

POZIOM OPTIMALIZACJI PRZESTRZENI WYPEŁNIENIA POJAZDÓW TRANSPORTOWYCH W LOGISTYCE JAKO POCHODNA WYMIARÓW SORTYMENTÓW DRZEWNYCH

Władysław Kusiak^{1✉}, Marta Molińska-Glura², Elżbieta Sarzyńska³, Leszek Wanat⁴

¹Katedra Inżynierii Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

²Katedra Ekonomiki i Techniki Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

³Nadleśnictwo Czarniejewo, Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe
Głożyna 5, 62-250 Czarniejewo

⁴Katedra Nauk Społecznych, Akademia Leona Koźmińskiego w Warszawie,
ul. Jagiellońska 57, 03-301 Warszawa

ABSTRAKT

W pracy podjęto próbę odpowiedzi na pytanie o potencjalną zdolność do optymalizacji przestrzeni wypełnienia pojazdów transportowych, którą weryfikowano w odniesieniu do faktycznych wymiarów przewożonych sortymentów drzewnych. Problem ten analizowano na tle najważniejszych uwarunkowań w procesie logistycznym dla transportu drewna, odnosząc się przy tym do opinii przedsiębiorców realizujących usługi transportowe dla leśnictwa w wybranych regionach Polski. Badania przeprowadzono metodą sondażu diagnostycznego, stosując technikę indywidualnego wywiadu pogłębionego (IDI). Odpowiedzi respondentów poddano weryfikacji statystycznej. Uzyskane wyniki badań zestawiono i przedyskutowano, formułując finalnie najważniejsze wnioski i rekomendacje. Wykazano, że poziom wypełnienia przestrzeni ładunkowej pojazdów transportowych stanowi pochodną wymiarów przewożonych sortymentów drzewnych. Ujednolicenie długości pozyskiwanego drewna może poprawić efektywność wypełnienia przestrzeni ładunkowej i zredukować koszty transportu leśnego.

Słowa kluczowe: drewno okrągłe, logistyka, transport, przestrzeń ładunkowa, optymalizacja, klasyfikacja wymiarowa drewna

WSTĘP

Optymalizacja procesów logistycznych w gospodarce leśnej jest jednym z kluczowych zagadnień inżynierii leśnej, zarówno z perspektywy ekonomicznej, jak i praktycznej. Dotyczy to w szczególności transportu surowca drzewnego. Specyfika ładunku wymaga zastosowania adekwatnych, nie zawsze oczywistych technik logistycznych, zależnie od rodzaju (sortymentu) drewna pozyskanego w lesie, na każdym z etapów łańcucha

dostaw (Korcyl i Czajka, 2011; Mydlarz i Wieruszewski, 2020).

Podstawowe regulacje dotyczące transportu drewna, w tym zasady przewozu, bezpieczeństwa i pokrewne, stanowią przepisy prawa państwowego. Odnosi się do nich Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 25 stycznia 2018 r. Zawiera ono wytyczne dotyczące prawidłowego rozmieszczenia przewożonego drewna

✉wladyslaw.kusiak@up.poznan.pl, <https://orcid.org/0000-0003-1384-6630>

oraz sposobu zabezpieczenia ładunku (Rozporządzenie..., 2018). Ogólne przepisy transportowe reguluje zaś ustawa „Prawo o ruchu drogowym” (Dz. U. 1997 nr 98 poz. 602, z późn. zm.). Określono w niej maksymalną długość pojazdu lub zespołu pojazdów transportujących drewno oraz dopuszczalny ciężar ładunku (Obwieszczenie..., 2012).

