	(kg·MJ ⁻¹)	0,0411±0,0132	0,0339±0,0048	0,0348±0,0095	0,0366
Wskaźnik efektywności olejku	(dm ³ ·MJ ⁻¹)	0,0007±0,0003	0,0006±0,0002	0,00072±0,0002	0,0007
Wskaźnik efektywności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	0,64±0,21	0,54±0,07	0,55±0,15	0,58
Wskaźnik energochłonności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	1,69±0,56	1,87±0,28	1,96±0,60	1,84
Energia netto	(MJ·ha ⁻¹)	-25,37±17,40	-30,24±12,11	-32,99±17,98	-29,53

Tabela 86.

Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy mięty pieprzowej w drugim roku wegetacji

Wyszczególnienie	Jednostka	Sadzonki zielne	Sadzonki rozłogowe	Średnio
Wartość energetyczna plonu liści	(MJ·ha ⁻¹)	37573,4±6817,6	34113,3±6095,3	35843,3
Wartość energetyczna plonu ziela	(MJ·ha ⁻¹)	49263,3±9435,9	45419,3±7919,4	47341,3
Wskaźnik energochłonności liści	(MJ·kg ⁻¹)	19,8±2,9	21,2±4,4	20,5
Wskaźnik energochłonności ziela	(MJ·kg ⁻¹)	15,1±2,5	15,7±2,6	15,4
Wskaźnik energochłonności olejku eterycznego	(MJ·dm ⁻³)	823,6±259,3	965,1±283,9	894,4
Wskaźnik efektywności liści	(kg·MJ ⁻¹)	0,052±0,008	0,049±0,009	0,050
Wskaźnik efektywności ziela	(kg·MJ ⁻¹)	0,068±0,013	0,065±0,012	0,068
Wskaźnik efektywności olejku	(dm ³ ·MJ ⁻¹)	0,0013±0,0003	0,0011±0,0003	0,001
Wskaźnik efektywności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	1,09±0,20	1,03±0,19	1,06
Wskaźnik energochłonności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	0,95±0,15	1,00±0,16	0,97
Energia netto	(MJ)	2,68±7,44	0,16±8,16	1,42

Tabela 87.

Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej uprawy mięty pieprzowej w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie w drugim roku wegetacji

Wyszczególnienie	Jednostka	1-3 ha	4-9 ha	10 ha ≤	Średnio
Wartość energetyczna plonu liści	(Mg·ha ⁻¹)	36975±8591	34549±6518	36754±6511	36093
Wartość energetyczna plonu ziela	(Mg·ha ⁻¹)	49508±11763	46468±7408	46468±6408	47481,3
Wskaźnik energochłonności liści	(MJ·kg ⁻¹)	19,09±3,36	20,29±3,41	20,36±6,25	19,91
Wskaźnik energochłonności ziela	(MJ·kg ⁻¹)	14,08±2,38	14,96±2,75	15,72±3,90	14,92
Wskaźnik energochłonności olejku eterycznego	(MJ·dm ⁻³)	897,08±315,60	934,54±307,48	759,43±225,18	863,68
Wskaźnik efektywności liści	(kg·MJ ⁻¹)	0,0539±0,0095	0,0507±0,0099	0,0554±0,026	0,0533
Wskaźnik efektywności ziela	(kg·MJ ⁻¹)	0,0730±0,0135	0,0692±0,0150	0,0695±0,0281	0,0706
Wskaźnik efektywności olejku	(dm ³ ·MJ ⁻¹)	0,0012±0,0003	0,0012±0,0003	0,0015±0,0006	0,0013
Wskaźnik efektywności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	1,14±0,20	1,11±0,22	1,10±0,46	1,11
Wskaźnik energochłonności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	0,902±0,144	0,931±0,156	0,997±0,246	0,943
Energia netto	(MJ·ha ⁻¹)	5,25±8,20	3,09±6,92	0,84±13,19	3,06

Przeprowadzona analiza poszczególnych wskaźników oceny energetycznej w pierwszym i drugim roku uprawy mięty pieprzowej w badanych grupach gospodarstw nie wykazała różnic ze względu na stosowaną technologię uprawy, a także areał 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. Zdaniem autorki są to pierwsze wyniki badań pokazujące energochłonność produkcji surowca zielarskiego, stąd brak odniesień w literaturze przedmiotu. Wobec powyższego, można się tylko posiłkować innymi gatunkami

roślin uprawnych. 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. Autorzy zwracają uwagę, że większość piśmiennictwa nie uwzględnia w analizie produktów ubocznych uprawy. Wyjątkiem są uprawy tzw. roślin energetycznych, gdzie założeniem jest produkcja energii, stąd też w przypadku tej grupy roślin podawane są wysokie wartości tego współczynnika, przykładowo, wierzba w rotacji 3 letniej w produkcji zrębków 14,3-14,8 (Stolarski i in., 2011). Jednak i dla roślin energetycznych nie zawsze otrzymuje się tak obiecujące wyniki. Piskier (2008b) dla ślazu pensylwańskiego w pierwszym roku uprawy uzyskiwał wskaźnik efektywności energetycznej w zależności od sposobu zakładania plantacji w wysokości 0,25-1, natomiast w drugim roku 0,53-5,55. Z kolei dla topinamburu z przeznaczeniem na opał otrzymywał, w zależności od technologii uprawy od 3,86-6,6 (Piskier, 2010). Przy porównywaniu tego wskaźnika z innymi gatunkami roślin należy mieć na uwadze pewne różnice metodyczne jakie mogą występować na etapie obliczania wskaźników, przyjęte są bowiem dwie wersje, pierwsza, wykorzystywana w niniejszej pracy zalecana przez FAO (Wielicki, 1990), oraz druga, gdzie wartość energetyczna plonu wyznaczana jest z wykorzystaniem wartości opałowej suchej substancji danego gatunku rośliny. Drugi sposób powszechny jest zwłaszcza przy obliczaniu wskaźnika efektywności energetycznej roślin energetycznych, gdzie zazwyczaj ten parametr jest wyznaczany doświadczalnie dla danego gatunku (Piskier, 2008a,b; Kusek i in., 2016; Kwaśniewski, 2010; Jankowski i in., 2015). Uzyskiwane wartości współczynników efektywności energetycznej dla tej grupy roślin są zazwyczaj znacznie wyższe, co wg Börjesson (1996) jest szczególnie pożądane.

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 wartości wskaźnika efektywności prawie dwukrotnie wzrastają stanowiąc średnio w wydzielonych technologiach 1,06 i grupach powierzchniowych 1,11. Niewiele większe wskaźniki w uprawach ziemniaków w Iranie uzyskiwali w swych badaniach Mohammadi i in. (2008), gdzie stosunek wydajności energii do jej nakładów wynosił 1,25. Jednak biorąc pod uwagę podany przez Soni i in. (2013) przedział wielkościowy, wskaźnik efektywności energetycznej dla mięty nie jest wysoki. Niewiele wyższą efektywność energetyczną (1,4) uprawy ekologicznej kolcowaju pospolitego w Turcji uzyskiwał Oğuz i in. (2018), ale przy znacznie niższym wskaźniku energochłonności owoców wynoszącym 2,66 MJ·kg⁻¹. Natomiast liście mięty ze zbioru w drugim roku produkcji gdzie obserwowano wyższe plonowanie, przy niższych nakładach energii skumulowanej w porównaniu do pierwszego roku prowadzenia plantacji, wymagały aż 19,9-20,5 MJ·kg⁻¹. Gökdöğün i in. (2018) podają, że wśród badanych przez

nich gatunków roślin owocowych, najbardziej opłacalną produkcją pod względem efektywności zużycia energii stanowiły uprawy winogron (8,64), morwy (5,62) i granatu (2,87). Z kolei Moitzi i in. (2014) przedstawili wskaźniki efektywności dla upraw pszenicy prowadzonych w Rumuni 0,31-0,34, Słowacji 0,36-0,28, Serbii 0,32-0,31, oraz Austrii 0,44 MJ·kg⁻¹. Piskier (2008a) zwraca też uwagę, że nawet przy takich samych technologiach uprawy mogą występować różnice w efektywności energetycznej w zależności od klasy gleby, w uprawie wierzby na glebach klasy V i VI w badaniach tego autora wartości współczynnika efektywności energetycznej były istotnie mniejsze w porównaniu do klasy IV b o odpowiednio 52 i 83%. Prezentowane w niniejszej pracy wyniki badań odnoszą się do wyników produkcyjnych, gdzie mięta była uprawia na glebach zwłaszcza klasy III b i IVa.

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 kg·MJ⁻¹, ziela 0,036 kg·MJ⁻¹, natomiast olejków zaledwie 0,007 dm³·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 kg·MJ⁻¹, ziela 0,0706 kg·MJ⁻¹ i 0,0013 dm³·MJ⁻¹ olejków eterycznych. Porównywalny do osiąganego w badaniach własnych współczynnik efektywności w wysokości 0,07 kg·MJ⁻¹ otrzymywali dla ciecierzycy uprawianej w warunkach Iranu, w Kurdystanie, Salami i Ahmadi (2010).

W pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej w obydwu badanych technologiach uprawy stwierdzono ujemne wartości energii netto, średnio -30,51 MJ·ha⁻¹, podobnie jak i w analizie obejmującej grupy powierzchniowe, gdzie średnia stanowiła -29,53 MJ·ha⁻¹. Przedstawiony rachunek energetyczny nie jest zadowalający, jednak jak wykazano w rozdziałach wcześniejszych, 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 MJ·ha⁻¹, natomiast grupach o zróżnicowanym areale uprawy ziół 3,09 MJ·ha⁻¹. W niektórych publikacjach nakłady związane z samym zakładaniem plantacji są rozbijane na lata jej użytkowania. Jednak nawet przy takim założeniu, przy tak dużym deficycie energii uzyskanej w porównaniu do wniesionej do produkcji mięty pieprzowej i niewielkich jej zyskach w kolejnych latach, nie jest możliwym uzyskanie nawet bilansu zerowego przy aktualnych technologiach uprawy i możliwym okresie użytkowania plantacji. Zazwyczaj są one 3-4 letnie, a rekordowa długość z którą spotkano się w praktyce produkcyjnej wynosiła 9 lat. Należy zaznaczyć, że w większości upraw rolniczych obserwowane są zróżnicowane co do wielkości, ale dodatnie wartości energii (Ramedani i in., 2011; Moitzi i in., 2014; Jankowski i in., 2015; Memon i in., 2015). Jednak zdarza się, że zwłaszcza uprawa roślin ogrodniczych, czy sadowniczych związana jest ze stratami energii. Gökdöğän i in. (2018) w badaniach porównawczych bilansu energetycznego produkcji różnych owoców wykazują znaczne straty energii np. w szklarniowej uprawie truskawek (-683,5 MJ·ha⁻¹). Ponadto, deficyt energii wyniesionej z plonem w stosunku do ponoszonych nakładów stwierdzono w przypadku gruszki, migdałów, brzoskwiń, czy też wiśni.

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 38,6-39,4 MJ·kg⁻¹, natomiast ziela mięty pieprzowej 29,1-29,6 MJ·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- 20,5 MJ·kg⁻¹ oraz ziela 14,9-15,4 MJ·kg⁻¹. Jak wspomniano wcześniej, w literaturze brak odpowiedników dla podobnego surowca, stąd próba porównania do innych gatunków roślin uprawnych, celem oceny wielkości ponoszonych nakładów. Moitzi i in. (2014) przedstawili wskaźniki energochłonności dla upraw pszenicy prowadzonych w Rumuni 3,19-2,89, Słowacji 2,81-3,59, Serbii 2,62-3,17 oraz Austrii 2,27 MJ·kg⁻¹. Ramedani i in. (2011), wykazali na 1 kg soi 9,86 MJ. W produkcji jabłek w Grecji otrzymano wskaźnik energochłonności w wysokości 2,50 MJ kg⁻¹ (Strapatsa i in., 2006). Z kolei Canakci i in. (2005) podają w uprawie w Turcji dla pszenicy, kukurydzy i pomidora wskaźniki energochłonności w wysokości odpowiednio 5,24, 3,88 oraz 1,14 MJ·kg⁻¹. Tym samym, przedstawione przykładowe wartości wskaźników energochłonności różnych gatunków roślin uprawnych jako tło dla mięty pieprzowej, wyraźnie świadczą o bardzo wysokiej energochłonności tej uprawy.

Na koniec powyższych rozważań, autorka proponuje, aby ustalić zasady podawania wartości energetycznej plonu olejków eterycznych, w tych roślinach gdzie są one wymagane zgodnie z zasadami farmakopealnymi, jako równowartość energetyczną organów z jakich są pozyskiwane, przy założeniu ich minimalnej zawartości. W przypadku niespełnienia minimalnych, wymaganych normatywnie zawartości olejku można wnioskować, że część energii zostaje tracona, biorąc pod uwagę jego średnią zawartość w kg surowca. W prezentowanych wynikach badań własnych w każdym gospodarstwie uzyskiwano pożądaną zawartość olejków eterycznych.

Wskaźniki energochłonności melisy lekarskiej

Analogicznie jak w przypadku mięty pieprzowej przeprowadzono analizę poszczególnych wskaźników oceny energetycznej uprawy melisy lekarskiej wykorzystywanej jako surowiec w różnych dziedzinach przemysłu i latach użytkowania plantacji, a jej wyniki zamieszczono w tab. 88 i 89.

Tabela 88.

Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy melisy lekarskiej w pierwszym roku wegetacji

Wyszczególnienie	Jednostka	Nasiona	Sadzonki	Średnia
Wartość energetyczna plonu liści	(MJ·ha ⁻¹)	17166,6±2856,1 a	16744,3±1948,6 a	16922,1
Wartość energetyczna plonu ziela	(MJ·ha ⁻¹)	31574,6±2816,2 a	32390,4±2692,1 a	32046,9
Wskaźnik energochłonności liści	(MJ·kg ⁻¹)	36,2±12,5 b	61,2±12,5 a*	50,7
Wskaźnik energochłonności ziela	(MJ·kg ⁻¹)	19,3±6,7 b	31,2±6,61 a	26,2
Wskaźnik energochłonności olejku eterycznego	(MJ·dm ⁻³)	72365,2±24955,4 b	122368,2±24939,6 a	101314,3
Wskaźnik efektywności liści	(kg·MJ ⁻¹)	0,031±0,009 b	0,017±0,003 a	0,023
Wskaźnik efektywności ziela	(kg·MJ ⁻¹)	0,057±0,019 a	0,033±0,007 b	0,043
Wskaźnik efektywności olejku	(dm ³ ·MJ ⁻¹)	0,000015±0,000005a	0,000008±0,000002b	0,000011
Wskaźnik efektywności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	0,915±0,300 a	0,532±0,110 b	0,693
Wskaźnik energochłonności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	1,21±0,42 b	1,96±0,41 a	1,64
Energia netto	(MJ·ha ⁻¹)	-6,06±12,6 b	-30,65±12,38 a	-20,30

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, p=0,05

Tabela 89.

Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy melisy lekarskiej w drugim roku wegetacji

Wyszczególnienie	Jednostka	Nasiona	Sadzonki	Średnia
Wartość energetyczna plonu liści	(MJ·ha ⁻¹)	44633,2±5525,6 a	46267,2±5420,2 a	45579,2
Wartość energetyczna plonu ziela	(MJ·ha ⁻¹)	68218,9±11507,3 a	61841,5±5486,7 a	64526,7
Wskaźnik energochłonności liści	(MJ·kg ⁻¹)	13,62±4,36 a	16,85±5,63 a	15,49
Wskaźnik energochłonności ziela	(MJ·kg ⁻¹)	9,08±3,63 a	12,38±3,59 a	10,99
Wskaźnik energochłonności olejku eterycznego	(MJ·dm ⁻³)	27246,6±8724,4 a	33709,9±11268,1 a	30988,5
Wskaźnik efektywności liści	(kg·MJ ⁻¹)	0,079±0,022 a	0,066±0,023 a	0,072
Wskaźnik efektywności ziela	(kg·MJ ⁻¹)	0,124±0,042 a*	0,088±0,030 b	0,103
Wskaźnik efektywności olejku	(dm ³ ·MJ ⁻¹)	0,00004±0,00001a	0,00003±0,00001a	0,000036
Wskaźnik efektywności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	1,99±0,68 a	1,42±0,49 b	1,659
Wskaźnik energochłonności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	0,57±0,23 a	0,77±0,22 a	0,68
Energia netto	(MJ·ha ⁻¹)	30,75±19,14a	14,81±14,07a	21,52

*a, b - grupy jednorodne wg testu Tukey'a, dla różnych n, p=0,05

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 siew 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% na 1 kg ziela oraz 40,9% olejku eterycznego na 1 dm³ 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 otrzymane wartości wskaźników energochłonności poszczególnych surowców uzyskiwanych z melisy lekarskiej nie różniły się istotnie pomiędzy rozpatrywanymi technologiami. Energochłonność energetyczna obydwu technologii była na zbliżonym poziomie, średnio 0,68.

Stwierdzono ponadto 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 MJ·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 docelowym oraz wykorzystania przyczep samozbierających i suszenia pod zadaniem.

5.8. Sposoby ograniczania energochłonności uprawy 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. Oszczędności energetycznych związanych ze zmniejszeniem nakładów ponoszonych na nawożenie, zwłaszcza azotowe zajmowało się wielu autorów. W produkcji jabłek Strapatsa i in. (2006), natomiast jęczmienia Nasalski i in. (2004). Nasalski i in. (2004) wykazali, że wzrastający poziom nawożenia azotowego determinował wzrost plonu jęczmienia ozimego tylko do granicy 90 kg·ha⁻¹. Przy kolejnej dawce azotu, 120 kg·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 prezentowanych w rozdz. 5.1., gdzie nie stwierdzono istotnej różnicy w wysokości plonowania mięty pieprzowej dla zastosowanych dawek w wysokości 100 i 125 kg N·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 kg·ha⁻¹. Przeprowadzone kalkulacje uwzględniały tylko strumień materiałów, przy stałych nakładach energii wynikających z pozostałych strumieni energe-

tycznych. Przedstawione w tab. 90, 91, 92 i 93 wyniki analizy dla pierwszego i drugiego roku prowadzenia produkcji zawierają wartości średnie dla grup gospodarstw wyłonionych według stosowanej technologii uprawy i powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie.

Tabela 90.

Potencjalne oszczędności energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od technologii uprawy mięty pieprzowej w pierwszym roku prowadzenia plantacji

Wyszczególnienie	Sadzonki z pędów nadziemnych	Sadzonki z rozłogów podziemnych	Średnio
Suma wszystkich strumieni dla I roku uprawy	64117±14126	73300±12865	68708,5
Suma wszystkich strumieni dla I roku uprawy po zmniejszeniu nakładów na N	61025±10935	61651±15847	61337,9
Oszczędność energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	3092	11649	7370,6
Oszczędność energii (%)	4,82	15,89	10,7

Tabela 91.

Potencjalne oszczędności energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od technologii uprawy mięty pieprzowej w drugim roku prowadzenia plantacji

Wyszczególnienie	Sadzonki z pędów nadziemnych	Sadzonki z rozłogów podziemnych	Średnio
Suma wszystkich strumieni dla II roku uprawy	46580±11195	45261±9902	45920,5
Suma wszystkich strumieni dla I roku uprawy po zmniejszeniu nakładów na N	44019±9958	40424±8297	42221,5
Oszczędność energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	2561	4837	3699
Oszczędność energii (%)	5,50	10,69	8,06

Tabela 92.

Potencjalne oszczędności energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej

Wyszczególnienie	Powierzchnia plantacji (ha)			Średnio
	1-3	4-9	10 ≤	
Suma wszystkich strumieni dla I roku uprawy	66598±13931	64733±16810	68943±16515	66757,8 +7800
Suma wszystkich strumieni dla I roku uprawy po zmniejszeniu nakładów na N	60168±15519	60178±12673	64417±11183	61587
Oszczędność energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	6430	4555	4526	5170,8
Oszczędność energii (%)	9,65	7,04	6,56	7,75

Tabela 93.

Potencjalne oszczędności energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w drugim roku uprawy mięty pieprzowej

Wyszczególnienie	Powierzchnia plantacji (ha)			Średnio
	1-3	4-9	10 ≤	
Suma wszystkich strumieni dla II roku uprawy	44501±11568	41687±10953	45607±11377	43931,5
Suma wszystkich strumieni dla II roku uprawy po zmniejszeniu nakładów na N	41266±11480	40219±8565	42241±8613	41242,0
Oszczędność energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	3235	1468	3366	2689,7
Oszczędność energii (%)	7,27	3,52	7,38	6,1

Analizując potencjalne oszczędności energetyczne wynikające ze zmiany dawki stosowanego nawożenia azotowego do $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, stwierdzono zmniejszenie 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 całkowitych nakładów energii skumulowanej, co stanowi aż 11649 MJ·ha⁻¹. Jak przedstawiono w rozdziale 5.2. w gospodarstwach zajmujących się uprawą mięty pieprzowej, prowadzono także uprawy roślin zbożowych. Według Gołaszewskiego (red). (2013) na uprawę pszenicy na terytorium Europy ponoszone są nakłady energii skumulowanej w zakresie 12-19,9 GJ·ha⁻¹. Czyli w tym przypadku zaoszczędzona energia zabezpieczyłaby w gospodarstwach nakłady energetyczne na uprawę dodatkowego 1 ha pszenicy. 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⁻¹. W pierwszym roku wegetacji, w wydzielonych grupach powierzchniowych uprawy ziół można w ten sposób zaoszczędzić 5170,8 MJ·ha⁻¹, 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⁻¹, co stanowi 6,1%. Przytoczone informacje dotyczące stosowania nawozów azotowych mogą być wykorzystane w praktyce, w warunkach produkcyjnych. Wysokie dawki azotu to nie tylko zbędne nakłady energetyczne, ale także niebezpieczeństwo nagromadzenia azotanów oraz wzrost zagrożenia dla środowiska, głównie poprzez wymywanie i szczególnie ważne w uprawie ziół na glebach lżejszych. Należy podkreślić, że uprawa roślin zielarskich to jedna z młodszych gałęzi produkcji roślinnej. Z przedstawionych wyników badań terenowych nasuwa się wniosek, że istnieje również potrzeba prowadzenia zajęć szkoleniowych dotyczących tej szczególnej grupy roślin.

Wskaźniki oceny energetycznej uprawy mięty pieprzowej w pierwszym i drugim roku prowadzenia plantacji z uwzględnieniem dotychczasowych kryteriów analizy, przy założonej dawce azotu 100 kg·ha⁻¹ przedstawiono w tabelach 94, 95, 96 i 97.

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. Stwierdzili istotną zależność między plonami i właściwościami gleby a współczynnik korelacji r był w zakresie od 0,41 do 0,98.

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

nami 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) wykazali w swoich badaniach, że mięta pieprzowa rosnąca współrzędnie z soją w stosunku 3:2, 2:1, 2:3, oraz 2:1 plonuje na zbliżonym poziomie jak mięta w monokulturze. Ponadto, stosunek mięty do soi 3:2, 1:3, 2:3 generuje większą zawartość olejku eterycznego, o korzystnym składzie chemicznym, między innymi z większą ilością jednego z głównych składników - mentolu. Podobnie, w innych badaniach uprawy współrzędnej mięty pieprzowej z bobikiem Machiani i in. (2018) wykazali, że uprawa taka stanowi alternatywę dla tradycyjnych technologii przy zachowaniu podobnego plonowania o wyższej jakości przy mniejszych nakładach. W cytowanych badaniach największy plon biomasy z mięty pieprzowej w pierwszym zbiorze otrzymywano w monokulturze i w udziale procentowym mięty do bobiku 60:40, natomiast drugim w monokulturze i udziale 75:25 i 60:40. W obydwu zbiorach, we wszystkich kombinacjach otrzymywano większą zawartość olejku eterycznego w porównaniu do monokultury mięty pieprzowej, największą przy udziale procentowym 40:60. Sumarycznie, największe plony olejku eterycznego z mięty pieprzowej uprawianej współrzędnie z bobikiem otrzymano przy udziale procentowym 60:40. Ponadto, olejek z uprawy współrzędnej mięty i bobiku charakteryzował się wyższą ilością mentolu.

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 ($100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Według Gołaszewskiego (2013) pośrednie nakłady energetyczne związane z zużyciem nawozów mineralnych stanowią od 30 do 50% całkowitego zużycia energii w rolnictwie. Zmniejszenie poziomu nawożenia azotowego ma szeroki aspekt praktyczny, to nie tylko redukcja nakładów energetycznych 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 N_2O 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. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej w pierwszym i drugim roku prowadzenia uprawy mięty pieprzowej przy założeniu zmniejszenia N zgodnie z wynikami badań doświadczalnych, według kryteriów stosowanych w poprzednich rozdziałach, przedstawiono w tab. 94, 95, 96 i 97.

Tabela 94.

Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy mięty pieprzowej po zmniejszeniu azotu w pierwszym roku wegetacji

Wyszczególnienie	Jednostka	Sadzonki zielne	Sadzonki rozłogowe	Średnio
Wskaźnik energochłonności liści	(MJ·kg ⁻¹)	34,83±5,43	37,30±10,32	36,07
Wskaźnik energochłonności ziela	(MJ·kg ⁻¹)	26,31±4,37	27,75±7,71	27,03
Wskaźnik energochłonności olejku eterycznego	(MJ·dm ⁻³)	1459,5±498,5	1650,0±427,4	1554,8
Wskaźnik efektywności liści	(kg·MJ ⁻¹)	0,0295±0,0058	0,0287±0,008	0,029
Wskaźnik efektywności ziela	(kg·MJ ⁻¹)	0,0393±0,009	0,0385±0,0104	0,039
Wskaźnik efektywności olejku	(dm ³ ·MJ ⁻¹)	0,0007±0,0002	0,0007±0,0002	0,0007
Wskaźnik efektywności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	0,63±0,15	0,60±0,16	0,62
Wskaźnik energochłonności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	1,65±0,28	1,77±0,49	1,71
Energia netto	(MJ·ha ⁻¹)	-22,96±10,71	-26,47±14,58	-24,71

Tabela 95.

Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej uprawy mięty pieprzowej po zmniejszeniu azotu, w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie, w pierwszym roku wegetacji

Wyszczególnienie	Jednostka	1-3 ha	4-9 ha	10 ha ≤	Średnio
Wskaźnik energochłonności liści	(MJ·kg ⁻¹)	33,09±8,18	36,60±4,75	37,83±10,04	35,84
Wskaźnik energochłonności ziela	(MJ·kg ⁻¹)	24,19±6,07	28,17±4,47	28,79±7,13	27,05
Wskaźnik energochłonności olejku eterycznego	(MJ·dm ⁻³)	1508,52±431,48	1685,97±528,14	1435,23±455,80	1543,24
Wskaźnik efektywności liści	(kg·MJ ⁻¹)	0,0320±0,0085	0,0277±0,0035	0,0281±0,0075	0,0293
Wskaźnik efektywności ziela	(kg·MJ ⁻¹)	0,0440±0,0122	0,0362±0,0051	0,0366±0,0087	0,0389
Wskaźnik efektywności olejku	(dm ³ ·MJ ⁻¹)	0,0007±0,0003	0,0006±0,0002	0,0008±0,0002	0,0007
Wskaźnik efektywności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	0,69±0,20	0,58±0,08	0,58±0,14	0,61
Wskaźnik energochłonności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	1,55±0,51	1,76±0,27	1,83±0,46	1,71
Energia netto	(MJ·ha ⁻¹)	-20,27±14,48	-25,56±9,0	-28,46±13,15	-24,76

Tabela 96.

Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy mięty pieprzowej po zmniejszeniu azotu w drugim roku wegetacji

Wyszczególnienie	Jednostka	Sadzonki zielne	Sadzonki rozłogowe	Średnio
Wskaźnik energochłonności liści	(MJ·kg ⁻¹)	18,76±2,61	18,95±3,79	18,85
Wskaźnik energochłonności ziela	(MJ·kg ⁻¹)	14,29±2,28	14,10±2,40	14,19
Wskaźnik energochłonności olejku eterycznego	(MJ·dm ⁻³)	777,71±225,67	872,72±287,42	825,21
Wskaźnik efektywności liści	(kg·MJ ⁻¹)	0,054±0,008	0,055±0,010	0,054
Wskaźnik efektywności ziela	(kg·MJ ⁻¹)	0,072±0,013	0,073±0,014	0,072
Wskaźnik efektywności olejku	(dm ³ ·MJ ⁻¹)	0,0014±0,0003	0,0013±0,0004	0,0013
Wskaźnik efektywności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	1,14±0,20	1,15±0,21	1,15
Wskaźnik energochłonności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	0,90±0,14	0,90±0,15	0,90
Energia netto	(MJ·ha ⁻¹)	5,24±6,80	5,00±7,46	5,12

Tabela 97.

Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej uprawy mięty pieprzowej dla zmniejszonej dawki stosowanego nawożenia azotowego w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie, w drugim roku wegetacji

Wyszczególnienie	Jednostka	1-3 ha	4-9 ha	10 ha ≤	Średnio
Wskaźnik energochłonności liści	(MJ·kg ⁻¹)	17,74±3,39	18,94±3,28	18,83±4,96	18,50
Wskaźnik energochłonności ziela	(MJ·kg ⁻¹)	13,08±2,35	13,94±2,42	14,59±3,23	13,87
Wskaźnik energochłonności olejku eterycznego	(MJ·dm ⁻³)	837,76±308,12	868,61±268,70	707,15±202,37	804,51
Wskaźnik efektywności liści	(kg·MJ ⁻¹)	0,0581±0,0099	0,0543±0,010	0,0585±0,0263	0,0569
Wskaźnik efektywności ziela	(kg·MJ ⁻¹)	0,0787±0,0139	0,0740±0,0147	0,0735±0,0284	0,0754
Wskaźnik efektywności olejku	(dm ³ ·MJ ⁻¹)	0,0013±0,0004	0,0012±0,0003	0,0016±0,0006	0,0014
Wskaźnik efektywności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	1,22±0,20	1,18±0,21	1,16±0,43	1,19
Wskaźnik energochłonności energetycznej	(MJ·MJ ⁻¹)	0,838±0,143	0,867±0,137	0,926±0,2120	0,877
Energia netto	(MJ·ha ⁻¹)	8,24±7,51	6,25±6,12	4,23±11,57	6,24

Oczywistym zamierzeniem była symulacja zmniejszenia nakładów energii, przy założeniu tej samej wielkości plonowania, jako skutek zmniejszenia nawożenia azotowego. Obliczono, że zmniejszenie nawożenia azotowego do 100 kg ha^{-1} spowodowałoby wzrost wskaźnika efektywności energetycznej w pierwszym roku uprawy średnio dla gospodarstw wydzielonych ze względu na stosowaną technologię uprawy o około o 8,8%, natomiast areal 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 areal 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 $4,8 \text{ MJ ha}^{-1}$ natomiast w drugim roku uprawy nastąpiłby wzrost zysku energetycznego o 3,7 i $3,2 \text{ MJ ha}^{-1}$.

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 (rozdz. 5.5.), 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 $1,68 \text{ g}$ na donicę (w zamysłu w analogii do $\text{N } 150 \text{ kg ha}^{-1}$), a stosowane dawki tego makroskładnika w nawozach mineralnych w praktyce produkcyjnej nie wykaczały poza stosowany poziom, nie obliczano, tak jak w przypadku mięty pieprzowej ponownie wskaźników oceny energetycznej uprawy melisy przy zmniejszonej dawce tego pierwiastka.

