

**Dorota Krupnik**

Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

## **Bezpieczeństwo zarządzania łańcuchem dostaw biomasy**

### **Safety security of biomass supply chain management**

**Synopsis.** Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie możliwości wykorzystania biomasy do celów energetycznych oraz analiza bezpiecznego zarządzania procesami logistycznymi w łańcuchu dostaw biomasy. Czynniki, które należy wziąć pod uwagę w bezpiecznym zarządzaniu łańcuchem dostaw biomasy, są m.in.: różnorodność biomasy (objętość, wilgotność, rozproszony charakter), odległości od źródeł pozyskania surowców, lokalizacja miejsc produkcji energii. W celu uniknięcia przemieszczania dużych mas biomasy na znaczne odległości zasadne jest tworzenie lokalnych rynków biomasy oraz systemów logistycznych minimalizujących koszty pozyskiwania, transportu i składowania biomasy. Dużą nadzieję można wiązać z certyfikowanymi systemami zapewniania jakości biomasy. Wpłyne to w znacznym stopniu na bezpieczeństwo dostaw tak różnorodnego w swoim właściwościach surowca.

**Słowa kluczowe:** proces, system, proces logistyczny, biomasa, łańcuch dostaw, zarządzanie łańcuchem dostaw

**Abstract.** The aim of this article is to present the possibilities of using biomass for energy purposes and analysis of safe management of logistics processes in the biomass supply chain. Factors that should be taken into account in the safe management of the biomass supply chain include: biomass diversity (volume, humidity, diffuse nature), distances from sources of raw materials, location of energy production sites. In order to avoid moving large biomass masses over long distances, it is reasonable to create local biomass markets and logistic systems that minimize the costs of biomass acquisition, transport and storage. A lot of hope can be associated with certified biomass quality assurance systems. This will have a significant impact on the security of supply of raw materials so diverse in its properties.

**Key words:** process, system, logistics process, biomass, supply chain, supply chain management

## **Wstęp**

Polityka energetyczna państwa wskazuje na potrzebę stosowania niskoemisyjnych źródeł energii we wszystkich dziedzinach życia. W 2011 roku rozpoczął się proces tworzenia wspólnego rynku energii w UE. W związku z tym wszedł w życie tzw. trzeci pakiet ener-

tyczny, obejmujący dyrektywy rynkowe, rozporządzenia, m.in. rozporządzenie ustanawiające Agencję ds. Współpracy Organów Regulacji Energetyki [Dyrektywa 2009/72/WE].

Jako jeden ze sposobów monitorowania realizacji polityki energetycznej Polski do 2030 roku wskazano wskaźniki monitorowania. Przewidziano 7 wskaźników, pozwalających ocenić realizację celów polityki energetycznej państwa, ujętych w art. 13 ustawy prawo energetyczne. Jeden ze wskaźników dotyczy udziału energii ze źródeł odnawialnych, w tym biomasy, w finalnym zużyciu energii [Polityka energetyczna ..., 2009, s. 28–29].

Polityka UE w dziedzinie środowiska naturalnego określona w traktacie akcesyjnym, a uwzględniona m.in. w dyrektywie 2009/28/WE dała podstawę, iż Polska zadeklarowała wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej do 15% w 2020 roku [Polityka energetyczna ..., 2009, s. 28–29, Energy Law..., 2016]. Z analizy dokumentów wynika, iż przygotowywane regulacje prawne w Polsce powinny ukierunkować rynek w taki sposób, aby można wywiązać się ze zobowiązań [Wnioski z analiz..., 2015, s. 1–17]. Brak strategii państwa i niestabilne przepisy w kolejnych latach, mimo zmian w legislacji [Ustawa o odnawialnych..., 2015] mogą temu zagrozić. Z danych statystycznych [Energia ze źródeł..., 2017] wynika, iż udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii ogółem w 2016 roku był na poziomie 11%.

Mając na uwadze systemowe podejście do wykorzystania biomasy, Urząd Regulacji Energetyki (URE) przeprowadził prace nad podstawami funkcjonowania systemu uwierzytelniania biomasy, czyli Krajowym Systemem Uwierzytelniania Biomasy.

Celem URE w tym zakresie stało się [The National..., 2013]:

- usprawnienie i uproszczenie procesu wydawania świadectw pochodzenia – korzystania z mechanizmu wsparcia;
- uwiarygodnienie pochodzenia i jakości biomasy;
- wyeliminowanie potencjalnych nieprawidłowości na rynku biomasy.

W literaturze z 2014 roku czytamy o powszechnym stosowaniu w Polsce technologii współspalania biomasy z węglem [Szyszlak-Bargłowicz i in., 2014, s. 354–358]. Współspalanie biomasy z węglem ma swoje ograniczenia i stosowanie większych ilości biomasy wymaga uprzedniej modernizacji istniejących kotłów lub nowych technologii. Możliwe byłoby wykorzystanie biomasy w lokalnym ciepłownictwie, jednak bez systemowego wsparcia dla tego typu instytucji jest to utrudnione. Rynek oferuje dla elektrowni budowę nowych lub modernizację już istniejących mocy wytwórczych wykorzystujących biomasę, np. wysokociśnieniowych oraz wysokotemperaturowych. Bardzo ciekawą koncepcją jest np. system BioPower Recyc z elastycznym kotłem CFB dla szerokiego zakresu paliw: biomasa łącznie z odpadami (RDF) i osadami z oczyszczalni ścieków. Wiele nowych projektów jest możliwe do realizacji z Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko, NFOŚiGW w Warszawie oraz regionalnych programów operacyjnych. Przykładami takich projektów jest nowoczesna ciepłownia w Lęborku lub Elektrociepłownia Kalisz-Piwonice.

