PRACE NAUKOWE
Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
RESEARCH PAPERS
of Wrocław University of Economics and Business

Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Research Papers of Wroclaw University of Economics and Business
Year 2024, Vol. 68, No. 5
ISSN 2392-0041
journals.ue.wroc.pl/pn

Łańcuch dostaw biomasy drzewnej – wyniki ilościowych badań empirycznych

Arkadiusz Kawa

Wyższa Szkoła Logistyki w Poznaniu, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

e-mail: arkadusz.kawa@wsl.com.pl

ORCID: 0000-0003-0697-8838

© 2024 Arkadiusz Kawa

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0). Skrócona treść licencji dostępna jest online na https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.pl

Cytuj jako: Kawa, A. (2024). Łańcuch dostaw biomasy drzewnej – wyniki ilościowych badań empirycznych. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, *68*(5), 57-68.

DOI: 10.15611/pn.2024.5.05

JEL: N7, O1, Q01

Streszczenie

Cel: Celem artykułu jest identyfikacja rodzajów biomasy drzewnej występującej w Polsce, jej najczęstszych zastosowań, procesów logistycznych i technologicznych, rodzajów podmiotów mających z nią do czynienia, wymagań dotyczących biomasy drzewnej, a także dostosowania logistyki oraz szans rozwoju łańcucha dostaw biomasy drzewnej.

Metodyka: Do osiągnięcia celu zastosowano badania empiryczne, które zostały przeprowadzone w Polsce na próbie 300 respondentów, reprezentujących przemysł drzewny, w szczególności mających do czynienia z biomasą drzewną.

Wyniki: Drewno jest uniwersalnym surowcem z wieloma zastosowaniami. Jego zaletą jest możliwość ponownego wykorzystania i recyklingu. Część jest stosowana jako biomasa. Logistyka i technologia przetwarzania biomasy na energię stanowią istotne wyzwania.

Implikacje i rekomendacje: Wyniki badań posłużą do opracowania modelu odwrotnego łańcucha dostaw biomasy drzewnej. Model ten wspomoże firmy w ograniczeniu negatywnego wpływu na środowisko poprzez redukcję odpadów, jednocześnie poprawiając efektywność ekonomiczną dzięki optymalizacji tras transportu i oszczędności zasobów.

Oryginalność/wartość: Gospodarka biomasy drzewnej jest ważną dziedziną, ale niewiele prowadzonych do tej pory badań ma charakter empiryczny. Przeprowadzone badania są źródłem informacji o łańcuchu dostaw biomasy drzewnej w Polsce.

Słowa kluczowe: łańcuch dostaw, drewno, biomasa

1. Wstęp

Zagadnienia związane ze zrównoważonym rozwojem odgrywają coraz większą rolę i stają się ważnym przedmiotem debaty publicznej (Dlouhá i Pospíšilová, 2018). Szczególnie w obliczu dynamicznie zmieniających się cen surowców na światowych rynkach innowacje organizacyjne oraz technologie wspierające zrównoważony rozwój nabierają kluczowego znaczenia (Silvestre i Ţîrcă, 2019). Te innowacje umożliwiają wykorzystanie alternatywnych źródeł pozyskiwania energii i surowców, co zmniejsza problem związany z wyczerpującymi się zasobami naturalnymi (Wellmer i Becker-Platen, 2002).

W miarę jak zwiększa się świadomość ekologiczna i społeczna ludzi, rośnie znaczenie przeprowadzania badań naukowych dotyczących procesów recyklingu i ponownego wykorzystania. Koncepcja ponownego wykorzystania staje się coraz ważniejsza w kontekście gospodarki obiegu zamkniętego (Velenturf i Purnell, 2021). To podejście zakłada, że produkty i materiały powinny być projektowane tak, aby można je było wielokrotnie wykorzystać, co pozwala na dłuższy okres eksploatacji i redukcję odpadów. Badania koncentrują się na tworzeniu innowacyjnych rozwiązań, które umożliwią łatwe i bezpieczne ponowne wykorzystanie rzeczy.

Bardzo dobrym przykładem tworzywa, które można ponownie wykorzystać i poddać recyklingowi, jest drewno (Akpan i in., 2021). Ponadto w procesie przetwarzania drewna i jego wykorzystania powstają pozostałości leśne, pozostałości z przetwórstwa drewna lub odpadów budowlanych i komunalnych. Tworzą one biomasę drzewną.

Biomasa stanowi głównie źródło pozyskiwania energii. Przyczynia się do zrównoważonego wytwarzania energii, co jest kluczowym elementem walki ze zmianami klimatycznymi i redukcji emisji gazów cieplarnianych. Jednak biomasa drzewna może być wykorzystywana nie tylko do produkcji energii. Coraz częściej uzyskuje się z niej inne cenne materiały, takie jak płyty wiórowe czy pilśniowe, kompozyty, wyroby dla budownictwa, meblarstwa przemysłu spożywczego czy nawet farmacji (Kawa i Pierański, b.d.).

Biomasa – podobnie jak samo drewno i wyroby z nim związane – podlega licznym procesom technologicznym i logistycznym między różnymi podmiotami, które tworzą łańcuch dostaw. Jest z tym związanych wiele wyzwań, ponieważ biomasa wymaga szczególnych warunków przetwarzania, przechowywania czy transportu. Ponadto jest ona o relatywnie niskiej wartości, więc procesy powinny być dobrze zaplanowane i efektywnie wykonane (Kawa i Pierański, 2023).

Łańcuch dostaw biomasy drzewnej to zagadnienie, które nie jest przedmiotem wielu badań, w szczególności empirycznych. Dostępne wyniki analiz bazują często na rozważaniach teoretycznych lub bardzo specyficznych i osadzonych w konkretnych rodzajach biomasy lub miejscach jej obsługi. Dotyczą np. operacji logistycznych biomasy drzewnej powstającej w lesie (Anderson i Mitchell, 2016), funkcjonalności i utrzymania łańcucha dostaw pelletu drzewnego (Ramos, 2022), jak również modelowania i optymalizacji łańcucha dostaw w kontekście wilgotności biomasy (Sosa i in., 2015). Jest jednak wiele różnych aspektów i problemów, które nie są zgłębione w zakresie przepływu biomasy drzewnej. Obejmuje to kwestie związane z różnymi rodzajami biomasy drzewnej, źródłami jej pochodzenia i celów jej wykorzystania, sposobami przechowywania i transportu, a także pojawiającymi się wyzwaniami. Zrozumienie tych szczególnych cech jest kluczowe w zarządzaniu tą kategorią odpadów i wykorzystaniu ich potencjału w sposób zrównoważony.

Celem artykułu jest identyfikacja rodzajów biomasy drzewnej występującej w Polsce, ich najczęstszych zastosowań, procesów logistycznych i technologicznych, rodzajów podmiotów mających z nią do czynienia, wymagań dotyczących biomasy drzewnej, dostosowania logistyki oraz szans rozwoju łańcucha dostaw biomasy drzewnej.

Do osiągnięcia tego celu posłużyły wyniki badań empirycznych. Przeprowadzono je w firmach, które zajmują się przemysłem drzewnym, w szczególności mają do czynienia z biomasą drzewną. Łącznie przebadano próbę 300 respondentów w Polsce.