Ponadto przy przewozie drewna należy uwzględnić jego rzeczywistą masę, wyznaczoną jako iloczyn objętości ładunku i normatywnej gęstości przyjętej dla danego gatunku drewna. Wielkości te wskazano w Rozporządzeniu z 2012 r. w sprawie określenia gęstości drewna. Dokument ten nie uwzględnia jednak zróżnicowania wilgotności drewna (to wielkość zmienna w procesie składowania, zależna od pory roku lub okresu przelegiwania drewna po ścięciu) oraz uwarunkowań wzrostowych (zależnego od jakości siedliska tempa wzrostu wpływającego na gęstość drewna). Ciężar właściwy drewna zmienia się wraz z jego wilgotnością. Rzeczywista masa całkowita pojazdów transportujących jest zatem wyższa (niekiedy nawet o 17%) niż masa obliczona zgodnie z przepisami transportu drogowego (Trzeciński i in., 2018; Tymendorf i Trzeciński, 2020a; 2020b). Każdy przedsiębiorca potrafi ustalić, że opłacalność transportu surowca drzewnego stanowi pochodną miąższości drewna, zmieniającą się zależnie od warunków (pory roku) składowania drewna w lesie (Kusiak i Szponarski, 2017). Praktyczną konsekwencją zmian regulacji prawnych w zakresie transportu drewna (Rozporządzenie..., 2018) jest spadek masy całkowitej samochodów oraz zestawów wywozowych poruszających się po drogach, wynikający z mniejszej liczby transportowanych ładunków (Trzeciński i in., 2017).

Z ww. powodów prowadzenie szczegółowych badań nad optymalizacją transportu leśnego wydaje się uzasadnione i potrzebne. Większość dotychczasowych prac, podejmowanych sukcesywnie mniej więcej od połowy XX w., dotyczyła czynników ograniczenia kosztów transportu drewna. Badano, czy współpraca przedsiębiorstw w zakresie dostaw surowca może prowadzić do optymalizacji transportu (Löfroth i in., 2010). Oceniono możliwą redukcję pustych przejazdów, wykazując zdolność do ich ograniczenia nawet do 28% (Haridass i in., 2014). Porównywano wskaźniki wydajności i kosztów wywozu drewna, wyznaczające dla różnych pojazdów (Porter, 2012). Analizowano

różnice masy całkowitej zestawów wywozowych, uwzględniając zmienność gęstości drewna zależnie od okresu składowania (Trzeciński i in., 2017).

Poszukując mierzalnej wartości, odzwierciedlającej efektywność transportu drewna, bazowano na wybranych wskaźnikach techniczno-ekonomicznych (Kubiak, 1998; Tymendorf i Trzeciński, 2020b, Mena-Reyes i in., 2024). Uwzględniano między innymi: liczbę i jakość sprzętu transportowego, wydajność pracy taboru oraz wskaźniki charakteryzujące etapy procesu przewozowego. Najczęściej brano pod uwagę eliminację „pustych przewozów”. Rzadziej odnoszono się do możliwości optymalnego wykorzystania przestrzeni ładunkowej pojazdów transportowych. Zauważono, że pojazdy transportowe charakteryzujące się relatywnie niewielką ładownością wykazują korzystniejszy wskaźnik wykorzystania powierzchni ładownej do ładowności niż zestawy transportowe o dużej przestrzeni ładunkowej (Kubiak, 1998; Kusiak i Szponarski, 2017). Oprócz uwarunkowań logistycznych konieczne wydaje się również uwzględnienie czynników otoczenia rynkowego (Kusiak i in., 2021; Klus i in., 2022), trendów gospodarki integralnej zmierzającej do budowania „obiegu zamkniętego” (Ślódowa-Helpa, 2013; Wanat, 2016; Kusiak i in., 2019; Wanat, 2023), certyfikacji drewna w łańcuchu dostaw (Paluś i in., 2018; Domagała i Sztabińska, 2021), gospodarki materiałowej na rynku drzewnym (Wanat i in., 2022; Wieruszewski i in., 2023), a równocześnie zdolności do podejmowania współpracy konkurencyjnej nie tylko w leśnictwie i sektorze opartym na drewnie, ale także aktywności lokalnej, samorządowej (Wanat i in., 2018; Kusiak i in., 2022).

Optymalizacja przestrzeni ładunkowej wymaga zatem zastosowania adekwatnych środków i działań, jak choćby adaptacji pojazdu do przewożonego sortymentu drewna i jego wymiarów lub odwrotnie. Korzystniej jest użyć odrębnych zestawów transportowych do przewozu dłużyc (rys. 1), innych do drewna kładowanego (rys. 2) czy stosowego, zachowując przy tym jak najlepsze rozmieszczenie ładunku, ograniczając wolne przestrzenie. W niniejszej pracy postawiono zatem pytanie o zdolność do optymalizacji przestrzeni wypełnienia pojazdów transportowych, weryfikowaną w odniesieniu do faktycznych wymiarów przewożonych sortymentów drzewnych. Problem ten analizowano na tle uwarunkowań transportu drewna



Rys. 1. Rozmieszczenie i transport drewna długiego (fot. W. Kusiak)



Rys. 2. Rozmieszczenie i transport drewna kładowanego (fot. W. Kusiak)

w procesie logistyki, odnosząc się przy tym do opinii przedsiębiorców realizujących usługi transportowe dla leśnictwa.