Wykorzystanie biomasy do celów np. energetycznych wpływa korzystnie na:

- zagospodarowanie odpadów,
- wyższą redukcję emisji CO<sub>2</sub>,
- wyższą efektywność energetyczną.

Energia pozyskiwana ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2017 roku pochodziła w przeważającym stopniu z biopaliw stałych (67,9%), tj. 260 052 TJ [Energia ze źródeł..., 2017].

Prognoza pozyskania biomasy leśnej w 2021 roku z lasów państwowych szacuje się na 36,9 mln m<sup>3</sup>, z lasów prywatnych ok. 4,9 mln m<sup>3</sup> netto [Mirowski i in. 2018, s. 27]. Roczna produkcja słomy w polskich gospodarstwach rolnych wynosi ponad 34 Mg. Od kilku lat zwiększają się nadwyżki słomy i obecnie szacuje się je na 10–11 Mg ton rocznie [Hryniewicz i Grzybek 2017]. Jest to ogromne wyzwanie logistyczne w łańcuchu dostaw tego surowca.

## **Cel i metodyka badań**

Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie możliwości wykorzystania biomasy do celów energetycznych oraz analiza bezpiecznego zarządzania procesami logistycznymi w łańcuchu dostaw biomasy. Problem badawczy wiąże się z zasadniczym pytaniem: w jakim stopniu dotychczasowe potrzeby i możliwości pozyskiwania odnawialnych źródeł energii w Polsce mogą wpłynąć na bezpieczeństwo zarządzania łańcuchem dostaw biomasy? Autorka poszukuje odpowiedzi na pytania dotyczące zarządzania i doskonalenia łańcuchów dostaw biomasy rolnej i leśnej w odniesieniu do możliwości wykorzystywania zasobów odnawialnych.

W badaniach zastosowano teoretyczne i empiryczne metody badawcze. Z teoretycznego punktu widzenia, do osiągnięcia celu i rozwiązania problemów badawczych posłużono się metodą studiów literatury polskiej i zagranicznej, analizą opisową oraz analizą porównawczą w celu przetwarzania danych. Metody teoretyczne pozwoliły na analityczne zbadanie, uporządkowanie i opisanie materiału badawczego. W dalszej części zastosowano metody empiryczne w postaci obserwacji naukowej w celu uzyskania informacji o badanych faktach, zjawiskach i elementach składowych bezpiecznego zarządzania procesami logistycznymi w łańcuchu dostaw biomasy.

Do prezentacji wyników badań wykorzystano metody: opisową, tabelaryczną i graficzną.

## **Wyniki badań**

### **Biomasa jako źródło energii**

W związku z koniecznością realizacji założeń dyrektywy 2009/28/WE, udział energii ze źródeł odnawialnych w finalnym zużyciu energii systematycznie wzrasta. W tabeli 1 przedstawiono udział energii ze źródeł odnawialnych w Polsce. Progresja w latach 2010–2017 oraz planowanie strategiczne na kolejne lata dają podstawę na osiągnięcie celu 15% w 2020 roku. Istotnym elementem w realizacji polityki rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE) było przyjęcie przez Radę Ministrów w dniu 7 grudnia 2010 roku Krajowego planu działań (KPD) w zakresie energii ze źródeł odnawialnych. Dokument ten przedstawił działania dochodzenia do 15% udziału OZE w wytwarzaniu energii finalnej w Polsce do 2020 roku z utrzymaniem progresji w kolejnych latach. Takie same założenia znajdziemy w Polityce energetycznej Polski do 2030 roku.

Tabela 1. Udział energii ze źródeł odnawialnych w finalnym zużyciu energii w wybranych latach w Polsce (%)

Table 1. Share of energy from renewable sources in final energy consumption in selected years in Poland (%)

Rok	2007 wartość bazowa	2010	2012	2014	2020	2030
Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto	7,7	9,4	11,04	11,45	15	powyżej

Źródło: opracowanie na podstawie: [Polityka energetyczna..., 2015; GUS 2017].

Z biomasy jako surowca pozyskuje się energię pierwotną. Jest to energia zawarta w nośnikach pozyskiwanych bezpośrednio z zasobów naturalnych odnawialnych i nieodnawialnych. Przez pozyskanie należy rozumieć ilość energii uzyskaną z naturalnych zasobów [GUS 2017]. W energetyce jako biomasę traktuje się wszystkie rodzaje substancji organicznych pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego nadające się do spalania. Wyróżnikiem jest możliwość zaliczenia konkretnego biopaliwa do tzw. zielonej energii o zerowej emisji CO<sub>2</sub> [Szyszlak-Bargłowicz i in., 2014, s. 356].