5.9. Wskaźniki energochłonności rozlogów, nasion i preparatów humusowych

Wskaźniki energochłonności rozlogów

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, stały się okazją do uzupełnienia tej luki w obszarze tego gatunku i stanowią mogą bazę dla przyszłych prowadzonych badań.

Niewątpliwie, prowadzenie rozsadnika (matecznika), jakkolwiek metodą, generuje dodatkowe i znaczne nakłady energetyczne i jest nietypowe w polowej produkcji roślinnej. Celem jego jest wytworzenie materiału rozmnożeniowego, służącego do założenia plantacji, w związku z powyższym, w analogii do pozostałych upraw rolniczych, stanowi odpowiednik materiału siewnego, czy też np. w produkcji ziemniaków - sadzeniaków. Jak wskazuje literatura, w przypadku sadzonek wegetatywnych, zużycie energii na jednostkę masy (zazwyczaj kg) jest niewielkie. Piskier (2008b) dla sadzonek ślazuwca pensylwańskiego przyjmuje wartość $2,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, natomiast bulw topinamburu $2,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Piskier, 2010).

Przeciętnie na założenie 1 ha plantacji mięty pieprzowej potrzeba 170-220 tys. sadzonek, masa 1000 sadzonek wynosi 3-5 kg (Kołodziej, 2010). Kierując się przytoczonymi danymi i wynikami badań własnych prezentowanych w niniejszej pracy, energochłonność skumulowaną rozsadnika, można wyliczyć jako energochłonność jednostki masy rozlogów (tab. 98) i wprowadzić do ogólnego użycia. W związku z tym, że analiza statystyczna wyników całkowitej energochłonności rozsadnika nie wykazała istotnych różnic pomiędzy stosowanymi technologiami, przyjęto do obliczeń średnie wartości energochłonności przedstawione w rozdziale 5.4.1.

Tabela 98.

Energochłonność ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) rocznych rozlogów mięty pieprzowej

Zalecana norma sadzenia (szt.·ha ⁻¹)	Masa 1000 rozlogów (kg)			Średnio
	3	4	5	
170000	14,65	10,99	8,80	11,48
195000	12,78	9,59	7,67	10,01
220000	11,32	8,50	6,79	8,87
Średnio	12,92	9,69	7,75	10,12

Opierając się na danych prezentowanych przez Kołodziej (2010) przyjęto zarówno skrajne jak i średnie zużycie rozlogów na powierzchnię 1 ha oraz masę 1000 sztuk sadzonek w wysokości 4 kg, co dało średnie zużycie energii skumulowanej przypadającej na 1 kg rozlogów w wysokości 10,12 MJ. W związku z powyższym proponuje się przyjmować do obliczeń energochłonności skumulowanej 1 kg rocznych rozlogów mięty pieprzowej wartość 10 MJ.

Wskaźniki energochłonności nasion

W związku z tym, iż w niektórych gospodarstwach zajmujących się uprawą melisy lekarskiej, powszechnym procederem było pozyskiwanie własnych nasion tego gatunku

przeznaczonych do wysiewu w gospodarstwie w kolejnym roku kalendarzowym, w pracy energochłonność obliczano z nakładów energii na własny wyprodukowany materiał siewny.

Założono zbiór nasion w drugim roku prowadzenia plantacji, co ma miejsce w praktyce produkcyjnej i ze względów biologicznych jest uzasadnione, ponieważ rośliny są bardziej rozrośnięte i uzyskujemy większy plon nasion. W drugim roku produkcji melisa nie jest koszona w celu uzyskania ziela. Dla drugiego roku prowadzenia plantacji i takiego wariantu uprawy sporządzono oddzielne karty technologiczne. Zbiór nasion odbywał się kombajnem powszechnie stosowanym w produkcji roślinnej. Na podstawie całkowitych nakładów energetycznych z poszczególnych gospodarstw obliczono wartość energochłonności skumulowanej przypadającą na jednostkę masy nasion.

Do obliczeń przyjęto:

- średnie plony nasion z 1 ha wynoszące 600 kg (dane od plantatorów),
- normę wysiewu nasion melisy na 1 ha wynoszącą 5 kg (Kołodziej, 2010 oraz dane od plantatorów),
- powierzchnię pola potrzebną do wyprodukowania 5 kg nasion 0,0083 ha.

W ten sposób uzyskano średnią energochłonność nasion w wysokości $30 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ i taką wartość proponuje się przyjmować do innych obliczeń energochłonności skumulowanej w uprawach melisy lekarskiej. Taki też ekwiwalent energetyczny dla 1 kg nasion melisy lekarskiej przyjęto do obliczeń w niniejszej pracy, w gospodarstwach, gdzie powszechnym był coroczny zakup nasion.

Wskaźniki energochłonności preparatów humusowych

W produkcji badanych gatunków ziół zaobserwowano wszystkie trendy technologii, począwszy od produkcji intensywnych, z zużyciem znacznej ilości środków chemicznych, poprzez produkcję integrowaną, do ekologicznej. Niekiedy produkcja integrowana tylko nieznacznie różniła się od ekologicznej. Jednak nawet przy typowej produkcji intensywnej zauważalnym w uprawach ziół był trend, który nazywano proekologiczny. Polegał on na wprowadzaniu elementów nawożenia typowego dla gospodarstw ekologicznych, np. humusu. Stanowiło to niemałą trudność metodyczną dotyczącą obliczania energochłonności takich upraw. W związku z powyższym, niezbędnym było stworzenie metodyki obliczeń energochłonności nowoczesnych preparatów humusowych.

Dostępne w Polsce i wykorzystywane w rolnictwie preparaty humusowe najczęściej pozyskiwane są z leonardytów (forma pośrednia między torfem a węglem brunatnym) oraz węgla brunatnego. Kwasy humusowe uzyskane z tych źródeł odznaczają się najlepszymi parametrami dotyczącymi gęstości, stosunku C:N i jednorodności, dlatego stanowią bazę do produkcji nawozów rolniczych i ogrodniczych (strony internetowe: agrosimex.pl, sadinfo.pl, doradztwo.sadownicze.pl). Wg Tomków (1981) graniczne wartości kwasów huminowych występujących w węglu brunatnym stanowią 5-70%. Opierając się na tych danych przyjęto jako średnią zawartość tych związków na poziomie 32,5%. W związku z powyższym, aby uzyskać 1 kg kwasów huminowych potrzebne jest około 3 kg węgla brunatnego.

Stąd, przyjmując za Wójcickim (2008) wartość energetyczną dla 1 kg węgla brunatnego jako 10 MJ, na podstawie powyższych przesłanek dla 1kg kwasów huminowych zawartych w preparacie przyjęto w niniejszej pracy przelicznik wynoszący 30 MJ.

6. 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 skumulowaną 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 $N\ 100\ kg\ ha^{-1}$ przy niezmienionej zawartości olejków eterycznych. Przeprowadzone obliczenia symulacyjne wykazały, że zmniejszenie dawki nawozów azotowych do $100\ kg\ ha^{-1}$ spowodowałaby wzrost wskaźnika efektywności energetycznej w pierwszym roku uprawy średnio dla gospodarstw wydzielonych ze względu na stosowaną technologię uprawy o około 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 mogłby 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 zadaszaniem, generowały w cyklu dwuletnim mniejsze nakłady energii skumulowanej, w pierwszym roku uprawy melisy wartość $37638\ MJ\ ha^{-1}$. 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 $19177\ MJ\ ha^{-1}$, natomiast w drugim roku $17571\ MJ\ ha^{-1}$. Wybrana, bardziej energooszczędna technologia uprawy charakteryzowała się największymi nakładami pracy wydatkowanej na pienie 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 $1,58\ g$ na donicę (górna przyjęta dawka na 1 donicę).
 10. Obliczone w niniejszej pracy wskaźniki energetyczne rozłogów mięty pieprzowej, nasion melisy i kwasów humusowych mogą być wykorzystane przy ocenie nakładów energetycznych produkcji w innych badaniach.

7. BIBLIOGRAFIA

- Abbaszadeh, B., Farahani, H. A., Valadabadi, S. A., Darvishi, H. H. (2009). Nitrogenous fertilizer influence on quantity and quality values of balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Agricultural extension and rural development*, 1(1), 31-33.
- Abdou, M., Mohamed, M. A. H. (2014). Effect of plant compost, salicylic and ascorbic acids on *Mentha piperita* L. plants. *Biological Agriculture & Horticulture*, 30(2), 131-143.
- 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.
- Allali, K., Dhehibi, B., Kassam, S. N., Aw-Hassan, A. (2017). Energy consumption in onion and potato production within the province of El Hajeb (Morocco): towards energy use efficiency in commercialized vegetable production. *Journal of Agricultural Science (Toronto)*, 9(1), 118-127.
- Al-Tawaha, A., Al-Karaki, G., Massadeh, A. (2013). Comparative response of essential oil composition, antioxidant activity and phenolic contents spearmint (*Mentha spicata* L.) under protected soilless vs. open field conditions. *Advances in Environmental Biology*, 902-911.
- Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., Grignani, C. (2011). EUE (efektywność wykorzystania energii) systemów upraw dla zrównoważonego rolnictwa. *Energy*, 36(7), 4468-4481.
- Antoszkiewicz J. i in. (2003). Wpływ nawożenia mineralnego na zawartość i pobranie makroelementów przez koniczynę łąkową (*Trifolium pratense* L.). *ZPPNR*, z. 494, 27-34.
- Anuszewski R., Pawlak J., Wójcicki, Z. (1979). Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. *IBMER Warszawa*, 23-28.
- Argyropoulos, D., Müller, J. (2014). Changes of essential oil content and composition during convective drying of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Industrial Crops and Products*, 52, 118-124.
- Aziz, E. E., El-Ashry, S. M. (2009). Efficiency of slow release urea fertilizer on yield and essential oil production of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) plant. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 5(2), 141-147.
- Azizi, A., Yan, F., Honermeier, B. (2009). Plonowanie, zawartość olejku eterycznego i skład trzech populacji oregano (*Origanum vulgare* L.), na które mają wpływ warunki wilgotności gleby i zaopatrzenia w azot. *Przemysłowe uprawy i produkty*, 29(2-3), 554-561.
- Azizi, K., Heidari, S. (2013). A comparative study on energy balance and economical indices in irrigated and dry land barley production systems. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10(5), 1019-1028.
- Bailey, A. P., Basford, W. D., Penlington, N., Park, J. R., Keatinge, J. D. H., Rehman, T., Yates, C. M. (2003). A comparison of energy use in conventional and integrated arable farming systems in the UK. *Agriculture, ecosystems & environment*, 97(1-3), 241-253.
- Bechini, L., Castoldi, N. (2009). On-farm monitoring of economic and environmental performances of cropping systems: results of a 2-year study at the field scale in northern Italy. *Ecological Indicators*, 9(6), 1096-1113.
- Bedoussac, L., Journet, E. P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., 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.
- Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannes, W. A., Kchouk, M. E., Marzouk, B. (2009). Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. *Scientia Horticulturae*, 120(2), 271-275.

- Bielski S., Dubis B., Jankowski, K. (2015). Nakłady energii na produkcję pszenżyta przeznaczonego do produkcji bioetanolu. *Przemysł Chemiczny*, 94(10), 1798 -1801.
- Bonny, S. (1993). Is agriculture using more and more energy? A French case study. *Agricultural systems*, 43(1), 51-66.
- Börjesson P. I. (1996). Energy analysis of biomass production and transportation. *Biomass Bioenergy*, 11, 305-318.
- Börjesson, P., Tufvesson, L. M. (2011). Agricultural crop-based biofuels—resource efficiency and environmental performance including direct land use changes. *Journal of Cleaner Production*, 19(2-3), 108-120.
- Brogowski, Z., Gawrońska-Kulesza, A. (2005). Zawartość potasu w fazach rozwojowych wybranych roślin uprawnych. *Nawozy i Nawożenie*, 3(24), 283-292.
- Budzynski, W. S., Jankowski, K. J., Szczebiot, M. (2004). Wydajność energetyczna różnych technologii uprawy rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste - Oilseed Crops*, 25(2), 327-344.
- Canakci, M., Akinci, I. (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy*, 31(8-9), 1243-1256.
- Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energy conversion and Management*, 46(4), 655-666.
- Crutzen, P. J., Mosier, A. R., Smith, K. A., Winiwarter, W. (2008). N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys.* 8, 389-395.
- Dalgaard, T., Halberg, N., Porter, J. R. (2001). A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 87(1), 51-65.
- Dambrauskienė, E., Viškelis, P., Karklelienė, R. (2008). Productivity and biochemical composition of *Mentha piperita* L. of different origin. *Biologija*, 54, 105-107.
- Deike, S., Pallutt, B., Christen, O. (2008). Investigations on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. *European Journal of Agronomy*, 28(3), 461-470.
- Derwich, E., Benziane, Z., Taouil, R., Senhaji, O., Touzani, M. (2010). Aromatic plants of morocco: GC/MS analysis of the essential oils of leaves of *Mentha piperita*. *Advances in Environmental Biology*, 4, 80-86.
- Dobek, T. (2006). Efektywność energetyczna produkcji ziemniaków jadalnych w wybranych gospodarstwach. *Inżynieria Rolnicza*, 2(77), 239-246.
- 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.
- Dobek, T. K., Dobek, M., Wojciechowska, J. (2009). Ekonomiczne i energetyczne aspekty produkcji soi w warunkach polskiego rolnictwa. *Inżynieria Rolnicza*, 13, 37-43.
- 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.
- Dwivedi, S., Khan, M., Srivastava, S. K., Syamasunnder, K. V., Srivastava, A. (2004). Essential oil composition of different accessions of *Mentha piperita* L. grown on the northern plains of India. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(5), 437-440.
- Dzida, K., Zawislak, G., Karczmarz, K. (2015). Yields and biological value of three herbal species from the Lamiaceae family. *Journal of Elementology*, 20(2).
- Encyclopedia Britannica Online. (2014). Lamiaceae. Retrieved from: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/328710/Lamiaceae> (dostęp 24.05.2018).
- 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.