UWARUNKOWANIA TRANSPORTU DREWNA W LOGISTYCE LEŚNEJ

Do najważniejszych czynników warunkujących transport pozyskanego w lesie drewna należą: rodzaj surowca drzewnego, jego wymiary i inne cechy fizyczne oraz organizacja i sposób realizacji transportu. Należy uwzględnić zarówno dużą różnorodność wymiarową drewna, nieregularność jego pozyskania i rozproszenie na znacznych obszarach leśnych, zagrożenie

deprecjacją biotyczną (grzyby i owady), uwarunkowania pogodowe, jak i zróżnicowanie nawierzchni dróg leśnych i innych traktów transportowych (Kusiak, 1998; Kusiak i Szponarski, 2017; Ziółkowski i in., 2023). Podstawowym kryterium warunkującym wybór środka transportu drewna jest rodzaj przewożonego sortymentu i jego wymiar (Lewaszkiewicz i in., 2012; Dobek i Paszko, 2017). Dobór ten obejmuje trzy grupy wymiarowe sortymentów drzewnych:

1. drewno wielkowymiarowe (w pojedynczych sztukach; minimalna średnica w górnym końcu bez kory to 14 cm)
2. drewno średniowymiarowe, w dłużycach, kłodach, wałkach i szczapach)
3. drewno małowymiarowe (drobnica użytkowa i opałowa; średnica dolna w korze nie przekracza 7 cm).

Drewno, które wypełnia przestrzeń ładunkową pojazdu transportowego, ma w praktyce niejednolite wymiary, zróżnicowane zarówno w zakresie grubości, jak i długości. Sposób ułożenia sortymentów drzewnych determinują często cechy fizyczne drzew, z których je pozyskano (zbieżystość, krzywizna, spłaszczenia, wady kształtu i budowy drewna). Niektóre wady i ograniczenia transportowe można eliminować na etapie manipulacji surowca poprzez formowanie mygieł i stosów drewna o jednakowych wymiarach. Konieczna wydaje się zatem unifikacja, stanowiąca jeden z czynników kształtowania poziomu wypełnienia przestrzeni ładunkowej pojazdów transportowych.

Klasyfikację sortymentową surowca drzewnego w lesie określa Zarządzenie Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych nr 51 (2019). W dokumencie tym sprecyzowano wymagania jakościowo-wymiarowe dla poszczególnych klas jakości, grup i podgrup sortymentów drzewnych przeznaczonych do obrotu w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe. W załączniku nr 1 do tego zarządzenia wskazano na klasyfikację surowca drzewnego według kryterium grubości i długości drewna. W dokumencie wyróżniono (według grubości): grubiznę (drewno o średnicy powyżej 7 cm w korze), do której zaliczono: drewno wielkowymiarowe „W” i średniowymiarowe „S”, oraz drobnicę, do której włączono drewno małowymiarowe „M” i pozostałości drzewne „M2E”. Uwzględniając zaś kryterium długości drewna, wyodrębniono: drewno długie

(od 6,10 m do 14 m) – dłuższe oraz drewno krótkie w postaci kłód, wałków i szczap. W grupie drewna wielkowymiarowego wyróżnia się ponadto drewno specjalnego przeznaczenia (Szaban i Kornas, 2020).

Stosowane jest również kryterium podziału według klas wymiarowych. Drewno wielkowymiarowe, na podstawie średnicy środkowej (pomiar w połowie długości sztuki) lub średnicy górnej (pomiar po najmniejszej średnicy bez kory), podzielono na trzy klasy wymiarowe. Taką samą liczbę klas wytypowano w grupie drewna średniowymiarowego S3b (drewno żerdziowe), rozróżniając je na podstawie średnicy znamionowej (pomiar w korze, 1 m od czoła dolnego sztuki po najmniejszej średnicy).