W polskim prawie ustawa z 2006 roku o biopaliwach i biokomponentach ciekłych [Ustawa..., 2006] definiuje biomasę jako stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego, lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, a w szczególności surowce rolnicze.

Podstawowymi cechami biomasy są [Ściążko i in. 2007, s. 141–160]:

- niska wartość opałowa – waha się w granicach: 6 MJ/kg (odpady komunalne), 6–16 MJ/kg (zrębki drzewne, słoma), 18 MJ/kg (pelety),
- wysoka zawartość wilgoci w surowej biomacie (45–60%),
- wysoka zawartość części lotnych (2,5-krotnie wyższa niż w węglu),
- mała zawartość popiołu w biomacie drzewnej <1%,
- niska zawartość azotu i siarki i duża zawartość związków alkalicznych oraz szczególnie w słomie chloru.

Według dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady z 23 kwietnia 2009 roku [Dyrektywa..., 2009/28/WE] dotyczącej wspierania produkcji energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych, „biomasa oznacza ulegającą biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych działów przemysłu, w tym rybactwa i akwakultury, a także ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich”. Polska ze względu na warunki klimatyczne może uprawiać trzy grupy roślin na cele energetyczne: drzewa i krzewy – wierzbę, trawy (np. miskant), byliny (np. ślázowiec) [Mirowski i in., 2018, s. 25]. W przypadku biomasy na cele energetyczne największe znaczenie w perspektywie 2020 roku mogą mieć uprawy energetyczne, m.in. ze względu na podejmowane próby wykluczenia biomasy drzewnej z definicji odnawialnego źródła energii, który wpłynął do Trybunału Sprawiedliwości UE.

Energia biomasy stanowi ok. 15% światowego zużycia energii, przy czym w krajach rozwiniętych udział ten jest większy i wynosi aż 38%. Przyjmuje się, że w procesie spalania biomasy bilans emisji CO<sub>2</sub> jest zerowy, ponieważ tyle się go emituje do atmosfery, ile rośliny pobierają w procesie fotosyntezy, a przez to nie powodującym wzrostu CO<sub>2</sub> w atmosferze [Postrzednik 2014, s. 573–578]. Zupełnie inne stanowisko w tej sprawie mają np. naukowcy z Chatham House, the Royal Institute of International Affairs, którzy w artykule „Woody Biomass for Power and Heat: Impacts on the Global Climate” przedstawiają, iż wycinanie drzew dla opału powoduje znacznie większą emisję CO<sub>2</sub> netto w wyniku spalania tego drzewa w stosunku do emisji CO<sub>2</sub> z tej samej ilości energii z gazu, a nawet z węgla.

Wskaźniki masowe pozyskania suchej biomasy w Polsce kształtują się następująco [Gołębiowska 2013, s. 22–23]:

- tereny leśne ok. 3–5Mg/ha/rok,
- plantacje roślin energetycznych ok. 15–30 Mg/ha/rok.

Najistotniejszym składnikiem większości paliw stałych jest substancja palna, zbudowana z: C, H, O, N, S oraz tzw. balast, na który składają się: substancja mineralna (popiół) oraz wilgoć, której ilość (zawartość) może zmieniać się w zależności od czynników atmosferycznych. Wśród wymienionych składników paliwa najistotniejsza jest substancja palna mB (będąca w dominującej części substancją organiczną).

W przypadku wykorzystania biomasy pochodzenia nieleśnego (agro), która może być spalana w jednostkach współspalania biomasy i paliw konwencjonalnych o mocy przekraczającej 5 MW lub w układach hybrydowych i jednostkach biomasowych o mocy ponad 20 MW, należy udowodnić, że:

- pochodzi ona z upraw energetycznych lub,
- stanowi odpad lub pozostałość z produkcji rolnej, lub z przemysłu przetwarzającego produkty z produkcji rolnej lub,
- stanowi inny rodzaj odpadu ulegającego biodegradacji z wyłączeniem odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzającego jej produkty.

Rynek biomasy w Polsce ma tendencje rozwijające się. W najbliższych latach prawdopodobny jest wzrost zapotrzebowania na biomasę w energetyce zawodowej i małej energetyce. Według szacunków Polska wykorzystuje jedynie ok. 7 % swojego potencjału, jeśli

Tabela 2. Zasoby energii pierwotnej biomasy w Polsce z uwzględnieniem importu (ktoe)

Table 2. Energy resources of biomass in Poland including imports (ktoe)