2. Proces badań empirycznych

W artykule przedstawione są wyniki, które stanowią część wieloetapowej procedury badawczej. W początkowym etapie badania oparto się na przeglądzie literatury. W następnym kroku przeprowadzono grupowe wywiady pogłębione (*Focus Group Interview* – FGI) (Kawa, 2023). Umożliwiły one poznanie istoty problemu związanego z łańcuchem dostaw biomasy drzewnej. Z kolei w tym artykule przedstawione są wyniki badań przeprowadzonych z wykorzystaniem wywiadu telefonicznego wspomaganego komputerowo (*Computer-Assisted Telephone Interviewing* – CATI). Ten etap miał charakter badania metodą ilościową.

Badanie zostało przeprowadzone na przełomie listopada i grudnia 2022 roku przez zewnętrzną agencję badawczą, która specjalizuje się w organizowaniu badań zarówno jakościowych, jak i ilościowych na zlecenie firm i instytucji naukowych.

Badanie odbyło się na podstawie scenariusza i kwestionariusza, które zostały przygotowane przez zespół badawczy i następnie przekazane do agencji. Kwestionariusz powstał na bazie studiów literaturowych, doświadczeń badaczy i wyników badań FGI (Kawa, 2023).

Uczestników do badania dobrano w sposób warstwowy i losowy. Ze względu na charakter badań populacja ogólna została zawężona do przedsiębiorstw zajmujących się pozostałościami biomasy drzewnej, w tym m.in.:

- produkcją lub przetwarzaniem wyrobów drewnianych lub z elementami drewna;
- recyklingiem, utylizacją i przetwarzaniem odpadów drzewnych;
- transportem lub magazynowaniem odpadów drzewnych.

Baza danych do badania została zbudowana z uwzględnieniem: (1) wykazu numerów PKD (Polska Klasyfikacja Działalności) chrakteryzujących działalność firm stanowiących grupę docelową, (2) bazy podmiotów przekazaną agencji przeprowadzającej badanie przez kierownika projektu. Ostatecznie uzyskano bazę składającą się z ok. 12 tys. podmiotów. Nawiązano kontakt telefoniczny z ok. 3,8 tys. osób. Ok. 3,5 tys. odmówiło udziału w badaniu. Ostatecznie w badaniu wzięło 300 osób. W związku z tym wskaźnik sukcesu wyniósł 8%. Próba ta jest reprezentatywna przy założeniu, że populacja wynosi nawet 50 tys. podmiotów, i błędzie pomiaru na poziomie 5,64% (Raosoft, 2023).

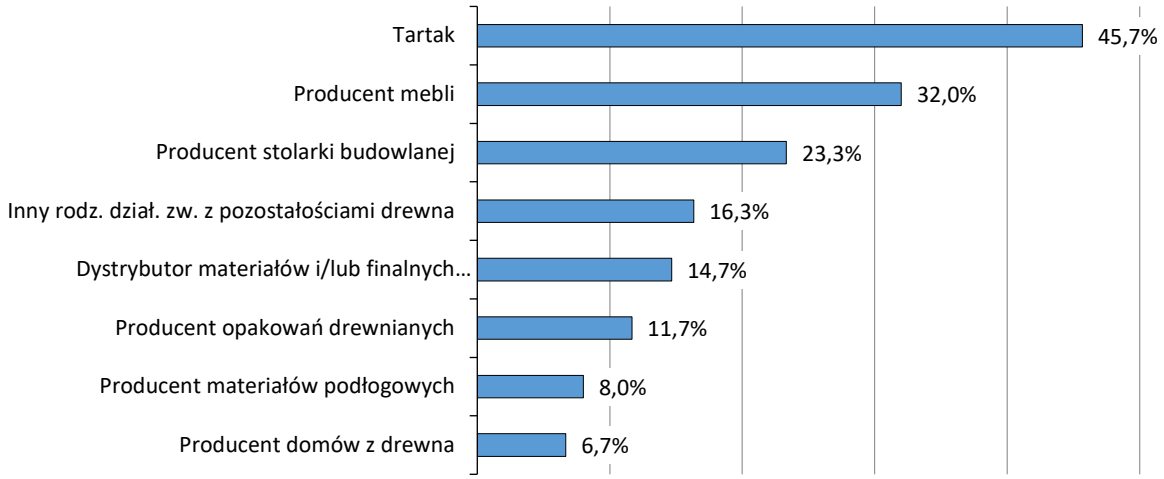
Warunkiem wzięcia udziału przez respondenta w wywiadzie było doświadczenie związane z przemysłem drzewnym, w szczególności biomasą. W tym celu zastosowano dwa pytania selekcjonujące, tj. zapytano respondentów, czy firma, w której pracują, ma do czynienia z pozostałościami drewna, materiałów drzewnych lub drewnem poużytkowym (odpadami ze zużytych wyrobów drzewnych) oraz czy mają wiedzę na temat odpadów z drewna, np. ich powstawania, przetwarzania, odbioru, wywozu. Żeby respondent mógł wziąć udział w badaniu, odpowiedzi na oba pytania musiały być twierdzące.

Poza pytaniami selekcjonującymi kwestionariusz zawierał dwie inne części: wprowadzenia i pytań właściwych. We wprowadzeniu osoba prowadząca badanie przedstawiła tytuł projektu, cel badania i zasady dotyczące przeprowadzenia wywiadu oraz informacje o zapewnieniu poufności.

3. Wyniki badań

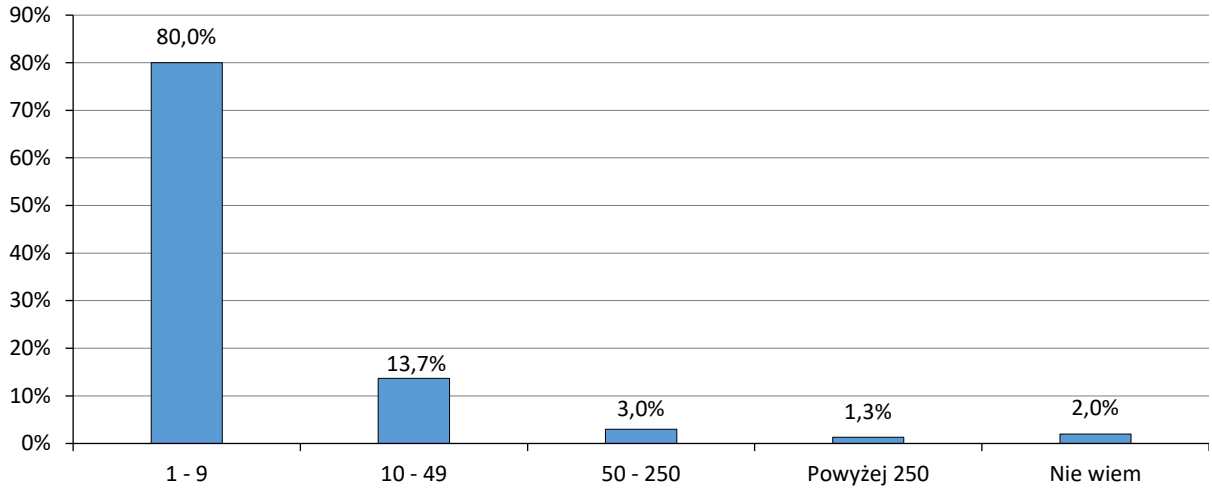
Wśród respondentów najwięcej było przedstawicieli tartaków (45,7%). Prawdopodobnie wynika to z tego, że mają one najczęściej do czynienia z pozostałościami drewna i materiałami drzewnymi. Relatywnie dużo było też producentów mebli (32%) i producentów stolarki budowlanej (23,3%) (rys. 1). Niektóre firmy występowały w więcej niż jednej roli.