- 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.
- Esengun, K., Gündüz, O., Erdal, G. (2007). Input-output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Conversion and Management*, 48(2), 592-598.
- Farmakopea Polska IX. (2011). Tom I, W-wa, ISBN 978-83-88157-78-3.
- Fei, R., Lin, B. (2017). Estimates of energy demand and energy saving potential in China's agricultural sector. *Energy*, 135, 865-875.
- Fejér, J., Gruľová, D., De Feo, V. (2017). Biomass production and essential oil in a new bred cultivar of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Industrial Crops and Products*, 109, 812-817.
- Fialová, S., Tekelová, D., Švajdlenka, E., Potůček, P., Jakubová, K., Grančai, D. (2014). The variability of secondary metabolites in *Mentha piperita* cv. 'perpeta' during the development of inflorescence. *Acta Facultatis Pharmaceuticae Universitatis Comenianae*, 61(2), 21-25.
- Forycka, A., Buchwald, W. (2008). Badania zasobów naturalnych roślin leczniczych objętych w Polsce ochroną prawną. *Herba. Pol.* 54(3), 81-112.
- Gach S., Korpysz K., Polańczyk M. (2011). Expenditure on harvest and ensiling of corn grain in a plastic bags. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 56(2), 44-48.
- Gezer, I., Acaroğlu, M., Haciseferoğlu, H. (2003). Use of energy and labour in apricot agriculture in Turkey. *Biomass and Bioenergy*, 24(3), 215-219.
- Gniadek, J. (2012). Wpływ rozlogów pól ornych i przestrzennych cech gospodarstw na koszty uprawowe we wsi Filipowice. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. *Polska Akademia Nauk*, 1(3), 231-241.
- Gökdoğan, O., Erdoğan, O., Oğuz, H. I., Baran, M. F. (2018). Studies of Energy Use Efficiency on Fruit Production. *Erwerbs-Obstbau*, 1-5.
- Golka, W., Ptaszyński, S. (2014). Nakłady na uprawę roli w technologii zachowawczej i tradycyjnej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 3(85), 31-47.
- Golasa, P. (2014). Efektywność energetyczna w gospodarstwach rolnych w Polsce w zależności od typu rolniczego. *Logistyka*, 4, 3517-3523.
- Golaszewski, J. (red). (2013). *Efektywność energetyczna w rolnictwie europejskim – studium przypadków*. Olsztyn: Wydawnictwo UWM, ISBN 978-83-7299-845-3.
- Gorzelański, J. (2010). Koszty i energochłonność procesów produkcji buraków cukrowych. *Inżynieria Rolnicza*, 1(119), 191-197.
- Gorzelański, J., Puchalski, C., Malach, M. (2011). Ocena kosztów i nakładów energetycznych w produkcji kukurydzy na ziarno i kiszonkę. *Inżynieria Rolnicza*, 8(133), 135-141.
- Góra, J., Lis, A. (2017). *Najcenniejsze olejki eteryczne*. Łódź: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. BN 978-83-7283-822-3.
- Gracindo, L. A. M. B., Grisi, M. C. M., Silva, D. B., Alves, R. B. N., Bizzo, H. R., Vieira, R. F. (2006). Chemical characterization of mint (*Mentha* spp.) germplasm at Federal District, Brazil. *Embrapa Recurso Genéticos e Biotecnologia-Artigo em periódico indexado (ALICE)*. *Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu*, 8, 5-9.
- Gradziuk, P. (2015). Gospodarcze znaczenie i możliwości wykorzystania słomy na cele energetyczne w Polsce. *Monografie i Rozprawy Naukowe*, 45, Puławy: IUNG.
- Grassini, P., Cassman, K. G. (2012). High-yield maize with large net energy yield and small global warming intensity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(4), 1074-1079.
- Gruľová, D. (2012). *Interactions of Habitat Factors on Population Growth of Peppermint and Production of Secondary Metabolites Dissertation*. University of Prešov, 133.
- Gruľová, D., De Martino, L., Mancini, E., Salamon, I., De Feo, V. (2015). Seasonal variability of the main components in essential oil of *Mentha piperita* L. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(3), 621-627.
- Gruľová, D., De Martino, L., Mancini, E., Tkáčiková, L., Šalamon I., Fejer, J., De Feo, V. (2016). Phytotoxic and antibacterial activity of essential oil of new peppermint cultivar. *Natural product communications*, 11, 1631-1774.

- Gündoğmuş, E. (2006).** Energy use on organic farming: A comparative analysis on organic versus conventional apricot production on small holdings in Turkey. *Energy conversion and management*, 47(18-19), 3351-3359.
- Gupta, A.K., Mishra, R., Singh, A. K., Lal, R. K. (2016).** Genetic variability and correlations of essential oil yield with agro-economic traits in *Mentha* species and identification of promising cultivars. *Ind. Crops Prod.*, 95, 726-732.
- Guzmán, G. I., Alonso, A. M. (2008).** A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. *Agricultural Systems*, 98(3), 167-176.
- Główny Urząd Statystyczny. (2018).** *Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów w 2017 r.* Warszawa:
https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5507/8/13/1/uzytkowanie_gruntow_i_powierzchnia_zasiewow_w_2017.pdf, dostęp: 12.01.2019.
- Haas, G., Wetterich, F., Köpke, U. (2001).** Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, ecosystems & environment*, 83(1-2), 43-53.
- Haciseferoğlu, H., Acaroğlu, M., Gezer, İ. (2003).** Determination of the energy balance of the sugar beet plant. *Energy Sources*, 25(1), 15-22.
- Hajlaoui, H., Trabelsi, N., Noumi, E., Snoussi, M., Fallah, H., Ksouri, R., Bakhrouf, A. (2009).** Biological activities of the essential oils and methanol extract of two cultivated mint species (*Mentha longifolia* and *Mentha pulegium*) used in the Tunisian folkloric medicine. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(12), 2227-2238.
- Harasim, A., Bujak, K., Frant, M. (2007).** Wpływ uproszczeń w uprawie roli i poziomu nawożenia mineralnego na efektywność energetyczną produkcji roślinnej w płodozmianie 4-polowym. *Fragm. Agron.*, 1, 64-71.
- 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 N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field crops research*, 113(1), 64-71.
- Helander, C. A., Delin, K. (2004).** Evaluation of farming systems according to valuation indices developed within a European network on integrated and ecological arable farming systems. *European Journal of Agronomy*, 21(1), 53-67.
- Hole, D. G., Perkins, A. J., Wilson, J. D., Alexander, I. H., Grice, P. V., Evans, A. D. (2005).** Does organic farming benefit biodiversity?. *Biological conservation*, 122(1), 113-130.
- Hossain, M. B., Barry-Ryan, C., Martin-Diana, A. B., Brunton, N. P. (2010).** Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. *Food Chemistry*, 123, 85-91.
- 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.
- Jagoda, A., Klimczak, M. (2011).** Praca jako zasób – pojęcie pracy i jej znaczenie w naukach ekonomicznych. *Acta Universitatis Nicolai Copernici Oeconomia XLII – Nauki Humanistyczno-Społeczne – Zeszyt 402*, 151-160.
- Jaloszynski, K., Figiel, A., Wojdyło, A. (2008).** Drying kinetics and antioxidant activity of oregano. *Acta Agrophysica*, 11(1), 81-90.
- Jambor, J. (2007).** Zielarstwo w Polsce - stan obecny i perspektywy rozwoju. *Postępy Fitoterapii*, 2, 78-81.

- Janiszewska, D., Ossowska, L. (2015).** Zróżnicowanie uwarunkowań rolnictwa dla produkcji energii odnawialnej z biomasy rolniczej w krajach Unii Europejskiej. *Problems of World Agriculture/Problemy Rolnictwa Światowego*, 15.
- Jankowski, K. J., Budzyński, W. S., Kijewski, L. (2015).** An analysis of energy efficiency in the production of oilseed crops of the family Brassicaceae in Poland. *Energy*, 81, 674-681.
- Jensen, T. K., Kongshaug, G. (2003).** Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertiliser production. *Proc. of the Int. Fertiliser Society*, 509.
- Johnston, A., E., Poulton, P., R., Dyers, K., K. (2001).** Phosphorus, potassium and sulphur cycles in agricultural soils. *Proceedings* 465. IFS London.
- Kallivroussis, L., Natsis, A., Papadakis, G. (2002).** The energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. *Biosystem Eng.*, 81(3), 347-354.
- Kaplan, M., Sönmez, S., Tokmak, S. (1999).** The nitrate content of well waters in the Kumluca region-Antalya. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(3), 309-314.
- Kardoni, F., JAMI, A. A. M., Bakhshi, M. R. (2015).** Energy Efficiency Analysis and Modeling the Relationship between Energy Inputs and Wheat Yield in Iran. *International Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD)*, 5(4), 321-330.
- Karwowski, T. (1998).** Podstawy zespółowego użytkowania maszyn (ZUM). Warszawa: IBMER. ISBN: 83-86264-51-1.
- Kazimierzczak, R., Hallmann, E., Kazimierzczak, M., Rembialkowska, E. (2010).** Zawartość przeciwutleniaczy w ziołach przyprawowych pochodzących z produkcji ekologicznej i konwencjonalnej. *J. Res. Appl. Agric. Enging.*, 55(3), 164-170.
- Kazimierzczak, R., Hallmann, E., Sokółowska, O., Rembialkowska, E. (2011).** Zawartość związków bioaktywnych w roślinach zielarskich z uprawy ekologicznej i konwencjonalnej. *J. Res. Appl. Agric. Enging.*, 60(3), 200-205.
- Khakbazan, M., Mohr, R. M., Derksen, D. A., Monreal, M. A., Grant, C. A., Zentner, R. P.,..., Nagy, C. N. (2009).** Effects of alternative management practices on the economics, energy and GHG emissions of a wheat-pea cropping system in the Canadian prairies. *Soil and Tillage research*, 104(1), 30-38.
- 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.
- Khan, S., Khan, M. A., Latif, N. (2010).** Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. *Soil Environ*, 29(1), 61-68.
- Khan, S., Khan, M. A., Hanjra, M. A., Mu, J. (2009).** Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production. *Food Policy*, 34(2), 141-149.
- Kindred, D., Mortimer, N., Sylvester-Bradley, R., Brown, G., Woods, J. (2008).** *Understanding and managing uncertainties to improve biofuel GHG emissions calculations*. London, UK: Home Grown Cereals Authority (HGCA).
- Kišgeci, J., Jelačić, S., Beatović, D. (2009).** Lekovito, Aromatično I Začinsko Bilje. Univerzita u Beogradu, *Graftprof Beograd*, 191 – 200.
- Klikocka, H. (2006).** Efektywność energetyczna różnych sposobów uprawy roli i nawożenia naturalnego w produkcji ziemniaka. *Acta Agrophysica*, 8(2), 385-393.
- 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.
- Kocira, S., Koltun, M. (2013).** Nakłady energetyczne w gospodarstwach ze zbilansowaną ilością substancji organicznej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2(80), 99-106.
- Kocira, S. (2005).** Wykorzystanie maszyn rolniczych w gospodarstwach o różnej wielkości ekonomicznej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 13, 15-22.
- Kocira, S., Parafiniuk, S. (2006).** Poziom i dynamika zmian wyposażenia i wykorzystania ciągników rolniczych w gospodarstwach rodzinnych. *Inżynieria Rolnicza*, 10, 169-176.
- Kołodziej, B. (2010).** *Uprawa ziół. Poradnik dla plantatorów*. PWRiL, ISBN 978-83-09-99021-5.

- Kowalczyk, Z. (2008).** Powierzchnia użytków rolnych a wyposażenie i wykorzystanie wybranych technicznych środków produkcji w gospodarstwach sadowniczych. *Inżynieria Rolnicza*, 12, 71-76.
- Kowalski, J. (red.), Budyn, E., Kielbasa, P. (2012).** Czynniki wspomagające stosowanie środków technicznych i efektywność produkcji w gospodarstwach chłopskich. Kraków: PTIR, ISBN 978-83-935020-1-1.
- Kowalski, J., Michalek, R., Tabor, S., Cupiał, M., Kowalczyk, Z., Kwaśniewski, D. (2002).** *Postęp naukowo-techniczny a racjonalna gospodarka energią*. Kraków: PTIR.
- Kowalski, S., Malaga-Toboła, U. (2006).** Nakłady energetyczne a kierunek produkcji i wielkość gospodarstw. *Inżynieria Rolnicza*, 3(78), 153-159.
- Kowalski, J., Kuboń, M. (2012).** Wpływ mocy zainstalowanej w ciągnikach rolniczych na wielkość produkcji roślinnej w gospodarstwach ekologicznych. *Inżynieria Rolnicza*, 16, 193-201.
- Kowalski, J., Mandowska, A., Nowak, M. (2010).** Wyposażenie techniczne gospodarstw, a uzyskana pomoc z funduszy Unii Europejskiej. *Inżynieria Rolnicza*, 14, 81-87.
- Krasowicz, S. (2012).** Problemu zrównoważonego rozwoju rolnictwa polskiego w świetle badań IUNG- PIB. *Problemy zrównoważonego gospodarowania w produkcji rolniczej*, 29(3), 22-47.
- Kruczek, A. (2004).** Gromadzenie suchej masy w początkowym okresie wzrostu jako wyznacznik reakcji mieszańców kukurydzy na sposób nawożenia i termin siewu. *Acta Agrophys*, 4(2), 361-372.
- Kuboń, M. (2002).** Ocena efektywności użytkowania własnych środków transportowych w gospodarstwach rolniczych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 10(1), 73-80.
- Kuczuk, A. (2013).** Comparison of cumulative energy of winter wheat production in organic and conventional farms. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 58(4), 29-33.
- Kuczyska, M., Dębska, T. (1998).** Rachunek efektywności technik wytwarzania na przykładzie ziemniaków w gospodarstwach indywidualnych. Konferencja Naukowa „Ekonomika technologii produkcji roślinnej”, IHAR, Bonin, 79-85.
- Kulig, B., Oleksy, A., Styrz, N., Pyziak, K., Staroń, J. (2008).** Wpływ warunków siedliskowych i poziomu agrotechniki na plonowanie oraz wielkość indeksów GAI i SPAD różnych typów odmian rzepaku ozimego. 29 *Konf. Nauk Rośliny Oleiste*, 11–12 marca 2008, Streszczenia – Abstracts: 82– 88.
- Kurek, J. (2011).** Badania nakładów materiałowo-energetycznych w gospodarstwach rodzinnych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 29-38.
- Kurek, J. (2007).** Inwestycje z zakresu wyposażania gospodarstw rolnych w środki techniczne. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 15, 105-112.
- Kusek, G., Ozturk, H. H., Akdemir, S. (2016).** An assessment of energy use of different cultivation methods for sustainable rapeseed production. *Journal of Cleaner Production*, 112(4), 2772-2783.
- Kwaśniewski, D. (2010a).** Efektywność energetyczna produkcji biomasy z rocznej wierzby. *Inżynieria Rolnicza*, 1(119), 289-295.
- Kwaśniewski, D. (2010b).** Efektywność energetyczna produkcji biomasy z trzyletniej wierzby. *Inżynieria Rolnicza*, 5(123), 113-119.
- Kwiatkowski, C., Harasim, E. (2009).** Efektywność energetyczna produkcji jęczmienia jarego w płodozmianie i monokulturze. *Acta Agrophysica*, 14(1), 125-136.
- 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.

- Litskas, V. D., Mamolos, A. P., Kalburtji, K. L., Tsatsarelis, C. A., Kiose-Kampasakali, E. (2011). Przepływ energii i emisje gazów cieplarnianych w ekologicznych i konwencjonalnych sadach czereśniowych zlokalizowanych na obszarach Natura 2000 lub w ich pobliżu. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1302-1310.
- Lubbe, A., Verpoorte, R. (2011). Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 785-801.
- 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.
- Magda, A. O., Awatiff, A. M., Fakhreldin, A. H., Ezza, I. A. (2010). The constituents of volatile oil of peppermint (*Mentha piperita* L.) grown in Sudan. *Int. J. Curr. Res.*, 11, 93-96.
- Magowska, A. (1999). Z historii zielarstwa w okresie międzywojennym: relacje z ochroną przyrody. *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki*, 44(2), 95-106.
- Małażewska, S. (2015). Środowiskowe dobra publiczne w rolnictwie i na obszarach wiejskich. *Ekonomia i Środowisko*, 1(52), 133-147.
- Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M., Bandyopadhyay, K. K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*, 23(5), 337-345.
- Mansoori, I. (2014). The Effect of Plant Density and Harvesting Time on Growth and Essential Oil of Peppermint (*Mentha Piperita* L.). *Journal of Medical and Bioengineering*, 3(2), 113-116.
- Marcum, D. B., Hanson, B. R. (2006). Effect of irrigation and harvest timing on peppermint oil yield in California. *Agricultural Water Management*, 82(1-2), 118-128.
- Mašán, V., Kopta, T. (2016). The Economic Analysis of Semi-mechanised Harvesting of Lemon Balm. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64(1), 291-296.
- Matyjaszczyk, E. (2009). Konsekwencje zmian na liście środków ochrony roślin dopuszczonych do obrotu i stosowania w Polsce dla wybranych roślin uprawnych. *Progress in Plant Protection*, 49(2).
- 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.
- Memon, S. Q., Amjad, N., Dayo, R. A., Jarwar, G. (2015). Energy requirement and energy efficiency for production of maize crop. *European Academic Research*, 11(11), 14609-14614.
- Michalek, R. (2004). Poziom wykształcenia producentów rolnych a efektywność postępu naukowo-technicznego. *Inżynieria Rolnicza*, 4(95).
- Mikolajczyk-Grzelak, N. (2008). Produkcja roślin zielarskich w Polsce. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 10(4), 270-273.
- Mikolajczyk-Grzelak, N. (2009). Rośliny zielarskie jako alternatywne źródło dochodu ludności wsi. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 11(1), 320-322.
- Mimica-Dukic, N., Bozin, B. (2008). *Mentha* L. species (Lamiaceae) as promising sources of bioactive secondary metabolites. *Current Pharmaceutical Design*, 14(29), 3141-3150.
- Mobtaker, H. G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., Akram, A. (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137(3-4), 367-372.
- Mohammadi, A., Tabatabaefar, A., Shahin, S., Rafiee, S., Keyhani, A. (2008). Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Conversion and Management*, 49(12), 3566-3570.