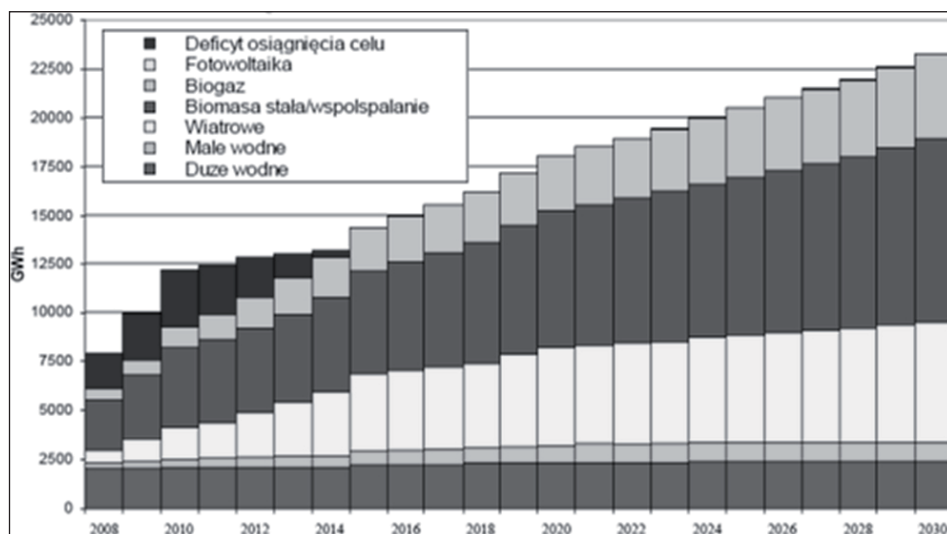
Rodzaj biomasy	Całkowite 2015	Import 2015	Całkowite 2020	Import 2020
Produkty rolnicze	2 517	241	2 902	389
Odpady produkcji rolnej	2 071	–	4 411	–
Produkty leśne	4 122	–	4 482	–
Odpady leśne	2 080	18,3	2 292	26,9
biodopady	1 031		1 391	–
Całkowite zasoby biomasy	12 079,0		15 893,4	

Źródło: [Krajowa mapa..., 2010; Krupnik i Mitkow 2017].

chodzi o biomasę wobec średniej 20% w całej UE. W tabeli 2 zostały zestawione najnowsze dane dotyczące zasobów pierwotnej biomasy w Polsce z perspektywą do 2020 roku.

Polska dysponuje potencjałem biomasy ogółem, kształtującym się na poziomie 12 tys. TJ rocznie, który może być wykorzystany do celów energetycznych bez uszczerbku dla produkcji żywności i gospodarki leśnej.

Na rysunku 1 zostały przedstawione tendencje rozwoju odnawialnych źródeł energii z uwzględnieniem biomasy stałej. Prognozuje się, iż zapotrzebowanie na biomasę będzie systematycznie rosło.



Rysunek 1. Potencjał OZE w Polsce z uwzględnieniem biomasy

Figure. 1. Potential of renewable energy sources in Poland including biomass

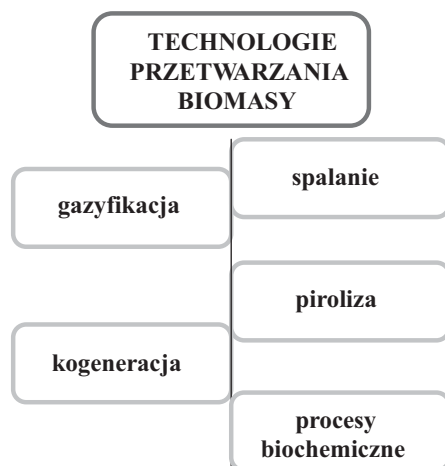
Źródło: [Bocian 2012, s. 9].

Ze względu na zainteresowanie wykorzystaniem biomasy do celów energetycznych istotna jest jej jakość. Urząd Regulacji Energii podejmuje działania w celu weryfikacji biomasy leśnej i rolniczej poprzez kontrolę pochodzenia dostaw, opierając się na wdrażanych w przedsiębiorstwach systemach zapewnienia jakości według normy PN-EN 15234-1:2011.

### Zarządzanie łańcuchem dostaw biomasy

Biomasa może być używana na cele energetyczne w procesach bezpośredniego spalania lub współspalania biopaliw stałych (np. drewno, słoma, osady ściekowe), przetwarzana na paliwa ciekłe (np. estry oleju rzepakowego, alkohol) lub gazowana (np. biogaz rolniczy, biogaz z oczyszczalni ścieków, gaz wysypiskowy). Konwersja biomasy na nośniki energii może odbywać się metodami fizycznymi, chemicznymi, biochemicznymi.

W zależności od tego, czy głównym produktem tego procesu jest gaz, paliwo płynne, czy paliwo stałe, mówimy odpowiednio o: spalaniu, współspalaniu zgazowaniu, pirolizie lub o procesach biochemicznych (rys. 2).



Rysunek 2. Zestawienie technologii przetwarzania i wykorzystania biomasy  
Figure 2. List of biomass processing and utilization technologies

Źródło: opracowanie na podstawie: [Polityka energetyczna..., 2015].

Dla potrzeb klientów indywidualnych i małych instalacji grzewczych biomasa może być przetwarzana do postaci brykietów lub peletów. Brykiety z reguły nie zawierają żadnych substancji wiążących. Rośliny te rosną szybko i dają plony nawet przez 30 lat. Szacuje się, że z każdego ha można uzyskać od 25 do 45 t zrębków. Przed prasowaniem zrębki poddawane są suszeniu do zawartości wilgoci ok. 15% [Szyszlak-Bargłowicz i in. 2014, s. 356].