Badane firmy są bardzo małe pod względem wielkości. Świadczą o tym dwa parametry: liczba zatrudnionych pracowników i wielkość obrotów. 80% firm zatrudnia od 1 do 9 pracowników, a tylko 1,3% powyżej 250. Sporą grupę stanowią firmy zatrudniające 10-49 pracowników (13,7%) (rys. 2). Jeśli chodzi o wielkości rocznych obrotów – aż 56% firm ma je niższe niż 500 tys. zł. Tylko 3,4% firm ma obroty na poziomie co najmniej 10 mln zł (rys. 3).



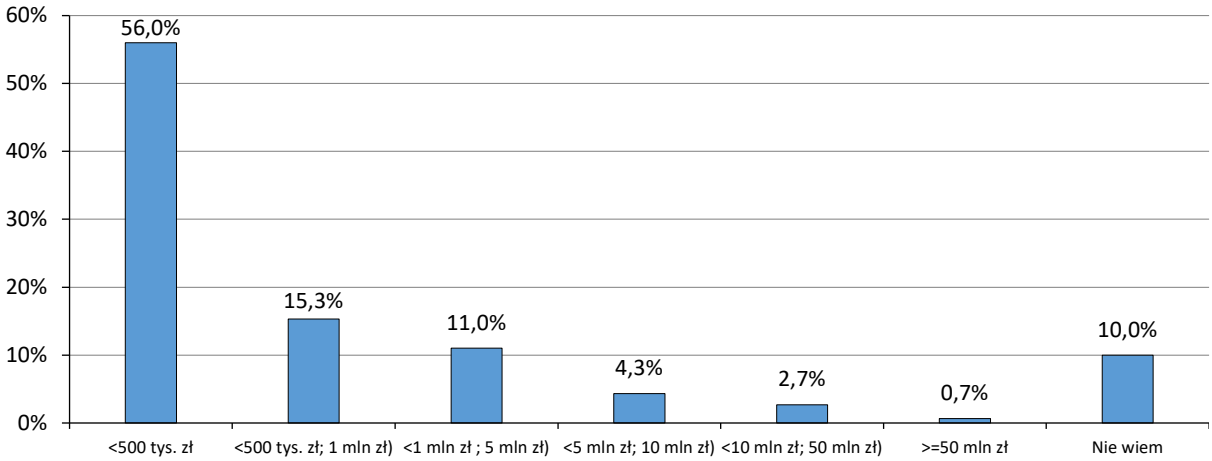
Rys. 1. Rodzaje prowadzonej działalności badanych firm

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Liczba pracowników

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Wielkość rocznych obrotów

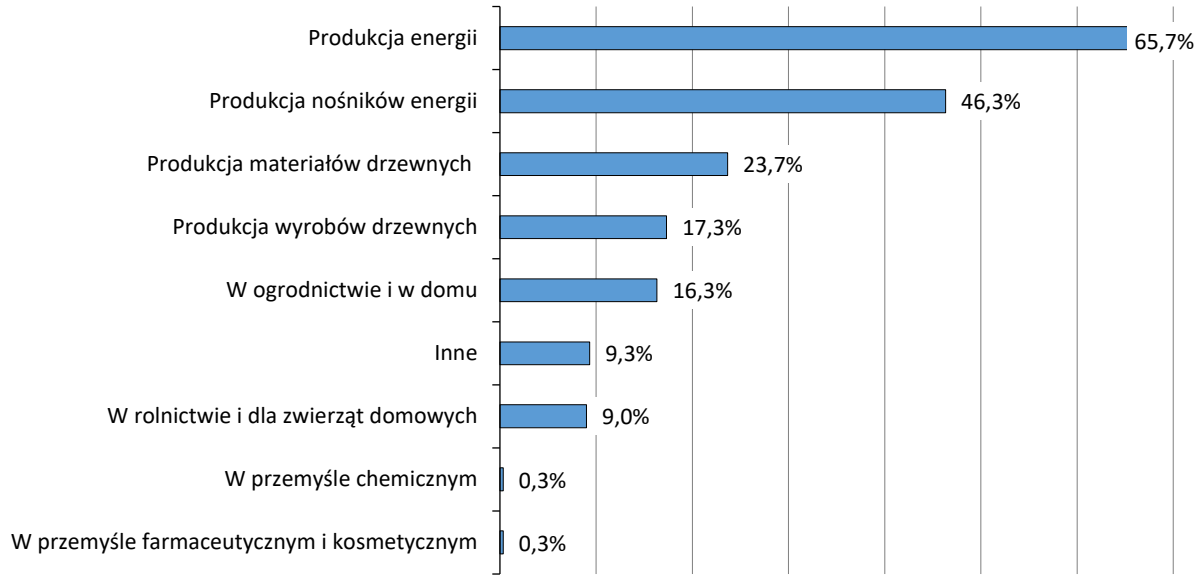
Źródło: opracowanie własne.

Dzięki badaniu wiadomo, z jakimi pozostałościami biomasy drzewnej firma miała najczęściej do czynienia. Zasadniczo wyróżnia się trzy rodzaje pozostałości biomasy drzewnej (Kawa i Pierański, 2023):

- pozostałości drewna z rolnictwa i leśnictwa (np. karpina, zrębki leśne, kora),
- pozostałości poprodukcyjne (np. kawałkowe, trociny, wióry, pył drzewny),
- drewno poużytkowe (np. opakowania, elementy stolarki okiennej i drzwiowej, meble, odpady z rozbiórki budynków i konstrukcji, elementy obiektów infrastruktury i pomocnicze do prac budowlanych).

Badani respondenci najczęściej mają do czynienia z biomasą drzewną w postaci pozostałości poprodukcyjnych (88% wskazań). Znacznie mniej popularne są drewno poużytkowe (7%) oraz pozostałości drewna z rolnictwa i leśnictwa (5%).

Kolejną kwestią było ustalenie, do czego wykorzystywane są pozostałości biomasy drzewnej. Z przedstawionej listy respondenci mieli wybrać maksymalnie trzy najważniejsze zastosowania. Pozostałości biomasy drzewnej są najczęściej wykorzystywane do produkcji energii (65,7% wskazań). Kolejne zastosowanie biomasy drzewnej to produkcja nośników energii (46,3%), takich jak: pellet, brykiet, biowegiel, bioolej. W dalszej kolejności biomasę przeznacza się do produkcji materiałów drzewnych (np. płyt wiórowych i pilśniowych, kompozytów, mas włóknistych) i wyrobów drzewnych (np. palety, galanteria drzewna, wyroby dla budownictwa i meblarstwa oraz wyroby dla przemysłu spożywczego). Odpowiednio jest to 23,7% i 17,3% (rys. 4).