- Moitzi, G., Martinov, M., Nozdrovicky, L., Naghiu, A., Gronauer, A. (2014). Energy use and energy efficiency in selected arable farms in Central and South Eastern Europe. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 79(1), 51-56.
- Mucciarelli, M., Camusso, W., Berteau, 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.
- Müller, K., Bottcher, U., Meyer-Schatz, F., Kage, H. (2008). Analysis of vegetation – indices derived from hyperspectral reflection measurements for estimating crop canopy parameters oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Biosyst. Eng.*, 101, 172–182.
- 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.
- Najda, A. (2017). Zmienność ontogenetyczna mięty (*Mentha* species) czynnikiem warunkującym zawartość składników bioaktywnych w surowcu. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, *Rozprawy naukowe*, z.387, ISSN 1899-2374.
- 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.
- Niedziółka, I. (2000). Energochłonność i opłacalność produkcji ziarna kukurydzy. *Inżynieria Rolnicza*, 8(19), 133-139.
- Novák, I., Zámbořině, N. É., Horváth, H., Seregély, Z., Kaffka, K. (2001). Evaluation of essential oils by gas-chromatography and a new method: "electronic nose". *International Journal of Horticultural Science*, 7(1), 85-89.
- Nurhussen, H., Philipos, M. (2014). Cost-Benefit Analysis of Spear Mint Cultivation for Herbal Production. *International Journal of Recent Research in Commerce Economics and Management (IJRRCEM)*, 1(3), 83-88.
- Nurzyńska-Wierdak, R., Zawislak, G. (2015). Dolistne dokarmianie azotem a plon surowca i skład chemiczny olejku eterycznego melisy lekarskiej (*Melissa officinalis* L.). *Annales Umcs, Sectio Eee Horticultura*, Vol. XXV(3), 1-8.
- Nurzyńska-Wierdak, R., Bogucka-Kocka, A., Szymczak, G. (2014). Volatile constituents of *Melissa officinalis* L. leaves depending on plant age. *Nat. Prod. Comm.*, 9(5), 703–706.
- Oğuz, H. I., Gökdoğan, O., Baran, M. F. (2018). Determination of Energy Balance in Organic Wolfberry (*Lycium barbarum* L.) Production in Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, 1-6.
- Olesen, J. E., Schelde, K., Weiske, A., Weisbjerg, M. R., Asman, W. A. H., Djurhuus, J. (2006). Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. *Agric. Ecosyst. Environ*, 112, 207–220.
- Olewnicki, D., Jabłońska, L., Orliński, P., Gontar, L. (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.
- Padalia, R. C., Verma, R. S., Chauhan, A., Chanotiya, C. S. (2013). Changes in aroma profiles of 11 Indian *Ocimum* taxa during plant ontogeny. *Acta Physiol Plant*, 35, 2567–2587.

- 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.
- Patora, J., Majda, T., Gora, J., Klimek, B. (2003).** Variability in the content and composition of essential oil from lemon balm (*Melissa officinalis* L.) cultivated in Poland. *Acta poloniae pharmaceutica*, 60(5), 395-400.
- Pawlak, J. (2012).** Efektywność nakładów energii w rolnictwie polskim. *Roczniki Nauk Rolniczych, seria G, T99*, z.1, 121-128.
- Pawlak, J. (2016a).** Nakłady energii a liczba gospodarstw i powierzchnia użytków rolnych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2(92), 53-66.
- Pawlak, J. (2016b).** Wartość produkcji a nakłady i koszty energii w rolnictwie. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 1(346), 80-96.
- Pawlus, A., Nowak, A. (2001).** Wpływ nawozów mineralnych na zawartość makro składników, ich proporcje jonowe w marchwi uprawianej na dwóch rodzajach gleb. *ZPPNR*, 494, 355-362.
- Pelletier, N., Audsley, E., Brodt, S., Garnett, T., Henriksson, P., Kendall, A.,... Troell, M. (2011).** Energy intensity of agriculture and food systems. *Annual review of environment and resources*, 36, 223-246.
- Pepliński, B. (2015).** Energochłonność produkcji sorgo na cele energetyczne – analiza regionalna. *Roczniki (Annals)*, XVII(1), 176-180.
- Pervanchon, F., Bockstaller, C., Girardin, P. (2002).** Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agricultural systems*, 72(2), 149-172.
- Pimentel, D. (2009).** Energy inputs in food crop production in developing and developed nations. *Energies*, 2(1), 1-24.
- Pimentel, D., Marklein, A., Toth, M. A., Karpoff, M. N., Paul, G. S., McCormack, R.,... Krueger, T. (2009).** Food versus biofuels: environmental and economic costs. *Human ecology*, 37(1), 1.
- Pinstrup-Andersen, P. (1999).** Towards Ecologically Sustainable World Food Production. *UNEP Industry and Environment, United Nations Environment Programme*, 22, 10-13.
- Piskier, T. (2008a).** Efektywność energetyczna uprawy wierzby w różnych warunkach glebowych. *Inżynieria Rolnicza*, 2(100), 215-220.
- Piskier, T. (2008b).** Ocena nakładów energetycznych wybranych technologii zakładania plantacji ślazuwca pensylwańskiego. *Inżynieria Rolnicza*, 10(108), 193-200.
- Piskier, T. (2010).** Efektywność energetyczna różnych technologii uprawy topinamburu. *Inżynieria Rolnicza*, 5(123), 233-240.
- Piskier, T., Majchrzak, L. (2013).** Wielkość i struktura nakładów energetycznych bezorkowej i orkowej uprawy żyta hybrydowego. *Inżynieria Rolnicza*, 3(146), 295-300.
- Piskier, T., Majchrzak, L. (2014).** Energy effectiveness of hybrid rye ploughed cultivation technologies. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 59(4), 62-64.
- Pisulewska, E., Fijolek, M., Witkiewicz, R. (2010).** Udział w strukturze zasiewów oraz technologia uprawy mięty pieprzowej (*Mentha piperita* L.) w gminie Michałów. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 549.
- PN-82/R-87011,** Surowce zielarskie – Liście suszone.
- Prabhakar, S. V. R. K., Elder, M. (2009).** Biofuels and resource use efficiency in developing Asia: back to basics. *Applied Energy*, 86, S30-S36.
- Rahimmalek, M., Goli, S. A. H. (2013).** Evaluation of six drying treatments with respect to essential oil yield, composition and color characteristics of *Thymus daenensis* subsp. *daenensis*. Celak leaves. *Industrial Crops and Products*, 42, 613-619.
- Ram, D., Ram, M., Singh, R. (2006).** Optimization of water and nitrogen application to menthol mint (*Mentha arvensis* L.) through sugarcane trash mulch in a sandy loam soil of semi-arid subtropical climate. *Bioresource Technology*, 97(7), 886-893.

- Ramedani, Z., Rafiee, S., Heidari, M. D. (2011). An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy*, 36(11), 6340-6344.
- Rathke, G. W., Diepenbrock, W. (2006). Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy*, 24(1), 35-44.
- Rathke, G. W., Körschens, M., Diepenbrock, W. (2002). Substance and Energy Balances in the "Static Fertilisation Experiment Bad Lauchstädt". *Archives of Agronomy and Soil Science*, 48(5), 423-433.
- Rohloff, J., Dragland, S., Mordal, R., Iversen, T. H. (2005). Effect of harvest time and drying method on biomass production, essential oil yield, and quality of peppermint (*Mentha × piperita* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 53, 4143-4148.
- Roslon, W., Osińska, E., Bączek, K., Węglarz, Z. (2011). The influence of organic-mineral fertilizers on yield and raw materials quality of chosen plants of the Lamiaceae family from organic cultivation. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus*, 10(1), 147-158.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1166/2008 z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie badań struktury gospodarstw rolnych i badania metod produkcji rolnej oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 571/88 Tekst mający znaczenie dla EOG. *Miejsce publikacji: Dz. Urz. UE L 321 z 1.12.2008, str. 14—34*
- Rumińska, A. (1983). *Rośliny lecznicze. Podstawy biologii i agrotechniki*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- de Sousa Barros, A., de Moraes, S. M., Ferreira, P. A. T., Vieira, Í. G. P., Craveiro, A. A., dos Santos Fontenelle, R. O.,... de Sousa, H. A. (2015). Chemical composition and functional properties of essential oils from *Mentha* species. *Industrial Crops and Products*, 76, 557-564.
- Sadowska, U. (2012). Wpływ metody suszenia lawendy i lawendy na jakość materiału roślinnego. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 57(4), 83-85.
- Sadowska, U., Kopeć, A., Kourimska, L., Zarubova, L., Kloucek, P. (2017). The effect of drying methods on the concentration of compounds in sage and thyme. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), e13286.
- Sadowska, U., Łapczyńska-Kordon, B., Żabiński, A. (2016). Effect of modifications of lavandin convective drying on the course of the process and essential oil content. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 61(4).
- Sadowska, U., Żabiński, A., Szumny, A., Dziadek, K. (2016). An effect of peppermint herb (*Mentha piperita* L.) pressing on physico-chemical parameters of the resulting product. *Industrial Crops and Products*, 94, 909-919.
- 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.
- Saeb, K., Gholamrezaee, S. (2012). Variation of essential oil composition of *Melissa officinalis* L. leaves during different stages of plant growth. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(2), 547-549.
- Salami, P., Ahmadi, H. (2010). Energy inputs and outputs in a chickpea production system in Kurdistan, Iran. *African Crop Science Journal*, 18(2).
- 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.
- Sawa, J. (2008). Nakłady materiałowo-energetyczne jako czynnik zrównoważenia procesu produkcji rolniczej. *Inżynieria Rolnicza*, 5, 243-248.
- Sawa, J., Koszel, M. (2002). Nakłady energetyczne w badanych gospodarstwach rodzinnych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 1, 41-48.
- Schippmann, U. W. E., Leaman, D., Cunningham, A. B. (2006). A comparison of cultivation and wild collection of medicinal and aromatic plants under sustainability aspects. *Frontis*, 75-95.

- Schmid, H., Braun, M., Hülsbergen, K. J. (2013). 5.11 Treibhausgasbilanzen und ökologische Nachhaltigkeit der Pflanzenproduktion–Ergebnisse aus dem Netzwerk der Pilotbetriebe.
- Seidler-Łożykowska, K., Kaźmierczak, K., Kucharski, W. A., Mordalski, R., Buchwald, W. (2006). Yielding and quality of sweet basil and marjoram herb from organic cultivation, *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 51(2), 157-160.
- Seidler-Łożykowska, K. (2009). *Hodowla i odmiany roślin zielarskich*. Warszawa: Hodowla roślin i nasiennictwo.
- Seidler-Łożykowska, K., Bocianowski, J., Król, D. (2013). The evaluation of the variability of morphological and chemical traits of the selected lemon balm (*Melissa officinalis* L.) genotypes. *Industrial Crops and Products*, 49, 515-520.
- 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.
- Sekeroglu, N., Ozguven, M. (2006). Effects of different nitrogen doses and plant densities on yield and quality of *Oenothera biennis* L. grown in irrigated lowland and un-irrigated dryland conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30, 125-135.
- Seliga, A., Kalinowska, R., Mumot, D. (2017). *Katalog Maszyn Rolniczych*. ITP.: Oddział W-wa.
- Sellami, H. I., Rebey, I. B., Sriti, J., Rahali, F. Z., Limam, F., Marzouk, B. (2012). Drying sage (*Salvia officinalis* L.) plants and its effects on content, chemical composition, and radical scavenging activity of the essential oil. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2978–2989.
- Senderski, M. E. (2009). *Zioła. Praktyczny poradnik o ziołach i ziołolecznictwie*. Warszawa. ISBN 978-83-60215-70-8.
- Shah, S. C., Gupta, L. K. (1989). Response of *Mentha* species to different harvesting intervals. *Prog. Hort.*, 21, 148–150.
- 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.
- Singh, S., Haider, S. Z., Chauhan, N. K., Lohani, H., Sah, S., Yadav, R. K. (2014). Effect of time of harvesting on yield and quality of *Melissa officinalis* L. in Doon Valley, India. *Ind. J. Pharm. Sci.* 76(5), 449–452.
- Singh, V. P., Chatterjee, B. N., Singh, D. V. (1989). Response of mint species to nitrogen fertilization. *The Journal of Agricultural Science*, 113(2), 267-271.
- Sławiński, K., Grieger, A., Sadowski, W. (2008). Comparison of energy consumption of rye growing in conventional and ecological farms. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 71, Vol. 53(4), 71-73.
- Sławiński, K. (2010). Comparison of energy consumption at selected plant species cultivation in organic and conventional farming. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 55(4), 99-101.
- Sławiński, K. (2011). Analiza energochłonności produkcji żyta ozimego w gospodarstwach ekologicznych. *Inżynieria Rolnicza*, 15, 243-249.
- Sławiński, K., Grieger, A., Sadowski, W. (2009). Energetyczna ocena konwencjonalnej i ekologicznej technologii uprawy gryki. *Inżynieria Rolnicza*, 1(110), 297-302.
- Smesrud, J. K., Selker, J. S. (1999). Postharvest water requirements of peppermint. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30(11-12), 1657-1666.
- 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 CO₂ emissions in rainfed agricultural production systems of Northeast Thailand. *Agricultural Systems*, 116, 25-36.