Odpady drzewne prasowane są w ścisłe, niewielkie rolki, niezawierające żadnych dodatków ze względu na swe naturalne właściwości. Innym źródłem biomasy mogą być szybkorosnące topole lub wikliny. Pod względem energetycznym 2 t biomasy równoważne są od 1 do 1,5 t węgla kamiennego.

Stosowanie biomasy do celów energetycznych umożliwia spełnienie ostrych norm ochrony środowiska, szczególnie w zakresie emisji CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, pyłów, dioksyn, chloru, metali ciężkich. Zgodnie z przepisami związanymi z ochroną środowiska mieszanka węgla z biomasą jest traktowana jak paliwo ekologiczne. Zastosowanie mieszanek węglowo-biomasy ogranicza emisję CO<sub>2</sub> do atmosfery. Bilans emisji jest zerowy, ponieważ podczas spalania do atmosfery oddawane jest tyle CO<sub>2</sub>, ile wcześniej rośliny pobrały z otoczenia. Ze względu na niską zawartość azotu w biomasie ograniczona jest emisja NO<sub>x</sub> do atmosfery w porównaniu ze spalaniem węgla [Szyszlak-Bargłowicz i in., 2014, s. 356].

Podstawowe sposoby wykorzystania biomasy w instalacjach energetycznych, realizowane są poprzez jej spalanie (jako paliwa podstawowego) lub współspalanie (z innym paliwem alternatywnym). Z danych z 2013 roku wynika, iż udział technologii współ-

spalania lub spalania biomasy w elektrowniach, elektrociepłowniach węglowych jest największy ze wszystkich technologii OZE i wynosi ok. 40%, w całkowitej sprzedaży energii ze źródeł odnawialnych [Gołębiowska 2013]. Cały czas prowadzi się badania nad nowymi i efektywniejszymi rozwiązaniami technologicznymi, które zastępują współspalanie, m.in. wspomniany wcześniej Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko, oś priorytetowa I Zmniejszenie emisyjności gospodarki.

Jaki jest cel logistyki ze względu na specyficzne wymagania biomasy jako surowca? Efektem finalnym działania procesów logistycznych jest zapewnienie stabilnej bazy surowcowej podmiotom zajmującym się wywarzeniem energii z biomasy. W wielu przypadkach pozyskanie biomasy jest utrudnione ze względu na jej rozproszony charakter. Z tych względów wymaga dużych nakładów na zbiór, transport, magazynowanie i przetwarzanie. Dlatego tak ważny jest sprawny system logistyczny wpływający na ograniczenie kosztów transportu i dalszego przetworzenia. Czynnikiem, które należy uwzględnić w systemie logistycznym, są związane m.in. z [Osiak i Dwórznik 2016, s. 63]:

- rodzajem biomasy,
- cechami fizyczno-chemicznymi i mechanicznymi biomasy,
- dostępnością surowca,
- liczbą dostawców danego typu biomasy,
- możliwościami technicznymi transportu,
- możliwościami magazynowania,
- możliwościami obróbki wstępnej przed procesem konwersji,
- uwarunkowaniami ekonomicznymi, prawnymi, ochroną środowiska itp.
- lokalizacją miejsc produkcji energii.

W związku z prowadzonymi przez URE pracami nad Krajowym Systemem Uwierzytelniania Biomasy (KSUB) istotne stało się wypracowanie założeń będących podstawą do opracowania procedur jakościowych i kontroli pochodzenia dostaw biomasy. Na rysunku 3, w sposób ideowy, przedstawiono schemat systemu uwierzytelniania dla biomasy nieprzetworzonej i przetworzonej w całym łańcuchu dostaw.

Wykorzystanie biomasy wymaga podjęcia działań w całym łańcuchu dostaw obejmującego: pozyskanie surowca, produkcję, dystrybucję i wykorzystanie biomasy, w tym transport i magazynowanie. Przyjmując jako kryterium źródło do produkcji energii w technologii energii odnawialnej, wyróżniamy dwie grupy zarządzania w logistyce [Zarządzanie logistyczne..., 2014, s.13]:

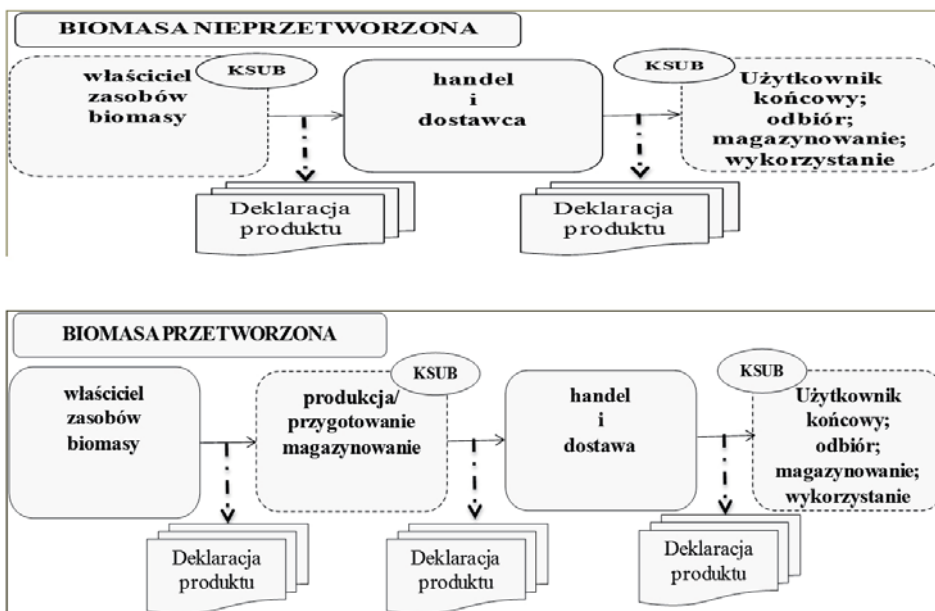
- zarządzanie kompletnym łańcuchem dostaw (CSCM) z biomasą stałą i płynną jako źródłem energii,
- zarządzanie częściowym łańcuchem dostaw (PSCM) z energią słoneczną, wiatrem, geotermą, hydroenergią itd.

W tabeli 3 zostały zestawione elementy łańcucha dostaw obu grup.

Kompletny łańcuch dostaw (CSCM) obejmuje proces zaopatrzenia, czyli dostawy surowców i materiałów do produkcji energii i jej utrzymania, proces produkcji energii oraz proces dystrybucji energii. Z punktu widzenia procesów logistycznych ważne jest, aby surowiec był dostarczany w sposób ciągły. Z tego też względu zarządzanie odnosi się do wszystkich procesów i podmiotów łańcucha, które powinny być powiązane ze sobą.

Celem zarządzania łańcuchem dostaw jest zwiększenie wydajności przy równoczesnej redukcji kosztów magazynowych i operacyjnych oraz dostosowania produkcji





Rysunek 3. Schemat systemu uwierzytelniania biomasy w łańcuchu dostaw

Figure 3. Scheme of the biomass authentication system in the supply chain

Źródło: opracowanie na podstawie: [URE 2013].

Tabela 3. Zestawienie elementów łańcucha dostaw w technologii OZE

Table 3. List of elements of the supply chain in the technology of renewable energy sources

Etapy łańcucha dostaw	CSCM	PSCM
Zaopatrzenie	tak	ograniczona
Produkcja	tak	ograniczona
Dystrybucja	tak	ograniczona
Źródło energii	biomasa	słońce, wiatr, geoterma, inne

Źródło: opracowanie na podstawie: [Zarządzanie..., 2014, s.13; Krupnik 2016].

energii do potrzeb klientów. Zarządzanie obejmuje cztery główne etapy [Węclaw-Solny 2012, s. 26]:

- dostawy (zarządzanie dostawami surowców, relacje z dostawcami, bazy dostawców),
- operacje (zarządzanie zapotrzebowaniem, zapasami, proces produkcji),
- logistyka (projektowanie sieci dostaw/dystrybucji, zarządzanie relacjami z klientami),
- integracja (zarządzanie ryzykiem, pomiarami, wydajnością, ochroną środowiska).

Mając na względzie kierunki rozwoju energetyki, w której zawarto promowanie energii ze źródeł odnawialnych, w tym biomasy, coraz większą uwagę zwraca się na systemy zapewnienia jakości biomasy. Polega to na wspieraniu procesu wdrażania norm jakości, które można ocenić na podstawie konkretnych wymagań, uwzględnionych w systemach certyfikacji. Niezależna weryfikacja powinna objąć cały łańcuch dostaw od producenta

biomasy do dystrybutora końcowego. W każdym z nich uwzględnia się parametry jakościowe i określa krytyczne punkty kontrolne (KPK). Są to miejsca w procesie lub między poszczególnymi procesami, podczas których można ocenić poszczególne właściwości i najskuteczniej wdrożyć działania na rzecz poprawy jakości. Uwzględniane są w całym łańcuchu dostaw:

- przygotowanie pola,
- sadzenie/sianie,
- uprawy agrotechniczne,
- zbiór (pozyskiwanie z pola/lasu),
- przeładunek i transportu do miejsca, gdzie można zastosować transport drogowy,
- przechowywanie (sezonowa dostępność) – punkty składowania w gospodarstwach rolnym, w lesie, na wydzielonych miejscach lub na terenie obiektów energetycznych,
- przetwarzanie biomasy w celu poprawy jego efektywności obsługi i gęstości do transportu,

Tabela. 4. Przykładowe zestawienie etapów procesu peletyzacji  
Table 4. Example combination of stages of the pelletization proces