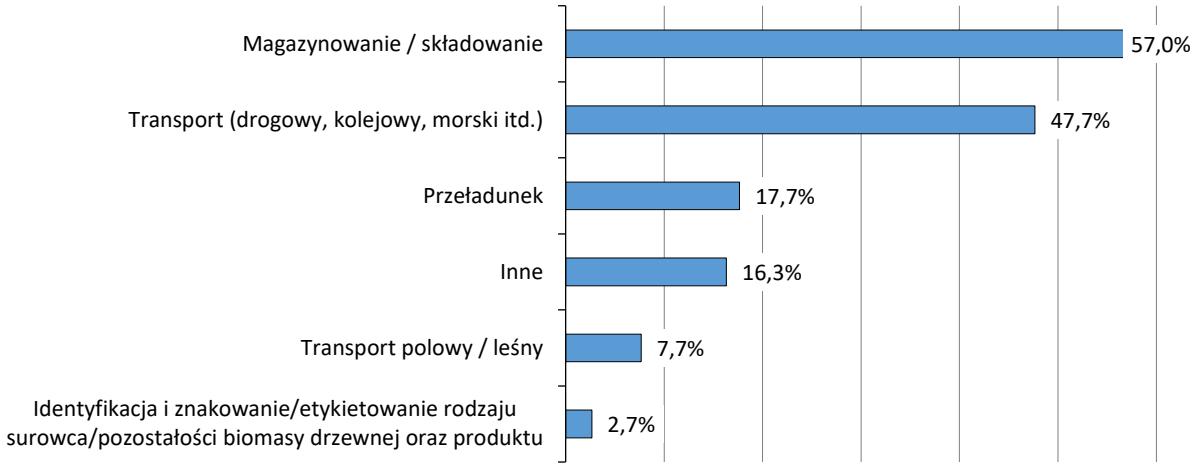


Rys. 4. Najczęstsze zastosowania pozostałości biomasy drzewnej

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną kwestią, którą poruszono, było pochodzenie biomasy drzewnej, z którą firma ma do czynienia – należało określić, czy powstaje ona wewnątrz przedsiębiorstwa, czy też poza nią. W 91% przypadków jest tworzona w organizacji, a tylko w 9% poza nią. Dalej respondenci mieli odpowiedzieć na pytanie, czy wykorzystanie pozostałości biomasy drzewnej odbywa się na własne czy innych odbiorców potrzeby. 34,3% respondentów odpowiedziało, że na własne potrzeby, 28,3% tylko na potrzeby innych, a 27% wskazało zarówno na własne potrzeby, jak i na potrzeby innych odbiorców. 9% nie udzieliło odpowiedzi.

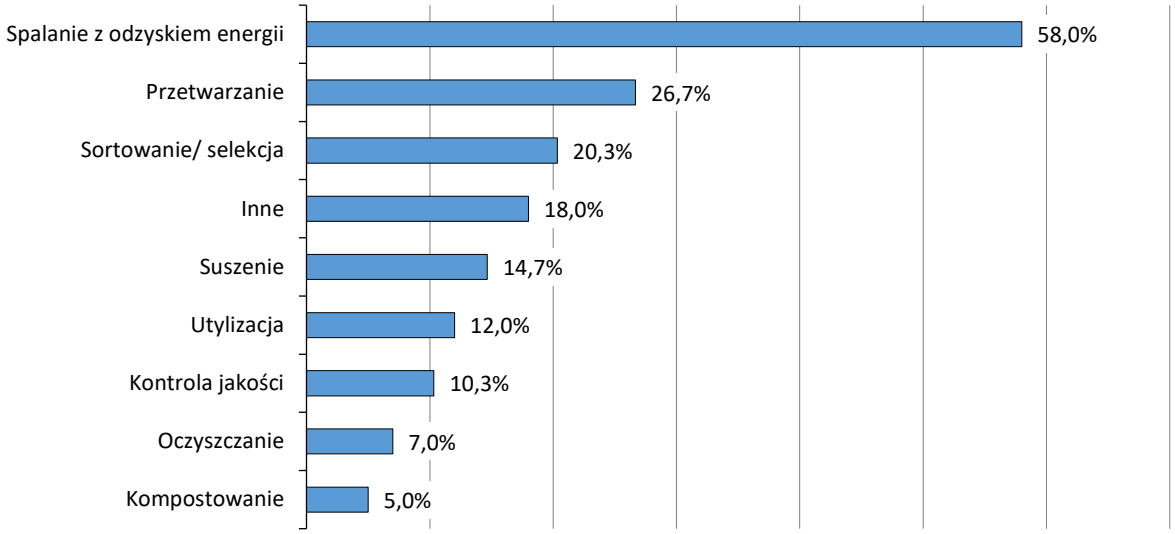
Dalej próbowano się dowiedzieć, jakie procesy logistyczne związane ze wskazaną wcześniej grupą pozostałości biomasy drzewnej występują w badanych firmach. Najczęściej były to magazynowanie lub składowanie (57%), transport (47,7%) i przeładunek (17,7%) (rys. 5).



Rys. 5. Procesy logistyczne pozostałości biomasy drzewnej

Źródło: opracowanie własne.

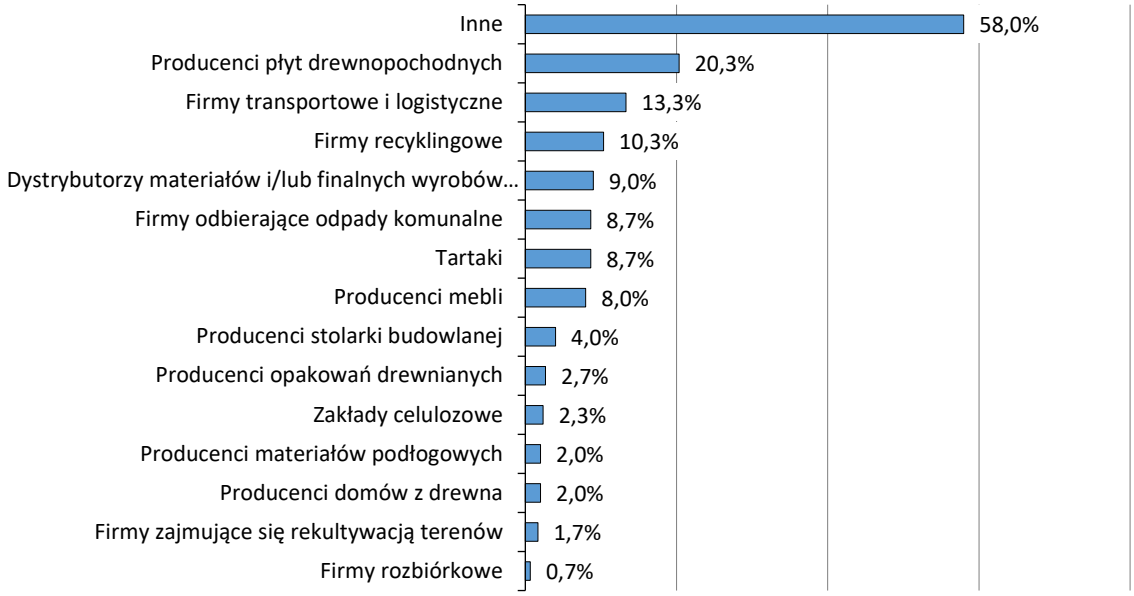
Ze względu na swoje przeznaczenie biomasa drzewna jest dostarczana do elektrowni lub zakładu przemysłowego, gdzie jest wykorzystywana do produkcji energii cieplnej lub elektrycznej, a także do produkcji biopaliw lub innych produktów przemysłowych. Ważne jest więc ustalenie, jakie procesy technologiczne dotyczą pozostałości biomasy drzewnej. Chodzi o procesy w całym postępowaniu z surowcem – zarówno w firmie, jaki i te zlecane innym firmom. Zdaniem respondentów najczęstszym procesem jest spalanie z odzyskiem energii (58%). Istotnymi procesami są również przetwarzanie (26,7%) i sortowanie lub selekcja (20,3%). W zakładach przetwórczych biomasa drzewna jest poddawana jeszcze innym procesom, w zależności od celu jej wykorzystania. Może to obejmować oczyszczanie, suszenie lub kompostowanie.