- Soode, E., Lampert, P., Weber-Blaschke, G., Richter, K. (2015). Carbon footprints of the horticultural products strawberries, asparagus, roses and orchids in Germany. *Journal of Cleaner Production*, 87, 168-179.
- Starczewski, J., Dopka, D., Korsak-Adamowicz, M. (2008). Ocena energetycznej efektywności wybranych technologii uprawy żyta jarego. *Acta Agrophysica*, 11(3), 733-739.
- Stolarski, M., Krzyżaniak, M., Szczukowski, S., Tworowski, J. (2014). Efektywność energetyczna produkcji biomasy wierzby w jednorocznym i trzyletnim cyklu zbioru. *Fragmenta Agronomica*, 31(2).
- Stolarski, M., Szczukowski, S., Tworowski, J. (2011). Efektywność energetyczna produkcji biomasy wierzby w systemie eko-salix. *Fragm. Agron*, 28(1), 62-69.
- Strapatsa, A. V., Nanos, G. D., Tsatsarelis, C. A. (2006). Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 116(3-4), 176-180.
- strona internetowa: www.agrosimex.pl, www.sadinfo.pl, www.doradztwo.sadownicze.pl
- strona internetowa: www.coboru.pl
- Sulewski, P., Majewski, E., Wąs, A. (2017). Miejsce i rola rolnictwa w produkcji energii odnawialnej w Polsce i UE. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 350, 50-74.
- Szabó, K., Malekzadeh, M., Radácsi, P., Ladányi, M., Rajhárt, P., Inotai, K.,... Németh, É. (2016). Could the variety influence the quantitative and qualitative outcome of lemon balm production?. *Industrial Crops and Products*, 83, 710-716.
- Szeląg-Sikora, A. (2011). Analiza wyposażenia parku maszynowego gospodarstw zrzeszonych w grupie producenckiej ukierunkowanej na produkcję mleka. *Inżynieria Rolnicza*, 15, 261-267.
- Szumny, A., Figiel, A., Gutiérrez-Ortiz, A., Carbonell-Barrachina, A. A. (2010). Composition of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) as affected by drying method. *Journal of Food Engineering*, 97, 253-260.
- Tabor, S. (2006). Postęp techniczny a efektywność substytucji pracy żywej pracą uprzedmiotowioną w rolnictwie. *Inżynieria Rolnicza*, 10(85), 1-152.
- Tabor, S., Kmita, W. (2007). Wykorzystanie potencjalnych zdolności produkcyjnych parku maszynowego w gospodarstwach ekologicznych. *Inżynieria Rolnicza*, 11, 239-246.
- Tabor, S., Kuboń, M. (2010). Wyposażenie techniczne a wykorzystanie technicznych usług produkcyjnych w wybranych gospodarstwach powiatu miechowskiego. *Inżynieria Rolnicza*, 5(123), 283-289.
- Tabor, S., Szczuka, M. (2012). Charakterystyka wyposażenia technicznego i technologii uprawy roli w gospodarstwach ekologicznych. *Inżynieria Rolnicza*, 16, 295-302.
- Tabor, S., Szczuka, M., Malaga-Toboła, U., Kwaśniewski, D. (2013). Moc zainstalowana i bilans składników pokarmowych w wybranych gospodarstwach ekologicznych. *Inżynieria Rolnicza*, 17.
- Telci, I., Bayram, E., Yılmaz, G., Avci, B. (2006). Variability in essential oil composition of Turkish basil (*Ocimum basilicum* L.). *Biochemical Systematics and Ecology*, 34(6), 489-497.
- Telci, I., Kacar, O., Bayram, E., Arabaci, O., Demirtaş, İ., Yılmaz, G.,... Göksu, E. (2011). The effect of ecological conditions on yield and quality traits of selected peppermint (*Mentha piperita* L.) clones. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 1193-1197.
- Tomków, K. (1981). *Surowce mineralne świata. Węgiel Brunatny: Użytkowanie i przetwórstwo*. Warszawa: Wyd. Geolog.
- Uhlén, H. E. (1999). Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 73(1), 63-81.
- Unakitan, G., Aydın, B. (2018). A comparison of energy use efficiency and economic analysis of wheat and sunflower production in Turkey: A case study in Thrace Region. *Energy*, 149, 279-285.
- Uzunoz, M., Akcay, Y., Esengün, K. (2008). Energy input-output analysis of sunflower seed (*Helianthus annuus* L.) oil in Turkey. *Energy Sources, Part B*, 3(3), 215-223.
- Węgrzyn, A., Zajac, G. (2008). Wybrane aspekty badań efektywności energetycznej technologii produkcji biomasy roślinnej. *Acta Agrophysica*, 11(3), 799-806.

- Weizsäcker, E. U. V., Hargroves, K., Smith, M., Desha, C., Stasinopoulos, P. (2009). *Factor 5: Transforming the Global Economy through 80% Improvements in Resource Productivity*. London, UK: Earthscan: 432p, ISBN 978-1844075911.
- Wielicki, W. (1989). Analiza efektywności energetycznej w rolnictwie. *Post. Nauk Roln.*, 1, 69-86.
- Wielicki, W. (1990). Energochłonność produkcji roślinnej. *Slużba 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. (1981). Energochłonność produkcji rolniczej. *Rocz. Nauk Roln.*, C, 75(1), 165-197.
- Wójcicki, Z. (2008). *Metodyka badań postępu technologicznego w gospodarstwach rodzinnych*. Warszawa: IBMER, ISBN 978-83-89806-22-3.
- Wójcicki, Z. (2015). Metodyka badania energochłonności produkcji rolniczej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, Z. 4(90), 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.
- Wójcicki, Z. (2007). *Poszanowanie energii i środowiska w rolnictwie i na obszarach wiejskich. Energy and environment conservation in agriculture and rural areas*. Warszawa: IBMER, ISBN 978-8-389806-17-8, 124.
- Woods, J., Williams, A., Hughes, J. K., Black, M., Murphy, R. (2010). Energy and the food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2991-3006.
- Woźniak, W. (2004/2005). *Ciągniki i maszyny rolnicze*. Poznań: PIMR, wydanie V, ISBN 83-901206-8-2.
- Venturi, P., Venturi, G. (2003). Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass and Bioenergy*, 25, 235-255.
- Verma, R. S., Padalia, R. C., Chauhan, A. (2012). Variation in the volatile terpenoids of two industrially important basil *Ocimum basilicum* L. cultivars during plant ontogeny in two different cropping seasons from India. *J. Sci. Food Agric.* 92, 626-631.
- 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.
- Yousefzadeh, S., Modarres-Sanavy, S. A. M., Sefidkon, F., Asgarzadeh, A., Ghalavand, A., Sadat-Asilan, K. (2013). Effects of Azocompost and urea on the herbage yield and contents and compositions of essential oils from two genotypes of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in two regions of Iran. *Food Chemistry*, 138(2-3), 1407-1413.
- Yuan, S., Peng, S., Wang, D., Man, J. (2018). Evaluation of the energy budget and energy use efficiency in wheat production under various crop management practices in China. *Energy*, 160, 184-191.
- Zafirou, P., Mamolos, A. P., Menexes, G. C., Siomos, A. S., Tsatsarelis, C. A., Kalburtji, K. L. (2012). Analysis of energy flow and greenhouse gas emissions in organic, integrated and conventional cultivation of white asparagus by PCA and HCA: cases in Greece. *Journal of Cleaner Production*, 29, 20-27.
- Zentner, R. P., Lafond, G. P., Derksen, D. A., Nagy, C. N., Wall, D. D., May, W. E. (2004). Effects of tillage method and crop rotation on non-renewable energy use efficiency for a thin black chernozem in the canadian prairies. *Soil and Tillage Research*, 77(2), 125-136.
- Zheljaskov, V. D., Cantrell, C. L., Astatkie, T., Ebelhar, M. W. (2010). Peppermint productivity and oil composition as a function of nitrogen, growth stage, and harvest time. *Agronomy Journal*, 102(1), 124-128.
- Ziesemer, J. (2007). *Energy use in organic food systems*. Rome, <http://www.fao.org/docs/eims/upload/233069/energy-use-oa.pdf>

SPIS TABEL

- Tabela 1. Wskaźniki energetyczne stosowane do szacowania energii skumulowanej w postaci materiałów
- Tabela 2. Odczyn gleby (pH w H₂O), zasolenie (mS cm⁻¹) oraz zawartość makroskładników (mg dm⁻³)
- Tabela 3. Średnie wyniki testu SPAD dla mięty pieprzowej w poszczególnych terminach pomiarów
- Tabela 4. Średnie wyniki testu NDVI dla mięty pieprzowej w poszczególnych terminach pomiarów
- Tabela 5. Zawartość suchej masy (%) w ziele mięty pieprzowej w zależności od dawki nawożenia azotem
- Tabela 6. Średnie plony świeżej masy ziela mięty pieprzowej (kg·ha⁻¹) w zależności od dawki nawożenia azotem
- Tabela 7. Struktura pojedynczych roślin mięty pieprzowej w zależności od dawki nawożenia azotowego
- Tabela 8. Średnie wartości testu SPAD dla melisy lekarskiej
- Tabela 9. Średnie wartości wskaźnika zieleni (NDVI)
- Tabela 10. Płonowanie i cechy morfometryczne melisy lekarskiej
- Tabela 11. Charakterystyka obszarowa gospodarstw w badanych technologiach uprawy mięty pieprzowej (ha)
- Tabela 12. Wiek oraz płeć producentów mięty pieprzowej w analizowanych technologiach uprawy
- Tabela 13. Poziom wykształcenia właścicieli gospodarstw uprawiających mięte pieprzową zróżnicowanych technologiach
- Tabela 14. Charakterystyka obszarowa gospodarstw w wydzielonych grupach powierzchniowych uprawy ziół (ha)
- Tabela 15. Wiek oraz płeć producentów mięty pieprzowej w wydzielonych grupach powierzchniowych uprawy ziół
- Tabela 16. Poziom wykształcenia właścicieli gospodarstw w wydzielonych grupach powierzchniowych uprawy ziół
- Tabela 17. Charakterystyka obszarowa gospodarstw w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej (ha)
- Tabela 18. Wiek oraz płeć producentów melisy lekarskiej w analizowanych technologiach uprawy
- Tabela 19. Poziom wykształcenia właścicieli gospodarstw uprawiających melisę lekarską
- Tabela 20. Charakterystyka i struktura parku maszynowego w gospodarstwach realizujących różne technologie uprawy mięty pieprzowej
- Tabela 21. Struktura ciągników wg SMR w gospodarstwach realizujących różną technologię uprawy mięty pieprzowej
- Tabela 22. Charakterystyka i struktura parku maszynowego gospodarstw wg arealu uprawy ziół
- Tabela 23. Struktura ciągników wg SMR w gospodarstwach o zróżnicowanej powierzchni uprawy ziół
- Tabela 24. Charakterystyka i struktura parku maszynowego gospodarstw uprawiających melisę lekarską
- Tabela 25. Struktura ciągników wg SMR w gospodarstwach realizujących różną technologię uprawy melisy lekarskiej
- Tabela 26. Średnie wartości energochłonności skumulowanej (MJ·ha⁻¹) w poszczególnych strumieniach energii związanych z prowadzeniem rozsadnika
- Tabela 27. Średnie wartości energochłonności skumulowanej (MJ·ha⁻¹) dla poszczególnych strumieni energii przy założeniu braku zbioru

- Tabela 28. Średnie nakłady pracy, wyrażone w różnych jednostkach, ponoszone w uprawie mięty pieprzowej $\pm$ SD, wariant A – nakłady całkowite, wariant B - z wyłączeniem zbioru i obróbki po-zbiorowej na rozsadniku
- Tabela 29. Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy mięty pieprzowej w pierwszym roku wegetacji w zależności od wykonywanej czynności
- Tabela 30. Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy mięty pieprzowej w drugim roku wegetacji w zależności od wykonywanej czynności
- Tabela 31. Średnie nakłady pracy w gospodarstwach o zróżnicowanej powierzchni uprawy ziół
- Tabela 32. Średnie nakłady pracy analizowanych zabiegów i czynności w uprawie mięty pieprzowej w pierwszym roku prowadzenia plantacji w gospodarstwach konwencjonalnych
- Tabela 33. Średnie nakłady pracy analizowanych zabiegów i czynności w uprawie mięty pieprzowej w pierwszym roku prowadzenia plantacji w gospodarstwach mieszanych
- Tabela 34. Średnie nakłady pracy ponoszone na 1 ha uprawy melisy lekarskiej wyrażone w różnych jednostkach, w poszczególnych latach prowadzenia plantacji
- Tabela 35. Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej w pierwszym roku wegetacji w zależności od wykonywanych zabiegów i czynności (w analizie uwzględniono jedno gospodarstwo ekologiczne)
- Tabela 36. Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej w pierwszym roku wegetacji w zależności od wykonywanych zabiegów i czynności w gospodarstwach kon-wencjonalnych
- Tabela 37. Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej w drugim roku wegetacji w zależności od wykonywanych zabiegów i czynności (w analizie uwzględniono jedno gospodarstwo ekologiczne)
- Tabela 38. Średnie nakłady pracy w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej w drugim roku wegetacji w zależności od wykonywanych zabiegów i czynności w gospodarstwach konwencjo-nalnych
- Tabela 39. Energochłonność skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w środkach mechanizacji i budownictwa w pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika
- Tabela 40. Energochłonność skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w środkach mechanizacji i budownictwa w drugim roku wegetacji mięty pieprzowej w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika
- Tabela 41. Energochłonność skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w środkach mechanizacji i budownictwa w badaniach w zależności od uprawianej powierzchni roślin zielarskich w pierwszym roku upra-wy mięty pieprzowej
- Tabela 42. Energochłonność skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w środkach mechanizacji i budownictwa w badaniach w zależności od uprawianej powierzchni roślin zielarskich w drugim roku uprawy
- Tabela 43. Energochłonność skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w środkach mechanizacji i budownictwa w pierwszym roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej w zależności od zastosowanej techno-logii uprawy
- Tabela 44. Energochłonność skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w środkach mechanizacji i budownictwa w drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej w zależności od zastosowanej technologii uprawy
- Tabela 45. Nakłady nośników energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w produkcji mięty pieprzowej w kolejnych latach prowadzenia plantacji, w zależności od zastosowanej technologii uprawy
- Tabela 46. Średnie wartości energochłonności skumulowanej w strumieniu bezpośrednich nośników energii (olej napędowy i energia elektryczna) ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w porównaniu do nakładów całkowitych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w różnych technologiach uprawy mięty pieprzowej
- Tabela 47. Nakłady nośników energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w produkcji mięty pieprzowej w kolejnych latach prowadzenia plantacji, w zależności od areалу uprawy ziół w gospodarstwie

- Tabela 48. Struktura energochłonności poszczególnych zabiegów i czynności uprawowych mięty pieprzowej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w pierwszym roku wegetacji w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół
- Tabela 49. Struktura energochłonności w strumieniu bezpośrednich nośników energii (olej napędowy i energia elektryczna) ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół
- Tabela 50. Średnie wartości energochłonności w strumieniu paliw ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w porównaniu do nakładów całkowitych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w analizowanych technologiach uprawy mięty pieprzowej w drugim roku wegetacji
- Tabela 51. Struktura nakładów energochłonności skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół
- Tabela 52. Struktura nakładów energii w postaci strumienia paliw ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół
- Tabela 53. Średnie wartości strumienia paliw ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w poszczególnych latach prowadzenia plantacji melisy lekarskiej w zależności od stosowanej technologii uprawy
- Tabela 54. Średnie wartości energochłonności skumulowanej w pierwszym roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej w strumieniu paliw ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w porównaniu do nakładów całkowitych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), w gospodarstwach mieszanych
- Tabela 55. Średnie nakłady energii w postaci nośników w pierwszym roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w porównaniu do nakładów całkowitych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w gospodarstwach konwencjonalnych
- Tabela 56. Średnie nakłady energii w postaci nośników w drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w porównaniu do nakładów całkowitych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), w gospodarstwach mieszanych
- Tabela 57. Średnie nakłady energii w postaci nośników w drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w porównaniu do nakładów całościowych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w gospodarstwach konwencjonalnych
- Tabela 58. Średnia energochłonność ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) skumulowana w materiałach i surowcach w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika
- Tabela 59. Energochłonność oraz dawkowanie poszczególnych składników nawozów w uprawach mięty pieprzowej w pierwszym roku wegetacji w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika
- Tabela 60. Średnie wartości energochłonności skumulowanej w surowcach i materiałach ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w badanych grupach gospodarstw o różnej powierzchni uprawy ziół, w pierwszym roku wegetacji mięty pieprzowej
- Tabela 61. Energochłonność oraz dawkowanie poszczególnych składników nawozów w uprawach mięty pieprzowej w grupach powierzchniowych, w pierwszym roku wegetacji
- Tabela 62. Średnie nakłady energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ponoszone na materiały w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika w drugim roku wegetacji mięty pieprzowej
- Tabela 63. Energochłonność oraz dawkowanie poszczególnych składników nawozów w uprawach mięty pieprzowej w drugim roku wegetacji w zależności od zastosowanej technologii uprawy rozsadnika
- Tabela 64. Średnie wartości energochłonności skumulowanej w materiałach ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w badanych grupach powierzchniowych, w drugim roku wegetacji mięty pieprzowej
- Tabela 65. Energochłonność oraz dawkowanie poszczególnych składników nawozów w uprawach mięty pieprzowej w grupach powierzchniowych, w drugim roku uprawy
- Tabela 66. Średnie nakłady energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) skumulowane w materiałach i surowcach w zależności od zastosowanej technologii uprawy melisy lekarskiej w pierwszym roku prowadzenia plantacji