Etapy procesu	Czynniki wpływające na jakość surowca, działania i ustawienia urządzeń		Krytyczne punkty kontroli
I etap na polu			
Zbieranie słomy	kombajn	zanieczyszczenia	podczas zbioru
Belowanie	balociarka	trwałość balotów, wilgotność	po sprasowaniu
Magazynowanie posortowanej słomy na polu (magazyn główny)	warunki przechowywania	wilgotność, gęstość energetyczna	podczas sortowania
Transport do zakładu	środek transportu	Wilgotność, utrata surowca	podczas załadunku
II etap w przedsiębiorstwie			
Odbiór surowca	zanieczyszczenia, wilgotność		dostawa surowca
Przechowywanie w miejscu produkcji	warunki przechowywania	zanieczyszczenia, wilgotność	przed obróbką
Obróbka: mieszanie i rozdrabnianie	sieczkarka, dobór surowca	trwałość, gęstość, wytrzymałość	w trakcie mieszania
Suszenie	suszarka (temperatura i czas)	wilgotność, trwałość, gęstość, wytrzymałość	–
Mielenie	młyn i sita	jednakowy rozmiar surowca	po mieleniu
Kondycjonowanie	kondycjoner	wydajność prasy, wytrzymałość	po kondycjonowaniu
Paletyzacja	rolki i matryce	wytrzymałość, wydajność	w trakcie paletyzacji
Chłodzenie	chłodnia	–	podczas chłodzenia
Przesiewanie	sita	ilość drobnej frakcji	po przesianiu
Przechowywanie	warunki przechowywania	temperatura, wilgotność	podczas przechowywania
Załadunek	środki transportu	zanieczyszczenia, ilość drobnej frakcji	podczas załadunku

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Grecka 2013].

- transport i wykorzystanie paliwa w obiegu energetycznym.

Szczegółowe zestawienie etapów procesu bezpiecznego zarządzania łańcuchem dostaw biomasy od etapu pola, poprzez produkcję pelet, aż do użytkownika został przedstawiony na przykładzie paletyzacji w tabeli 4. Na poszczególnych etapach zostały uwzględnione czynniki wpływające na właściwości końcowego wyrobu na dwóch etapach – na polu i przedsiębiorstwie produkcyjnym. Etap pierwszy poprzedzony jest podpisaniem umowy z rolnikami przed okresem żniw.

Przetwarzanie biomasy ma na celu poprawę jej efektywności poprzez zwiększenie gęstości w procesach belowania, brykietowania czy peletowania oraz poprawę jakości paliwa. Większość rodzajów biomasy charakteryzuje się sezonowością, rozproszeniem, dlatego wymaga składowania, w celu zapewnienia ciągłości dostaw. Procesy magazynowania powinny zapewnić sprawny rozładunek oraz bezpieczeństwo przechowywania biomasy w warunkach nadzorowanych.

## **Podsumowanie i wnioski**

Dokonując analizy literatury w obszarze zastosowania biomasy do celów energetycznych w postaci peletyzacji, należy stwierdzić, iż programy wykorzystania odnawialnych źródeł energii, nie zawsze opierają na jednorodnych i spójnych danych.

Czynnikami, które należy wziąć pod uwagę w bezpiecznym zarządzaniu łańcuchem dostaw biomasy, są m.in.:

- różnorodność biomasy (objętość, wilgotność, rozproszony charakter),
- odległości od źródeł pozyskania surowców,
- lokalizacja miejsc produkcji energii.

Biomasa jest w Polsce perspektywnym źródłem zielonej energii. Konieczne jest jednak systemowe wsparcie i podejście, które pozwoli zbudować lokalne łańcuchy logistyczne obejmujące producentów i odbiorców. Celem zarządzania łańcuchem dostaw jest zwiększenie wydajności przy równoczesnej redukcji kosztów magazynowych i operacyjnych oraz dostosowania produkcji energii do potrzeb klientów. Bezpieczne zarządzanie powinno uwzględniać:

- dostawy (zarządzanie dostawami surowców, zapasami, relacje z dostawcami, bazy dostawców),
- sterowanie operacyjne (zarządzanie relacjami z klientami, zarządzanie produkcją, projektowanie sieci dostaw/dystrybucji),
- integrację (zarządzanie strategiczne, infrastrukturą, ryzykiem, pomiarami, wydajnością, ochroną środowiska).

Rozważając zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa zarządzania łańcuchem dostaw biomasy z punktu widzenia logistyki, nasuwają się następujące wnioski:

- należy dążyć do stworzenia optymalnych modeli organizacyjnych i logistycznych dla zapewnienia stabilnych dostaw biomasy i zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich;
- w celu uniknięcia przemieszczania dużych mas biomasy na znaczne odległości, zasadne jest tworzenie lokalnych rynków biomasy oraz systemów logistycznych minimalizujących koszty pozyskiwania, transportu i składowania biomasy;

- wdrażanie i certyfikowanie systemów zapewniania jakości biomasy może wpłynąć w znacznym stopniu na bezpieczeństwo dostaw tak różnorodnego w swoim właściwościach surowca;
- dążenie do zwiększenia udziału biomasy w bilansie produkcji energii elektrycznej w kraju, ze względu na wysokie koszty inwestycji wymaga stosowania odpowiednich systemów wsparcia, będących gwarancją ich systematycznego rozwoju.