Rys. 6. Procesy technologiczne pozostałości biomasy drzewnej

Źródło: opracowanie własne.

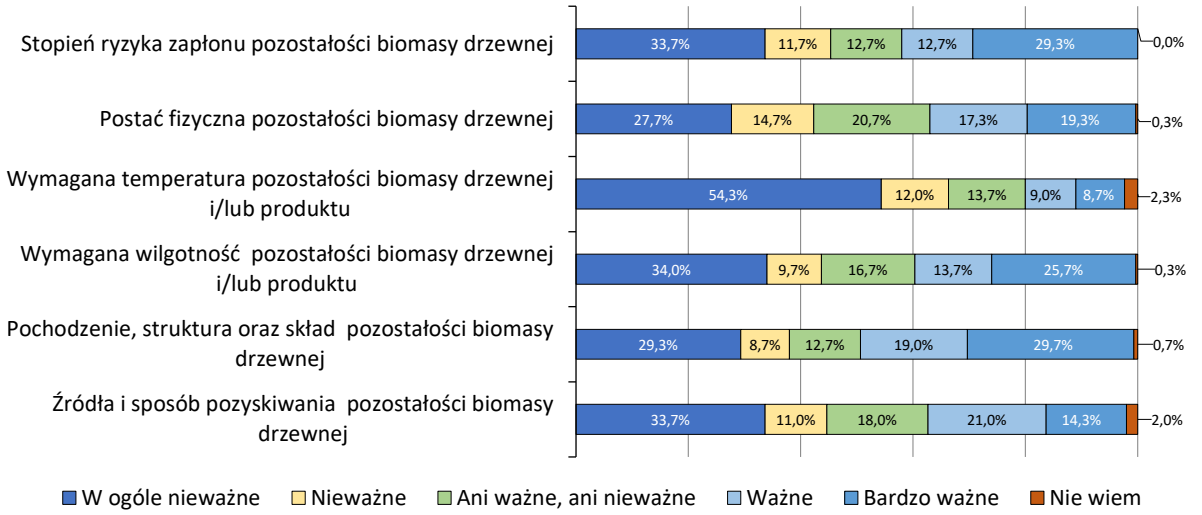
Następne zagadnienie dotyczyło identyfikacji partnerów współpracujących z firmą w procesie dostarczania biomasy drzewnej. Najczęściej są to producenci płyt drewnopochodnych (20,3%), firmy transportowe i logistyczne (13,3%) oraz firmy recyklingowe (10,3%). Wielu (58%) wskazało na kategorię „inne" – duża część respondentów (35%) powiedziała, że nie współpracuje z podmiotami zewnętrznymi (zob. rys. 7).



Rys. 7. Współpraca z podmiotami w zakresie pozostałości biomasy drzewnej

Źródło: opracowanie własne.

Kolejne zagadnienie to ocena ważności wymagań organizacji i przebiegu procesów logistycznych realizowanych w odniesieniu do wskazanej wcześniej grupy biomasy drzewnej, które najczęściej występują w firmie. Każdy czynnik był oceniany przez respondentów w skali 1-5, gdzie: 1 oznaczało w ogóle nieważne, 5 – bardzo ważne. Co ciekawe, wymagana temperatura pozostałości biomasy drzewnej była dla respondentów najmniej ważnym czynnikiem (54,3% wskazało ją jako w ogóle nieważną). Z kolei pochodzenie, struktura oraz skład pozostałości biomasy drzewnej były najważniejszym czynnikiem – 29,7% wskazało je jako bardzo ważne, a 48,7% jako co najmniej ważne (rys. 8). Istotne były również takie czynniki, jak stopień ryzyka zapłonu pozostałości biomasy drzewnej oraz wymagana wilgotność biomasy drzewnej.

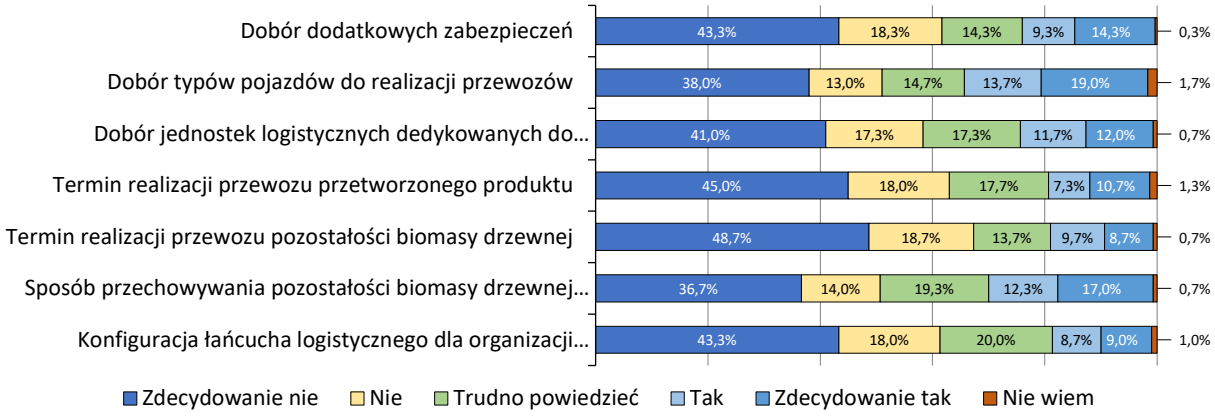


Rys. 8. Ocena ważności wymagań organizacji i przebiegu procesów logistycznych pozostałości biomasy drzewnej

Źródło: opracowanie własne.

Dalej respondenci mieli podać, czy wymienione elementy procesów logistycznych wymagały dostosowania pod kątem prac związanych z pozostałościami biomasy drzewnej. Każdy element był oceniany w skali 1 do 5, gdzie: 1 – zdecydowanie nie, 5 – zdecydowanie tak. Okazało się, że najmniejszego

dostosowania wymagał termin realizacji przewozu pozostałości biomasy drzewnej (48,7%). Z kolei największe dostosowanie potrzebne było w przypadku doboru typu pojazdów do realizacji przewozów (19%) (rys. 9).



Rys. 9. Dostosowanie elementów procesów logistycznych w zakresie prac związanych z pozostałościami biomasy drzewnej

Źródło: opracowanie własne.