- Tabela 67. Energochłonność oraz dawkovanie poszczególnych składników nawozów w uprawach melisy lekarskiej w pierwszym roku prowadzenia plantacji w zależności od zastosowanej technologii uprawy
- Tabela 68. Średnie nakłady energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ponoszone na materiały w zależności od zastosowanej technologii uprawy w drugim roku prowadzenia plantacji
- Tabela 69. Energochłonność oraz dawkovanie poszczególnych składników nawozów w uprawach melisy lekarskiej w drugim roku wegetacji
- Tabela 70. Strumienie nakładów energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej
- Tabela 71. Sumaryczne nakłady energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ponoszone na rozsadniku i w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej
- Tabela 72. Strumienie energochłonności ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej
- Tabela 73. Strumienie energochłonności ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej w grupach powierzchniowych
- Tabela 74. Strumienie energochłonności ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w grupach powierzchniowych
- Tabela 75. Strumienie energochłonności ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej
- Tabela 76. Strumienie energochłonności ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w drugim roku uprawy melisy lekarskiej
- Tabela 77. Energia skumulowana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w dwuletnim cyklu produkcji melisy lekarskiej
- Tabela 78. Plonowanie mięty pieprzowej w gospodarstwach o zróżnicowanej technologii uprawy w poszczególnych latach wegetacji
- Tabela 79. Plonowanie mięty pieprzowej w poszczególnych latach wegetacji w badanych grupach powierzchniowych
- Tabela 80. Współczynniki korelacji pomiędzy składnikami energochłonności skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), a uzyskiwanymi plonami mięty pieprzowej ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w gospodarstwach w badanych technologiach produkcji
- Tabela 81. Współczynniki korelacji pomiędzy składnikami energochłonności skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) a uzyskiwanym plonem mięty pieprzowej ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w badanych gospodarstwach w zależności od powierzchni uprawy
- Tabela 82. Plony melisy lekarskiej w poszczególnych latach wegetacji
- Tabela 83. Współczynniki korelacji pomiędzy składnikami energochłonności skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), a uzyskiwanym plonem melisy lekarskiej ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w gospodarstwach, w wydzielonych technologiach produkcji
- Tabela 84. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy mięty pieprzowej w pierwszym roku wegetacji
- Tabela 85. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej uprawy mięty pieprzowej w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie w pierwszym roku wegetacji
- Tabela 86. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy mięty pieprzowej w drugim roku wegetacji
- Tabela 87. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej uprawy mięty pieprzowej w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie w drugim roku wegetacji
- Tabela 88. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy melisy lekarskiej w pierwszym roku wegetacji
- Tabela 89. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy melisy lekarskiej w drugim roku wegetacji
- Tabela 90. Potencjalne oszczędności energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od technologii uprawy mięty pieprzowej w pierwszym roku prowadzenia plantacji
- Tabela 91. Potencjalne oszczędności energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od technologii uprawy mięty pieprzowej w drugim roku prowadzenia plantacji

Tabela 92. Potencjalne oszczędności energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej

Tabela 93. Potencjalne oszczędności energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w drugim roku uprawy mięty pieprzowej

Tabela 94. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy mięty pieprzowej po zmniejszeniu azotu w pierwszym roku wegetacji

Tabela 95. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej uprawy mięty pieprzowej z założeniem redukcji azotu, w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie, w pierwszym roku wegetacji

Tabela 96. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej poszczególnych technologii uprawy mięty pieprzowej po zmniejszeniu azotu w drugim roku wegetacji

Tabela 97. Średnie wartości wskaźników oceny energetycznej uprawy mięty pieprzowej dla zmniejszonej dawki stosowanego nawożenia azotowego w zależności od wielkości powierzchni uprawy ziół w gospodarstwie, w drugim roku wegetacji

Tabela 98. Energochłonność ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) rocznych rozlogów mięty pieprzowej

SPIS RYCIN

- Rysunek 1. Liczba gospodarstw produkujących rośliny zielarskie w stosunku do gospodarstw objętych badaniem w poszczególnych regionach FADN w 2013 roku
- Rysunek 2. Liczba gospodarstw produkujących rośliny zielarskie z podziałem na kategorie ekonomiczne w poszczególnych regionach FADN (A, B, C) w 2013 roku
- Rysunek 3. Architektura systemu informacji dotyczącej energochłonności mięty pieprzowej i melisy lekarskiej
- Rysunek 4. Mięta jednoroczna rozmnażana z rozłogów podziemnych (a), w drugim roku prowadzenia plantacji z widocznymi daszkami używanymi do suszenia roślin (b), pojawianie się rodzimych gatunków mięty na polu uprawnym, niejednorodność fenotypowa (c,d)
- Rysunek 5. Plantacja zakładana z ukorzenionych sadzonek (a) oraz melisa w drugim roku wegetacji (b)
- Rysunek 6. Schemat weryfikacji energii skumulowanej w stosunku do zawartości olejków eterycznych
- Rysunek 7. Widok doświadczenia w różnych fazach rozwojowych roślin: a- sadzonki zielne wykorzystywane do założenia doświadczenia, b- tydzień po zasadzeniu, c-miesiąc po zasadzeniu, d- przed zbiorem
- Rysunek 8. Widok doświadczenia wazonowego w trakcie wegetacji
- Rysunek 9. Średnia zawartość olejków eterycznych ($\text{ml} \cdot 100\text{g} \cdot \text{sm}^{-1}$) w świeżej masie ziela mięty pieprzowej w zależności od dawki nawożenia azotem N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
- Rysunek 10. Średnia zawartość azotu (% s.m.) w roślinach mięty pieprzowej w zależności od poziomu nawożenia azotem N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
- Rysunek 11. Średnia zawartość azotu (% s.m.) w roślinach melisy lekarskiej w zależności od dawki nawożenia azotem N ($\text{g} \cdot \text{wazon}^{-1}$)
- Rysunek 12. Średnia zawartość olejku eterycznego ($\text{ml} \cdot 100\text{g}^{-1}$) w melisie lekarskiej w zależności od dawki nawożenia azotem N ($\text{g} \cdot \text{wazon}^{-1}$)
- Rysunek 13. Struktura zasiewów w gospodarstwach wykorzystujących sadzonki nadziemne (%)
- Rysunek 14. Struktura zasiewów w gospodarstwach wykorzystujących sadzonki podziemne (%)
- Rysunek 15. Struktura zasiewów poszczególnych upraw w ogólnej powierzchni gruntów ornych w grupie gospodarstw gdzie ziola zajmują areał 1-3 hektarów
- Rysunek 16. Struktura zasiewów poszczególnych upraw w ogólnej powierzchni gruntów ornych w grupie gospodarstw gdzie ziola zajmują areał 4-9 hektarów
- Rysunek 17. Struktura zasiewów poszczególnych upraw w ogólnej powierzchni gruntów ornych w grupie gospodarstw gdzie ziola zajmują areał co najmniej 10 hektarów
- Rysunek 18. Ciemnienie liści melisy lekarskiej
- Rysunek 19. Struktura zasiewów w gospodarstwach uprawiających melisę lekarską bezpośrednio z siewu nasion do gruntu (%)
- Rysunek 20. Struktura zasiewów w gospodarstwach uprawiających melisę lekarską z rozsady (%)
- Rysunek 21. Wykres rozrzutu korelacji całkowitych materiałowych nakładów energetycznych z nakładami na stosowane nawożenie w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej
- Rysunek 22. Wykres rozrzutu korelacji nakładów energetycznych ponoszonych na nawożenie z nakładami na mineralne nawożenie azotowe w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej
- Rysunek 23. Wykresy rozrzutu korelacji nakładów energetycznych ponoszonych na materiały z nakładami na mineralne nawożenie azotowe w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej, w badanych technologiach
- Rysunek 24. Wykresy rozrzutu korelacji nakładów energetycznych ponoszonych na materiały z nakładami na nawożenie mineralne (A) oraz nawożenia mineralnego z azotowym (B), w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej, w grupach powierzchniowych

- Rysunek 25. Wykresy rozrzutu korelacji całkowitych materiałowych nakładów energetycznych z nakładami na nawożenie azotowe w drugim roku uprawy mięty pieprzowej, w wydzielonych technologiach
- Rysunek 26. Wykres rozrzutu korelacji całkowitych nakładów materiałowych z nakładami na nawożenie mineralne w drugim roku uprawy mięty pieprzowej, w badanych gospodarstwach o zróżnicowanej powierzchni ziół
- Rysunek 27. Zależność nakładów energetycznych na nawożenie mineralne z nakładami na nawożenie azotowe w drugim roku uprawy mięty pieprzowej, w gospodarstwach o zróżnicowanych powierzchniach uprawy ziół
- Rysunek 28. Zależność całkowitych nakładów energetycznych materiałowych z nakładami na nawożenie mineralne (A) oraz nawożenia mineralnego z nawożeniem azotowym (B) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w analizowanych grupach powierzchniowych
- Rysunek 29. Wykres rozrzutu korelacji całkowitych materiałowych nakładów energetycznych z nakładami na stosowane nawożenie mineralne w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej
- Rysunek 30. Wykres rozrzutu korelacji nakładów energetycznych ponoszonych na nawożenie z nakładami na stosowane nawożenie azotowe w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej
- Rysunek 31. Wykresy rozrzutu korelacji nakładów energetycznych ponoszonych na materiały z nakładami na mineralne nawożenie azotowe w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej, w rozpatrywanych technologiach
- Rysunek 32. Wykres rozrzutu korelacji całkowitych nakładów materiałowych z nakładami na nawożenie mineralne w drugim roku uprawy melisy lekarskiej
- Rysunek 33. Wykres rozrzutu korelacji całkowitych nakładów energetycznych na nawożenie mineralne z nakładami na nawożenie azotowe w drugim roku uprawy melisy lekarskiej
- Rysunek 34. Wykresy rozrzutu korelacji sumarycznych materiałowych nakładów energetycznych z nakładami na nawożenie azotowe w drugim roku uprawy melisy lekarskiej, w poszczególnych technologiach
- Rysunek 35. Średnie nakłady energii skumulowanej w uprawie mięty pieprzowej na rozsadniku i w pierwszym roku wegetacji (%)
- Rysunek 36. Struktura energochłonności skumulowanej (%) w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej, w wydzielonych technologiach: A- rozsadnik z wykorzystaniem sadzonek ziemnych, B- rozsadnik z rozłogów podziemnych
- Rysunek 37. Struktura energochłonności skumulowanej (%) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej
- Rysunek 38. Struktura energochłonności skumulowanej (%), w pierwszym roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej wg powierzchni uprawy ziół; a-nakłady całkowite, b- nakłady całkowite z wydzieleniem energii ponoszonej na rozsadniku
- Rysunek 39. Struktura energochłonności skumulowanej (%) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w grupach powierzchniowych
- Rysunek 40. Zależność poszczególnych strumieni energetycznych od całkowitych nakładów energii skumulowanej w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej wg stosowanych technologii produkcji
- Rysunek 41. Zależność nakładów energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych (a- strumień inwestycji, b- materiałów, c- pracy, d- paliw) w pierwszym roku uprawy mięty pieprzowej w badanych technologiach uprawy
- Rysunek 42. Zależność energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych w drugim roku uprawy mięty pieprzowej w analizowanych technologiach produkcji
- Rysunek 43. Zależność energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych (a- strumień inwestycji, b- materiałów, c- pracy, d- paliw) w drugim roku uprawy mięty pieprzowej, w badanych technologiach uprawy
- Rysunek 44. Struktura energochłonności skumulowanej (%) w pierwszym roku prowadzenia plantacji w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej: A- siew nasion, B- sadzonki zielne

- Rysunek 45. Struktura energochłonności skumulowanej (%) w drugim roku prowadzenia plantacji melisy lekarskiej w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej: A- siew nasion, B- sadzonki zielne
- Rysunek 46. Zależność poszczególnych strumieni energetycznych od całkowitych nakładów energii skumulowanej w pierwszym roku uprawy melisy lekarskiej w gospodarstwach objętych analizą
- Rysunek 47. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych (a- strumień inwestycji, b- materiałów, c- pracy, d- paliw) w badanych technologiach uprawy melisy lekarskiej
- Rysunek 48. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej od poszczególnych strumieni energetycznych w drugim roku uprawy melisy lekarskiej
- Rysunek 49. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej z poszczególnymi strumieniami energetycznymi (a- strumień inwestycji, b- materiałów, c- pracy, d- paliw) w drugim roku uprawy melisy lekarskiej w wydzielonych technologiach uprawy
- Rysunek 50. Zależność nakładów pracy żywej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów ziela ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (a) oraz liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (b) w pierwszym roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w technologii wykorzystującej sadzonki zielne
- Rysunek 51. Zależność nakładów pracy żywej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów ziela ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (a) oraz liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (b) w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w technologii wykorzystującej sadzonki zielne
- Rysunek 52. Zależność nakładów pracy żywej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów ziela ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - a oraz liści - b w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w technologii wykorzystującej sadzonki rozłogowe
- Rysunek 53. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów ziela ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (a) oraz liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (b) w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w technologii wykorzystującej sadzonki zielne
- Rysunek 54. Zależność nakładów pracy żywej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów ziela ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (a) oraz liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (b) w pierwszym roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w grupie powierzchniowej 4-9 ha
- Rysunek 55. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów ziela ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (a) oraz liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (b) w pierwszym roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w grupie powierzchniowej 4-9 ha
- Rysunek 56. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów ziela ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (a) oraz liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (b) w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w grupie powierzchniowej 1-3 ha
- Rysunek 57. Zależność nakładów pracy żywej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (a) oraz nakładów inwestycyjnych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonu ziela - (b) w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w grupie powierzchniowej 1-3 ha
- Rysunek 58. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (a) oraz plonów liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) od nakładów materiałowych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (b) w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w grupie powierzchniowej 4-9 ha
- Rysunek 59. Zależność nakładów pracy żywej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów ziela ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w pierwszym roku wegetacji w badanych gospodarstwach
- Rysunek 60. Zależność całkowitych nakładów energii skumulowanej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów ziela - (a) oraz liści - (b) ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w gospodarstwach objętych analizą
- Rysunek 61. Zależność nakładów pracy żywej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów ziela - (a) oraz liści ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - (b) w drugim roku prowadzenia plantacji mięty pieprzowej w analizowanych gospodarstwach
- Rysunek 62. Zależność strumienia paliw ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) od plonów ziela melisy lekarskiej ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w pierwszym roku produkcji w gospodarstwach stosujących sadzonki zielne

ANEKS

Załącznik nr 1

Przykładowe karty technologiczne dla pierwszego roku uprawy mięty pieprzowej

Wycinek przykładowej karty technologicznej uprawy mięty pieprzowej w I roku w technologii wykorzystującej do zakładania rozsadnika rozłogi podziemne

Zabieg lub czynność (w kolejności wykonywania)	Ciągnik - typ	Moc silników (kW)	Maszyna - typ
Orka zimowa	Pronar MTZ 82	59,7	U-144/3
Bronowanie	C360-3P	38,2	U212/2
Nawożenie	Massey-Ferguson 3512	35	Amazone ZA-U1001
Uprawa roli	John Deere 6140 R	118	AUH32
Wykopywanie rozłogów	C360-3P	38,2	Z653
Roztrzepywanie rozłogów	-	-	Ręcznie
Transport	Massey-Ferguson 3512	35	Przyczepa jednoosiowa własnej konstrukcji
Sadzenie	C360-3P	38,2	sadzarka własnej konstrukcji
Opryskiwanie	MTZ 82	59,7	Heros 600 l Krukowiak
Nawożenie	Massey-Ferguson 3512	35	Amazone ZA-U1001
Opryskiwanie	MTZ 82	59,7	Heros 600 l Krukowiak
Mechaniczne usuwanie chwastów	Massey-Ferguson 3512	35	Brona chwastownik
Plewienie	-	-	-
Koszenie	Massey-Ferguson 3512	35	Z070/1
Zgrabywanie	-	-	Ręcznie
Zbieranie i suszenie na kozły	-	-	Ręcznie
Zwożenie z pola do stoły	Massey-Ferguson 3512	35	Przyczepa jednoosiowa własnej konstrukcji
Nawożenie	Massey-Ferguson 3512	35	Amazone ZA-U1001