## Literatura

- Bocian J., 2012: Analiza popytu na biomasę leśną w perspektywie roku 2020, materiały z konferencji „Biomasa leśna”, Łągow.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dz. Urz. UE L 140 z 05.06.2009).
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/72/WE z dnia 13 lipca 2009 r. dotycząca wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej i uchylająca dyrektywę 2003/54/WE (Dz. Urz. UE. L. 211 z 14.08.2009).
- Energy Law, Acts. U. of 2016. Item. 1165.
- Gołębiowska U. (red.), 2013: OZE. Odnawialne źródła energii. Materiał wspierający realizację programu „Odnawialne źródła energii” dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych, Koszalin, [źródło elektroniczne] [http://www.praktycznyprogram.ekspert.sitr.pl/produkty/materiał\\_wspomagający.pdf](http://www.praktycznyprogram.ekspert.sitr.pl/produkty/materiał_wspomagający.pdf) [dostęp: 04.05.2019].
- GUS, 2015: Energia ze źródeł odnawialnych w 2014 r., Warszawa.
- GUS, 2017: Energia ze źródeł odnawialnych w 2017 r., Warszawa.
- Grecka K., 2013: Wdrażanie systemu zapewnienia jakości wg normy PN-EN 15234 na przykładzie OPEC-BIO Sp. z o.o., Bałtycka Agencja Poszanowania Energii, [źródło elektroniczne] <https://www.slideserve.com/vivian/solidstandards> [dostęp: 04.05.2019].
- Hryniewicz M., Grzybek A., 2017: Nadwyżka słomy dostępnej do wykorzystania na potrzeby energetyczne w 2016 r. Problemy Inżynierii Rolniczej/Problems of Agricultural Engineering 3(97), 15–31.
- Krajowa mapa drogowa odnawialnych źródeł energii, 2010, Polska Izba Gospodarcza Energii Odnawialnej, REPAP 2020, Intelligent Energy Europe 2010.
- Krupnik D., 2016: Zarządzanie kompletnym łańcuchem dostaw biomasy do celów energetycznych w aspekcie bezpieczeństwa ekologicznego, [w:] E. Staniewska, Sz. Mitkow (red.), Doskonalenie procesów produkcyjnych i logistycznych w systemie zarządzania organizacją, Politechnika Częstochowska, Monografia 59, 117–134.
- Krupnik D., Mitkow Sz., 2017: Select issues for chain management deklivery biomass, Systemy Logistyczne Wojsk 47, 135–150.
- Mirowski T., Mokrzycki E., Uliasz-Bocheńczyk A., 2018: Energetyczne wykorzystanie biomasy, IGSMiE PAN, Kraków.
- The National Authentication System Biomass Systems Support Department, Energy Regulatory Office, 2013, 2.
- Osiak J., Dwórzniak M., System magazynowania, dystrybucji i sprzedaży biomasy. Publikacja współfinansowana ze środków UE w ramach EFS, Towarzystwo Amicus, [źródło elektroniczne] [https://www.towarzystwoamicus.pl/images/publikacje/System\\_magazynowania\\_dystrybucji\\_i\\_sprzedazy\\_biomasy.pdf](https://www.towarzystwoamicus.pl/images/publikacje/System_magazynowania_dystrybucji_i_sprzedazy_biomasy.pdf) [dostęp: 04.05.2019].

- Polityka energetyczna Polski do 2050 roku, 2015: Ministerstwo Gospodarki. Wersja 05, Ocena realizacji Polityki energetycznej Polski do 2030 roku, Załącznik 1, Warszawa, 1–57.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r., MG, Warszawa 2009.
- Postrzednik S., 2014: Wartość opałowa jako parametr przydatności energetycznej biomasy, *Energetyka* 10, 573–578.
- Potencjał i wykorzystanie biomasy w Polsce, energetyka a środowisko, Projekt kół naukowych PW i SGGW, 2011.
- Szyszlak-Bargłowicz J., Zajac G., Słowik T., 2014: Łańcuch dostaw biomasy na cele energetyczne, *Logistyka* 6, 354–358 [CD].
- Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M., 2007: Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce. Wydawnictwo IChPW i Politechniki Śląskiej, Zabrze – Gliwice.
- URE, 2013: Krajowy System Uwierzytelniania Biomasy, Departament Systemów Wsparcia, Warszawa.
- Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biopaliwach i biokomponentach ciekłych (Dz.U. 2016, poz. 266, 1165).
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. 2019 r. poz. 42, 60, 730).
- Węclaw-Solny L., 2012: Ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> w energetyce, *Ecomanager* 5, 26.
- Wnioski z analiz prognostycznych na potrzeby Polityki energetycznej Polski do 2050 roku, załącznik 2 do Polityki energetycznej Polski do 2050 roku, Projekt – wersja 0.2, MG, Warszawa, 1–17.
- Zarządzanie logistyczne w sektorze energii odnawialnej, e-Kurs, Elompres LdV Transfer of Innovation, Lifelong Learning, iSpring Suite 8.1, [źródło elektroniczne] bsw.edu.pl [dostęp: 04.05.2019].

Adres do korespondencji:  
**dr inż. Dorota Krupnik**  
(<https://orcid.org/0000-0002-4735-6245>)  
Wojskowa Akademia Techniczna  
Wydział Logistyki  
ul. gen. J. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa  
e-mail: dorota.krupnik@wat.edu.pl