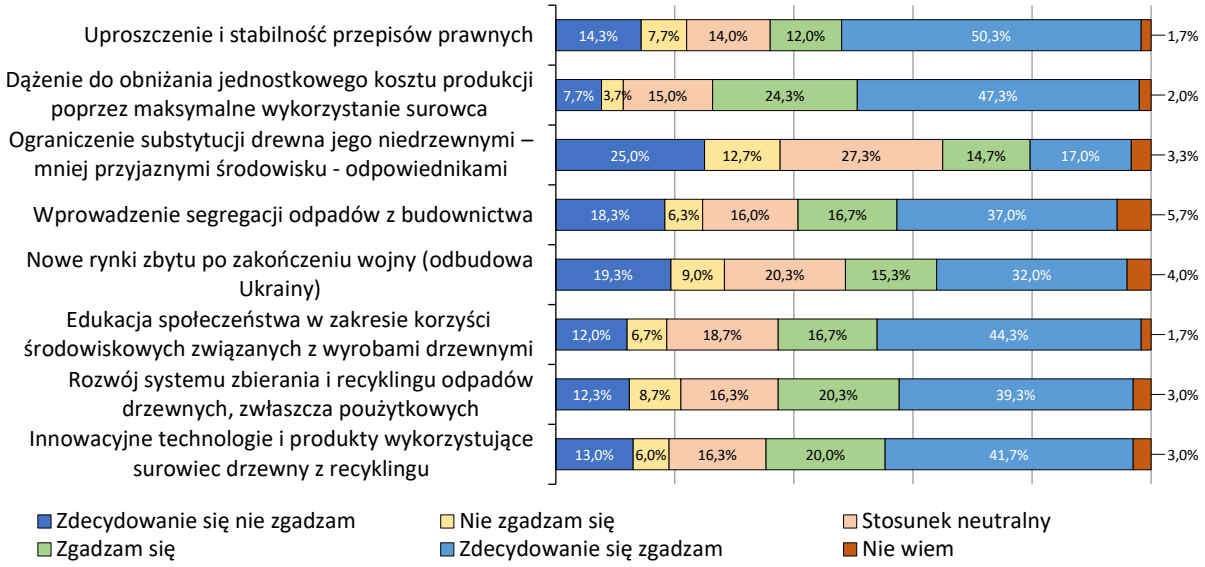
W odniesieniu do typów pojazdów respondenci zostali poproszeni o wskazanie najczęściej stosowanych środków transportu do realizacji zadań transportowych. Najwięcej zostało wskazanych w kategorii „inne" (28,7%), w której respondenci podali m.in. wózek widłowy czy hakowiec. W dalszej kolejności wykorzystywane były kontenery intermodalne (27,3%), ciągniki z przyczepą (25,3%) i furgony (23%).

W kolejnym pytaniu respondenci zostali poproszeni o wskazanie własności środków transportowych przeznaczonych do przewozu pozostałości biomasy oraz sposobu organizacji procesów transportowych. Okazało się, że 42% firm ma własną flotę pojazdów oraz zespół kierowców, 24% wynajmuje flotę i korzysta z outsourcingu usług transportowych od zewnętrznego operatora, natomiast 34% ma model mieszany, tj. częściowo korzysta z własnych środków, a częściowo z usług firm transportowych. W odniesieniu do sposobu przechowywania respondenci wskazywali plac na wolnym powietrzu (52,7%), magazyn (39,3%) i silos (15,3%).

Następnie respondenci mieli określić własność obiektów magazynowych przeznaczonych do składowania biomasy drzewnej oraz sposób organizacji procesów magazynowych. 87% firm ma własną powierzchnię magazynową i realizuje operacje magazynowe własnymi zasobami, a tylko 8% stosuje wynajem powierzchni magazynowych i outsourcing operacji magazynowych. 5% respondentów ma model mieszany.

Istotne dla procesów transportowych i magazynowych są jednostki ładunkowe, w których umieszczana jest biomasa drzewna. Relatywnie dużo (64,3%) firm nie stosuje żadnych jednostek ładunkowych lub przewozi je „luzem". Najbardziej popularne są worki (24%) i big bagi (23%). W kategorii „inne" najczęściej wymieniane były kontenery, silosy, skrzynie.

Na koniec respondenci zostali zapytani o to, jakie są szanse rozwoju łańcucha dostaw biomasy drzewnej. Każdy szansa była oceniana w skali 1 do 5, gdzie: 1 – zdecydowanie się nie zgadzam, 5 – zdecydowanie się zgadzam. Najwyżej ocenione zostały uproszczenie i stabilność przepisów prawnych (50,3% ankietowanych udzieliło odpowiedzi „zdecydowanie się zgadzam", a 62,3% respondentów wskazało „zgadzam się" i „zdecydowanie się zgadzam" – rys. 10) oraz dążenie do obniżania jednostkowego kosztu produkcji poprzez maksymalne wykorzystanie surowca (odpowiednio 47,3% i 71,7%). Najniżej zostało ocenione ograniczenie substytucji drewna jego niedrzewnymi, mniej przyjaznymi środowisku odpowiednikami (25% odpowiedzi „zdecydowanie się nie zgadzam").



Rys. 10. Szanse rozwoju łańcucha dostaw biomasy drzewnej

Źródło: opracowanie własne.

4. Dyskusja wyników badań

Badania przeprowadzone na potrzeby tego artykułu potwierdziły ustalenia przedstawiane w zagranicznej literaturze naukowej i źródłach branżowych (Lauri i in., 2014; Ruiz i in., 2013) dotyczące najczęstszego wykorzystania pozostałości biomasy drzewnej. Według Rentizelas i in. (2009) biomasa stanowi odnawialne źródło energii, które odgrywa istotną rolę w strategiach mających na celu zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych. Jednym z głównych atutów tego źródła jest jego wszechstronność, pozwalająca na generowanie różnych form energii, takich jak energia elektryczna, ciepło i biopaliwa. Co więcej, biomasa jest jednym z niewielu odnawialnych źródeł energii, które można efektywnie magazynować. To oznacza, że energię można gromadzić i wykorzystywać według potrzeb, co stanowi istotną zaletę w kontekście zmieniających się warunków dostępu do źródeł energii odnawialnej. Użycie biomasy umożliwia generowanie energii na żądanie, co wpływa na stabilność dostaw i umożliwia dostosowanie produkcji energii do zmieniającego się zapotrzebowania. Potwierdzają to też dane rynkowe – globalna produkcja biomasy drewnopochodnej wynosi około 4,6 Gt rocznie, z czego aż 60% przeznacza się na produkcję energii (Tripathi i in., 2019).

Badania umożliwiły przedstawienie ustaleń, które do tej pory nie były przedmiotem rozważań opartych na źródłach pierwotnych. Biomasa drzewna, z którą firmy mają do czynienia, powstaje w bardzo dużej części w organizacji, a tylko nieznaczna część poza nią. Jest ona wykorzystywana na potrzeby własne lub innych odbiorców. Do ich dalszego użycia potrzebne są procesy logistyczne i technologiczne (Stephen i in., 2010).

Po przetworzeniu biomasa drzewna jest magazynowana w odpowiednich jednostkach ładunkowych lub składach, gdzie może być przechowywana do momentu wykorzystania lub dostarczenia do odbiorcy. Procesy magazynowe w badaniu zostały wskazane jako te, które najczęściej występują w łańcuchu dostaw biomasy. Z nimi wiąże się też wiele wyzwań. Potwierdzają to ustalenia przedstawiane przez innych badaczy, takich jak Rentizelas i in. (2009); Malladi i Sowlati (2018); Tégla i in. (2012). Gdy biomasa jest pozyskiwana i przetwarzana w różnych lokalizacjach, to wymaga ona przewozu, który może odbywać się drogą lądową, wodną lub kolejową, w zależności od lokalizacji źródła i docelowego miejsca przetwarzania. Jeśli przemieszczenia są niewielkie i dotyczą pozostałości drewna z rolnictwa oraz leśnictwa lub pozostałości poprodukcyjnych wykorzystuje się transport polowy lub leśny. Ze względu na to, że transport stanowi duży udział w koszcie biomasy, ważne jest, aby skracać odległość między uczestnikami tego procesu (Carrasco-Gallego i in., 2012).