Zabieg lub czynność (w kolejności wykonywania)	Ciągnik - typ	Moc silników (kW)	Maszyna - typ
Opryskiwanie	MTZ 82	59,7	Heros 600 l Krukowiak
Plewienie	-	-	Ręcznie
Koszenie	Massey-Ferguson 3512	35	Z070/1
Zgrabywanie	-	-	Ręcznie
Zbieranie i suszenie na kozlach	-	-	-
Omlot (zimą)	-	7,5	Warmianka MSC-10
Doczyszczanie	-	0,74	Przesiewacz (własna produkcja)
Pakowanie	-	-	Ręcznie
Orka zimowa	MTZ 82	59,7	U-144/3

Wycinek przykładowej karty technologicznej uprawy mięty pieprzowej w I roku w technologii wykorzystującej do zakładania rozsadnika sadzonki zielne

Zabieg lub czynność (w kolejności wykonywania)	Ciagnik - typ	Moc silników (kW)	Maszyna - typ
Opryskiwanie	Ursus 4512	48,5	Opryskiwacz 700 l Rau
Obornik	Ursus 4512	48,5	RT-4
Orka zimowa	John Deer 6900	96	Pług 4 sib U-183
Bronowanie	Ursus 360 3P	38,2	U 356/2
Nawożenie	Ursus 4512	48,5	ZA-M 1001
Agregat	John Deer 6900	96	U709/5
Kopanie rozłogów	Ursus 360 3P	38,2	Z653
Sadzenie	Ursus 360 3P	38,2	Sadzarka własnej konstrukcji
Wałowanie	Ursus 360 3P	38,2	Wał pierścieniowy własnej konstrukcji
Opryskiwanie	Ursus 4512	48,5	Opryskiwacz 700 l Rau
Mechaniczne usuwanie chwastów	Ursus 360 3P	38,2	P 466
Opryskiwanie	Ursus 4512	48,5	Opryskiwacz 700 l Rau
Plewienie	-	-	-
Koszenie	Ursus 360 3P	38,2	Z070/1
Zbieranie i suszenie na kozły	-	-	-
Zwożenie z pola do stodoły	Ursus 4512	48,5	Przyczepa własnej produkcji ładowność 4 t
Nawożenie	Ursus 4512	48,5	ZA-M 1001
Opryskiwanie	Ursus 4512	48,5	Opryskiwacz 700 l Rau
Plewienie	-	-	-
Koszenie	Ursus 360 3P	38,2	Z070/1
Zbieranie i suszenie na kozły	-	-	-
Młócenie (zimą)		7,5	Maszyna Warmianka MSC 7B
Przenośnik	-	0,25	Przenośnik
Oczyszczanie +pakowanie	-	0,5	Przesiewacz (własna produkcja)
Orka zimowa (przyorywanie na zimę na glebie lekkiej) na głębok.10-12 cm	John Deer 6900	96	Pług 4 sib U-183
Agregat z wałem	John Deer 6900	96	U709/5

Załącznik nr 2

Przykładowe karty technologiczne dla pierwszego roku uprawy melisy lekarskiej

Wycinek przykładowej karty technologicznej uprawy melisy lekarskiej w I roku w technologii siewu nasion bezpośrednio do gruntu

Zabieg lub czynność (w kolejności wykonywania)	Ciągnik - typ	Moc silników (kW)	Maszyna - typ
Orka zimowa	Deutz-Fahr 5100	69,5	IBIS XM Unia Grudziądz 4 skib.
Nawożenie	Deutz-Fahr 5100	69,5	RAUCH MDS 19.1
Opryskiwanie	Zetor 5320	46	Pilmet lux 612
Uprawa roli	Zetor 5320	46	Agregat uprawowy bierny 2,7 m (przywieziony z zagranicy), masa 300kg
Siew	Zetor 5320	46	Siewnik do ziół własnej konstrukcji 5 rzędowy
Opryskiwanie	Zetor 5320	46	Pilmet lux 612
Plewienie			Ręcznie
Opryskiwanie	Zetor 5320	46	Pilmet lux 612
Mechaniczne zwalczanie chwastów	Zetor 5320	46	Wielorak
Opryskiwanie	Zetor 5320	46	Pilmet lux 612
plewienie	-	-	Ręcznie
Opryskiwanie	Zetor 5320	-	Pilmet lux 612
Nawożenie	Zetor 5320	-	rozsiewacz Rauch MDS 19.1
Opryskiwanie	Zetor 5320	-	Pilmet lux 612
Koszenie	Zetor 5320	-	Kosiarka Z180
Zbiór przyczepą samozbierającą	Zetor 5320	-	Przyczepa samozbierająca Mengele LW C330
Wyładowanie do suszenia	-	-	Ręcznie
Wyładowanie po schnięciu	-	-	Ręcznie
Młócenie	-	7,5	Warmianka MSC-8 (odpowiednio przystosowana)
Pakowanie	-	-	Ręcznie
Mechaniczne zwalczanie chwastów	Zetor 5320	-	Wielorak
Opryskiwanie	Zetor 5320	-	Pilmet lux 612

Wycinek przykładowej karty technologicznej uprawy melisy lekarskiej w I roku w technologii wykorzystującej rozsadę

Zabieg lub czynność (w kolejności wykonywania)	Ciągnik - typ	Moc silników (kW)	Maszyna - typ
Rozrzucanie obornika	-	-	Prace ręczne w tunelu foliowym
Rozkładanie ziemi- podłoże	-	-	Prace ręczne w tunelu foliowym
Siew nasion	-	-	Prace ręczne w tunelu foliowym
Oprysk środkiem grzybowym	-	-	Prace ręczne w tunelu foliowym
Podlewanie/ całą roślinność na rozsadniaku	-	-	Prace ręczne w tunelu foliowym
Odchwaszczanie	-	-	Prace ręczne w tunelu foliowym
Stosowanie obornika	Zetor Proksima 8441	60	Rozrzutnik 2 osiowy N235 Czarna Białostocka
Ładowacz 2812	Ursus 2812	28	Ładowacz Tur 2
Orka zimowa	Zetor Proksima 8441	60	Pług 4 skib Unia Grudziądz U 036/2
Nawożenie	Zetor Proksima 8441	60	Woprol Junior 2 tarczowy (800 kg)
Uprawa roli	Zetor Proksima 8441	60	Agregat uprawowy firmy Bonet Carina U 725*
Opryskiwanie	Zetor Proksima 8441	60	ZGZ-800 Woprol
Uprawa roli	Zetor Proksima 8441	60	Bonet Carina U 725*
Sadzenie łącznie z wrywaniem sadzonek	C 360	38	S237/1 Agromax
Mechaniczne zwalczanie chwastów	Ursus 2812	28	Agromet P430/2
Pielenie ręczne	-	-	Ręcznie
Dolistne nawożenie	Zetor Proksima 8441	60	ZGZ-800 Woprol 800 l
Dolistne nawożenie	Zetor Proksima 8441	60	ZGZ-800 Woprol 800 l
Opryskiwanie	Zetor Proksima 8441	60	ZGZ-800 Woprol 800 l
Mechaniczne zwalczanie chwastów	Ursus 2812	28	Agromet P430/2

Zabieg lub czynność (w kolejności wykonywania)	Ciągnik - typ	Moc silników (kW)	Maszyna - typ
Koszenie	Ursus 2812	28	Banrol 1,65
Grabienie	-	-	Ręcznie
Składanie na kozły	-	-	Ręcznie
Zwożenie do stodoły	C 360	38	Przyczepa jednoosiowa własnej produkcji
Omłot	-	7	Młocarnia zmodernizowana MSC 7B
Omłot	-	1	Przenośnik ślimakowy T 206/3
Pakowanie	-	-	Ręcznie

STRESZCZENIE

Jednym z warunków zrównoważonego rolnictwa jest efektywność wykorzystania energii w rolnictwie. Stanowi istotny czynnik wpływający zarówno na wysokość kosztów produkcji, jak i pozwala na ochronę zasobów kopalnych oraz zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza. Polska jest jednym z czołowych producentów ziół w Europie. Mięta pieprzowa i melisa lekarska należą do tej samej rodziny botanicznej i charakteryzują się podobnym sposobem wykorzystania. Problem energochłonności upraw zielarskich nie jest w literaturze przedmiotu znany. 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. Do realizacji postawionego celu badawczego wykorzystano w pierwszym etapie wyniki otrzymane na podstawie kwestionariuszy prowadzonych w gospodarstwach zajmujących się uprawą mięty pieprzowej i melisy lekarskiej, natomiast w drugim, wyniki pozyskane z własnych doświadczeń polowych i laboratoryjnych, jako dopełnienie wcześniejszych. Do oceny energochłonności produkcji mięty pieprzowej i melisy lekarskiej zastosowano metodykę energochłonności skumulowanej. Szacowanie wartości energetycznej plonów przeprowadzono zgodnie z metodyką zalecaną przez FAO. Weryfikację stosowanego nawożenia azotowego prowadzono w oparciu o ściśle doświadczenia polowe, gdzie dla mięty pieprzowej stosowano nawożenie N 75, 100, 125 kg ha⁻¹, natomiast melisy: 0,8, 1,12, 1,40 i 1,68 g wazon⁻¹. Nie stwierdzono istotnych różnic w wysokości nakładów energii skumulowanej ponoszonych na uprawę mięty pieprzowej w wydzielonych technologiach uprawy, średnio w pierwszym roku prowadzenia plantacji kształtowały się na poziomie 68708,5 MJ ha⁻¹, w tym etap prowadzenia rozsadnika generował średnio 7476,5 MJ ha⁻¹. W całym cyklu uprawy mięty pieprzowej i melisy lekarskiej największą energochłonnością odznaczał się strumień pracy ludzkiej. Mniej pracochłonny był matecznik mięty pieprzowej zakładany z podziemnych rozlogów, ale ten sposób generował wyższe nakłady pracy w pierwszym roku uprawy. Energochłonność uprawy mięty pieprzowej w strumieniu materiałów i surowców w najwyższym stopniu podnosiły mineralne nawozy azotowe. Niższą energochłonnością w pierwszym roku prowadzenia plantacji odznaczały się gospodarstwa stosujące sadzonki nadziemne. Stwierdzono niską efektywność i wysoką energochłonność energetyczną uprawy mięty pieprzowej, niezależnie od stosowanej technologii uprawy i wielkości powierzchni ziół w gospodarstwie. Gospodarstwa o mniejszej powierzchni uprawy ziół nie wykazywały większego współczynnika efektywności energetycznej. Wyniki prowadzonego doświadczenia poletkowego z udziałem mięty pieprzowej w warunkach gleb słabszych, przy zróżnicowanym poziomie stosowanego nawożenia azotowego wykazały najkorzystniejsze efekty produkcyjne przy stosowaniu N 100 kg ha⁻¹, przy braku różnic w zawartości olejków eterycznych. Przeprowadzone obliczenia symulacyjne z wykorzystaniem wyników prowadzonego doświadczenia wykazały, że zmniejszenie nawożenia azotowego do 100 kg ha⁻¹ spowodowałoby wzrost wskaźnika efektywności energetycznej w pierwszym roku uprawy, średnio dla gospodarstw wydzielonych ze względu na stosowaną technologię uprawy o około 0,8%. Wyniki prowadzonych badań pozwoliły na wyłonienie bardziej energooszczędnej technologii uprawy melisy lekarskiej. Stwierdzono w cyklu dwuletnim mniejszą energochłonność skumulowaną technologii, gdzie siew nasion dokonywany był bezpośrednio na polu docelowym oraz wykorzystywano przyczepy samobierające i dalsze dosuszanie prowadzono pod zadaszeniem. W tej technologii w pierwszym roku uprawy ponoszono nakłady w średniej wysokości 37638 MJ ha⁻¹. 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. Zaproponowano do użytku ogólnego wskaźniki energetyczne rozlogów mięty pieprzowej, nasion melisy i kwasów humusowych.

Słowa kluczowe: energochłonność skumulowana, wskaźniki energetyczne, mięta pieprzowa, melisa lekarska

ENERGY CONSUMPTION IN THE PRODUCTION OF HERBAL PLANTS ON THE EXAMPLE OF PEPPERMINT (*MENTHA PIPPERITA* L.) AND LEMON BALM (*MELISSA OFFICINALIS* L.)

SUMMARY

One of the conditions for sustainable agriculture is the efficiency of energy use in agriculture. It is an important factor affecting both the amount of production costs and allows for the protection of fossil resources and the reduction of air pollution. Poland is one of the leading herb producers in Europe. Peppermint and medical lemon balm belong to the same botanical family and are characterized by a similar method of use. The problem of energy consumption of herbal crops is not known in the literature on the subject. The main objective of the research was to comprehensively evaluate the energy consumption of cumulated production, followed by the energy efficiency of various technologies for the production of peppermint and lemon balm in the three voivodships of south-eastern Poland. In the first stage, the results obtained on the basis of questionnaires carried out in the farms cultivating peppermint and lemon balm were used to implement the set research objective, while in the second stage, the results obtained from own field and laboratory experiments, as a complement to the earlier ones. To assess the energy consumption of peppermint and lemon balm production, the cumulative energy consumption methodology was applied. Estimation of the energy value of crops was carried out in accordance with the methodology recommended by the FAO. Verification of the applied nitrogen fertilization was carried out on the basis of strict field experiments, where for the peppermint N, 100, 125 kg.ha⁻¹ was applied, while melissa: 0.8, 1.12, 1.40 and 1.68 g. vase⁻¹. There were no significant differences in the amount of cumulated energy expenditure incurred for peppermint cultivation in separate cultivation technologies, on average in the first year of conducting plantations they were on the level of 68708.5 MJ · ha⁻¹, including the seedbed driving mode generated an average of 7476.5 MJ · ha⁻¹. In the whole cycle of pepper mint and lemon balm cultivation, the highest energy intensity was observed in the stream of human labor. Less labor-intensive was the peppermint nursery plant established from underground runners, but this way generated higher labor inputs in the first year of cultivation. The energy intensity of peppermint cultivation in the stream of materials and raw materials was the highest increase of mineral nitrogen fertilizers. Electricity in the first year of plantation was characterized by farms using above-ground cuttings. Low efficiency and high energy energy intensity of peppermint cultivation were found, regardless of the cultivation technology used and the size of the herb surface on the farm. Farms with a smaller area of herb cultivation did not show a higher energy efficiency coefficient. The results of the peppermint field trial carried out in conditions of weaker soil, with different levels of nitrogen fertilization applied, showed the most beneficial production effects when using N 100 kg.ha⁻¹, with no differences in the content of essential oils. The simulation calculations carried out using the results of the conducted experiment have shown that a reduction in nitrogen fertilization to 100 kg.ha⁻¹ would cause an increase in the energy efficiency index in the first crop year, on average for farms separated by about 8.8%. The results of the conducted research have enabled the emergence of a more energy-efficient cultivation of lemon balm. A two-year cycle was found to reduce the cumulative energy consumption of technology, where seed sowing was performed directly on the target field, and self-harvesting trailers were used and further drying was carried out under a roof. In this technology, in the first year of cultivation, expenditures were incurred in the average amount of 37638 MJ.ha⁻¹. The separated energy-saving melissa production technology was characterized in both analyzed years by higher energy efficiency indicators and a lower energy consumption index in the first year of cultivation in relation to alternative technology. General energy indicators for peppermint sprouts, melissa seeds and humic acids have been proposed for general use.

Key words: cumulated energy consumption, energy indicators, peppermint, lemon balm