W przypadku procesów technologicznych kluczowa jest produkcja energii, co pokrywa się z wcześniejszym ustaleniem dotyczącym najczęstszego zastosowania pozostałości biomasy drzewnej. Ważnymi procesami są również przetwarzanie i sortowanie lub selekcja (Greene i in., 2014; Keefe i in., 2014, Mobini i in., 2011).

Ze względu na to, że łańcuch dostaw biomasy drzewnej wymaga współpracy międzyorganizacyjnej, ważne było ustalenie, z jakimi podmiotami firmy współpracują. Są to producenci płyt drewnopochodnych, firmy transportowe i logistyczne oraz firmy recyklingowe. Podmioty te są przedstawiane w literaturze, ale incydentalnie i zazwyczaj w ujęciu jakiegoś konkretnego przykładu (Hrechyn i in., 2021; Rentizelas i in., 2009; Stephen i in., 2010).

W celu efektywnej realizacji wspomnianych procesów potrzebne jest określenie wymagań dotyczących biomasy drzewnej. W literaturze można znaleźć wiele przykładów takich wymagań – są to np. temperatura (Ko i Lautala, 2018), wilgotność (Greene i in., 2014), pochodzenie (Ko i Lautala, 2018). Nie są one jednak zweryfikowane empirycznie. Przeprowadzone na potrzeby tego artykułu badania umożliwiły ocenę ważności poszczególnych wymagań organizacji i przebiegu procesów logistycznych pozostałości biomasy drzewnej.

Również dostosowanie logistyki do specyfiki biomasy drzewnej nie było do tej pory przedmiotem badań empirycznych. Dotychczasowe analizy skupiały się na wybranych elementach, takich jak środki transportu (Ruiz i in., 2013), konfiguracja łańcucha dostaw (Guo i in., 2020), sposób przechowywania (Rentizelas i in., 2009). Badania pokazały, że najmniejszego dostosowania wymaga termin realizacji przewozu pozostałości biomasy drzewnej, a największe dostosowanie potrzebne jest w przypadku doboru typu pojazdów do realizacji przewozów. Potwierdzają to pośrednio ustalenia innych badaczy, którzy twierdzą, że efektywna organizacja dostaw jest kluczowa, bo ma wpływ na końcowe rezultaty ekonomiczne dalszego wykorzystania biomasy (Sokhansanj i Hess, 2009). Ponadto nieprawidłowy wybór środków transportu może negatywnie wpłynąć na środowisko naturalne (Kot i Ślusarczyk, 2013). Sposób przechowywania pozostałości biomasy drzewnej w magazynie i dobór dodatkowych zabezpieczeń są również ważne, co znajduje odzwierciedlenie w literaturze przedmiotu (Rentizelas i in., 2009).

Przeprowadzone badania umożliwiły także ocenę szans rozwoju łańcucha dostaw biomasy drzewnej. Dla polskich przedsiębiorców najważniejsze jest uproszczenie i stabilność przepisów prawnych oraz dążenie do obniżania jednostkowego kosztu produkcji poprzez maksymalne wykorzystanie surowca (Abbas i in., 2013; Rentizelas i in., 2009; Stephen i in., 2010). Identyfikacja szans ma duże znaczenie dla dalszego rozwoju biomasy drzewnej, ponieważ umożliwia zrozumienie potrzeb, jakie mają przedsiębiorcy, aby lepiej się rozwijać.

5. Podsumowanie

Drewno jest bardzo uniwersalnym surowcem i ma wiele różnych zastosowań – od produkcji papieru, opakowań, mebli przez budownictwo aż po nośniki energii. Jego ogromną zaletą jest to, że produkty z niego powstałe mogą być ponownie wykorzystane i poddane recyklingowi po tym, jak ich pierwotna funkcja stanie się nieaktualna. Część z nich jest wykorzystywana jako biomasa. Ponadto źródłem biomasy są pozostałości drewna z rolnictwa i leśnictwa oraz pozostałości poprodukcyjne.

Gospodarka biomasy drzewnej jest ważną dziedziną, ale niewiele prowadzonych do tej pory badań ma charakter empiryczny. Jednym z najważniejszych wyzwań w zwiększeniu wykorzystania biomasy są koszty operacji logistycznych i technologii przetwarzania biomasy w użyteczne formy energii. Zarządzanie pozostałą biomasą drzewną jest nie tylko istotne z punktu widzenia ekologii, ale także stanowi ważny element strategii biznesowych firm. Badania i innowacje w tym obszarze mają potencjał w zakresie dostarczenia korzyści zarówno dla środowiska, jak i dla efektywności przedsiębiorstw zaangażowanych w gospodarkę drzewną.

Przeprowadzone badania z jednej strony potwierdziły wnioski prezentowane w międzynarodowej literaturze naukowej i źródłach branżowych, a z drugiej strony pozwoliły na zaprezentowanie wniosków, które dotychczas nie były rozważane na podstawie źródeł pierwotnych. Mają one implikacje zarówno

naukowe, jak i menedżerskie. W artykule dokonano identyfikacji rodzajów biomasy drzewnej w Polsce, ich najczęstszego zastosowania, procesów logistycznych i technologicznych, rodzajów podmiotów mających z nią do czynienia, wykorzystywanej infrastruktury, wymagań dotyczących biomasy drzewnej, dostosowania logistyki oraz szans rozwoju łańcucha dostaw biomasy drzewnej. Wyniki mogą być zatem wykorzystane w badaniach teoretycznych, jak również stosowane przez menedżerów związanych z łańcuchem dostaw biomasy drzewnej.

Wyniki przeprowadzonych badań posłużą do prowadzenia dalszych prac, przede wszystkim do opracowania modelu łańcucha dostaw biomasy drzewnej. Model ten ma pomóc przedsiębiorstwom w zmniejszeniu ich wpływu na środowisko (np. zmniejszenie ilości odpadów, liczby wykorzystywanych ciężarówek i pokonywanych odległości), jak również w poprawie ich efektywności ekonomicznej (np. optymalizacja tras transportowych, oszczędność zapasów lub przestrzeni w ciężarówkach).

Przedstawione badania mają ograniczenia. Obejmowały próbę 300 firm, która, co prawda, jest reprezentatywna i uprawnia do uogólniania uzyskanych wyników na pozostałe przedsiębiorstwa badanej populacji w Polsce, ale nie uprawnia do wyciągania wniosków odnośnie do populacji firm za granicą. Ponadto badania bazujące na kwestionariuszu ankiety cechują się ryzykiem niewłaściwej interpretacji zjawisk oraz pojęć zarówno przez respondentów, jak i przez samym badaczy (Zimniewicz, 2007).

Badania były finansowane z projektu BioLOG: autor jest wdzięczny za wsparcie Narodowego Centrum Nauki (NCN) w ramach grantu DEC-2020/39/I/HS4/03533, Słoweńskiej Narodowej Agencji Badań (ARRS) w ramach grantu N1-0223 oraz Austriackiego Funduszu Nauki (FWF) w ramach grantu I 5443-N.

Bibliografia

Abbas, D., Handler, R., Dykstra, D., Hartsough, B. i Lautala, P. (2013). Cost Analysis of Forest Biomass Supply Chain Logistics. *Journal of Forestry*, *111*(4), 271-281.

Akpan, E. I., Wetzel, B. i Friedrich, K. (2021). Eco-friendly and Sustainable Processing of Wood-based Materials. *Green Chemistry*, *23*(6), 2198-2232.

Anderson, N. i Mitchell, D. (2016). Forest Operations and Woody Biomass Logistics to Improve Efficiency, Value, and Sustainability. *Bioenergy Research*, *9*, 518-533.

Carrasco-Gallego, R., Ponce-Cueto, E. i Dekker, R. (2012). Closed-loop Supply Chains of Reusable Articles: A Typology Grounded on Case Studies. *International Journal of Production Research*, *50*(19), 5582-5596.

Dlouhá, J. i Pospíšilová, M. (2018). Education for Sustainable Development Goals in Public Debate: The Importance of Participatory Research in Reflecting and Supporting the Consultation Process in Developing a Vision for Czech Education. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 4314-4327.

Greene, W. D., Cutshall, J. B., Dukes, C. C. i Baker, S. A. (2014). Improving Woody Biomass Feedstock Logistics by Reducing Ash and Moisture Content. *BioEnergy Research*, *7*, 816-823.

Guo, X., Voogt, J., Annevelink, B., Snels, J. i Kanellopoulos, A. (2020). Optimizing Resource Utilization in Biomass Supply Chains by Creating Integrated Biomass Logistics Centers. *Energies*, *13*(22), 6153.

Hrechyn, B., Krykavskyy, Y. i Binda, J. (2021). The Development of a Model of Economic and Ecological Evaluation of Wooden Biomass Supply Chains. *Energies*, *14*(24), 8574.

Kawa, A. (2023). Reverse Supply Chain of Residual Wood Biomass. *LogForum*, *19*(2).

Kawa, A. i Pierański, B. (2023). Wood Biomass in Supply Chain – Evidence from the FGI Studies (*23rd International Scientific Conference Business Logistics in Modern Management,* October 5-6, 2023 - Osijek, Croatia).

Keefe, R., Anderson, N., Hogland, J. i Muhlenfeld, K. (2014). Woody Biomass Logistics. *Cellulosic Energy Cropping Systems*, 251-279.

Ko, S. i Lautala, P. (2018). Optimal Level of Woody Biomass Co-firing with Coal Power Plant Considering Advanced Feedstock Logistics System. *Agriculture*, *8*(6), 74.

Kot, S., Ślusarczyk, B. (2013). Aspects of Logistics in Biomass Supply for Energy Production. *Applied Mechanics and Materials*, *309*, 206-212.

Kovalyshyn, S., Kaygusuz, O. i Guney, M. S. (2019). Global Energy Demand and Woody Biomass. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, *8*(1), 1119-1126.

Lamers, P., Marchal, D., Heinimö, J. i Steierer, F. (2014). Global Woody Biomass Trade for Energy. *International Bioenergy Trade: History, Status & Outlook on Securing Sustainable Bioenergy Supply, Demand and Markets*, 41-63.

Lauri, P., Havlík, P., Kindermann, G., Forsell, N., Böttcher, H. i Obersteiner, M. (2014). Woody Biomass Energy Potential in 2050. *Energy Policy*, *66*, 19-31.

Malladi, K. T. i Sowlati, T. (2018). Biomass Logistics: A Review of Important Features, Optimization Modeling and the New Trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *94*, 587-599.

Mobini, M., Sowlati, T. i Sokhansanj, S. (2011). Forest Biomass Supply Logistics for a Power Plant Using the Discrete-event Simulation Approach. *Applied Energy*, *88*(4), 1241-1250.

Ramos, S. J. (2022). Biomass Logistics: Mythistory and Sociotechnical Imaginary in Trans-Atlantic Wood Pellet Assemblage. *Environment and Planning E: Nature and Space*, *5*(1), 318-339.

Raosoft. (2023). Sample Size Calculator. http://www.raosoft.com/samplesize.html

Rentizelas, A., Tolis, A. i Tatsiopoulos, I. P. (2009). Logistics Issues of Biomass: The Storage Problem and the Multi-biomass Supply Chain. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *13*(4), 887-894.

Ruiz, J. A., Juárez, M. C., Morales, M. P., Muñoz, P. i Mendívil, M. A. (2013). Biomass Logistics: Financial & Environmental Costs. Case Study: 2 MW Electrical Power Plants. *Biomass and Bioenergy*, *56*, 260-267.

Silvestre, B. S. i Ţîrcă, D. M. (2019). Innovations for Sustainable Development: Moving Toward a Sustainable Future. *Journal of Cleaner Production*, *208*, 325-332.

Sokhansanj, S. i Hess, J. R. (2009). Biomass Supply Logistics and Infrastructure. *Biofuels*, 1-25.

Sosa, A., Acuna, M., McDonnell, K. i Devlin, G. (2015). Controlling Moisture Content and Truck Configurations to Model and Optimise Biomass Supply Chain Logistics in Ireland. *Applied Energy*, *137*, 338-351.

Stephen, J. D., Mabee, W. E. i Saddler, J. N. (2010). Biomass Logistics as a Determinant of Second-Generation Biofuel Facility Scale, Location and Technology Selection. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *4*(5), 503-518.

Tégla, Z., Hágen, I., Holló, E. i Takácsné, G. K. (2012). Adoption of Logistic Principles in WOODY-biomass Energy Clusters. *Review of Applied Socio-Economic Research, Reaser*, *4*(2), 236-246.

Tripathi, N., Hills, C. D., Singh, R. S. i Atkinson, C. J. (2019). Biomass Waste Utilisation in Low-carbon Products: Harnessing a Major Potential Resource. *NPJ Climate and Atmospheric Science*, *2*(1), 1-10.

Velenturf, A. P. i Purnell, P. (2021). Principles for a Sustainable Circular Economy. *Sustainable Production and Consumption*, *27*, 1437-1457.

Wellmer, F. W. i Becker-Platen, J. (2002). Sustainable Development and the Exploitation of Mineral and Energy Resources: a Review. *International Journal of Earth Sciences*, *91*, 723-745.

Zimniewicz, K. (2007). *Hipotezy i ich sprawdzalność w naukach o zarządzaniu*. *Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej w Katowicach*, 379-391.

The Wood Biomass Supply Chain – Results of a Quantitative Empirical Study

Abstract

Aim: The aim of this paper is to identify the types of woody biomass occurring in Poland, their most common uses, logistical and technological processes, types of actors dealing with it, woody biomass requirements as well as adaptation of logistics and opportunities for the development of the woody biomass supply chain.

Methodology: To achieve the objective, an empirical study was used, which was carried out in Poland on a sample of 300 respondents, representing the wood industry, in particular those dealing with woody biomass.

Results: Wood is a versatile raw material with many uses. Its advantage is that it can be reused and recycled. Some is used as biomass. The logistics and technology of converting biomass to energy present significant challenges. The management of woody biomass is not only ecologically important, but also it is an important part of the efficiency of companies.

Implications and recommendations: The results of the research will be used to develop a reverse supply chain model for woody biomass. The model will assist companies in reducing their environmental impact by reducing waste, while improving economic efficiency by optimising transport routes and saving resources.

Originality/value: Wood biomass management is an important field, but little research conducted to date is empirical. The conducted research provides information on the wood biomass supply chain in Poland.

Keywords: supply chain, wood, biomass