W klasyfikacji jakościowo-wymiarowej określono najmniejsze średnice górne bez kory dla poszczególnych grup sortymentów. Dla drewna wielkowymiarowego iglastego (W) jest to 14 cm, dla liściastego (z wyłączeniem dębu i buka) – 18 cm. W klasyfikacji drewna średniowymiarowego (S) nie uwzględnia się podziału na gatunki. Dla poszczególnych podgrup najmniejsza średnica górna, bez kory, występuje w zakresie od 5 cm do 7 cm. Maksymalna długość sortymentów dłużycowych W0 wynosi 14 m, bez nadmiaru. Długość ta wynika z przepisów zawartych w „Prawie o ruchu drogowym”, określających maksymalne długości pojazdów do transportu drewna (Obwieszczenie..., 2012). Z kolei długość drewna wielkowymiarowego kładowanego iglastego mieści się w zakresie 2,4 m do 6 m, bez nadmiaru. W przypadku drewna kładowanego długości ustandaryzowano: 2,4 m, 3,0 m, 4,0 m, 5,0 m (Załącznik nr 5..., 2019; Zarządzenie nr 51..., 2019). W grupie drewna kładowanego liściastego są to: 2,0 m, 2,4 m, 3,0 m (Załącznik nr 7, 2017; Zarządzenie..., 2019). Klasyfikując drewno średniowymiarowe, dopuszczono również stosowanie wymiarów standardowych. Dla grup S2 oraz S4 są to następujące długości: 1,2 m, 1,8 m, 2,4 m, 2,5 m. (Załącznik nr 9..., 2019; Zarządzenie nr 51..., 2019). Projektując wypełnienie przestrzeni ładunkowej pojazdów transportujących drewno, nie można zatem abstrahować od obowiązującej klasyfikacji jakościowo-wymiarowej sortymentów drzewnych, od której zależy wypełnienie przestrzeni ładunkowej tych pojazdów.

W gospodarce leśnej coraz większą rolę odgrywają maszynowe pozyskanie i zrywka drewna (z zastoso-

waniem harwesterów i forwarderów). Brak kontaktu drewna z podłożem podczas transportu pozwala ograniczyć uszkodzenia wierzchnich warstw gleby, a także potencjalne zapiaszczenie drewna (Sadowski i in., 2016). Zrywkę nasiębierną stosuje się w systemie zrywki drewna krótkiego, stąd zauważalny jest wzrost pozyskania drewna wielkowymiarowego kładowanego. Czynniki te warunkują faktyczną postać wywożonego z lasu drewna, choć kryterium dominujące stanowi popyt na drewno. Przykładowo, odpowiadając na rosnące zapotrzebowanie eksportu (Drabarczyk, 2013), wprowadzono zarządzenie tymczasowe, które miało uregulować zasady odbioru i ewidencji drewna kładowanego iglastego (Zarządzenie nr 35..., 2004). Warunki te wielokrotnie zmieniano (Zarządzenie nr 26..., 2013; Zarządzenie nr 47..., 2002; Zarządzenie nr 53..., 2012; Zarządzenie nr 72..., 2013; Zarządzenie nr 74..., 2013), aż do obowiązującego Zarządzenia nr 51 z 2019 r.

Warto zauważyć, że konsekwencją wdrażania maszynowego pozyskania i zrywki drewna, a także wprowadzenia wymagań prawnych dotyczących transportu drewna na obszarze Polski, stało się ograniczenie wyrobu surowca wielkowymiarowego i promocja drewna kładowanego (Szaban i Kornas, 2020). Wydaje się jednak, że najważniejszym czynnikiem zmian jest próba dostosowania norm jakościowo-wymiarowych do potrzeb przemysłu drzewnego (Malinowski i Wieruszewski, 2017a). Zmiany te warunkują również transport drewna. Kłody, których udział w transporcie stale rośnie (ponad 5,5 mln m³ w 2019 roku), są sortymentem łatwiejszym do przewozu, co umożliwia choćby redukcję krzywizn (Szaban i Kornas, 2020; Stempski, 2021). Odbiorcy znacznych ilości drewna preferują zakup „skróconego” surowca drzewnego, ograniczając koszty ewentualnej manipulacji dłużyc na mniejsze sortymenty, a także koszty transportu.

Organizacja transportu drewna stanowi kolejne kryterium determinujące efektywność procesu logistyki leśnej. Początkowo transport drewna okrągłego na większe odległości prowadzono dwuetapowo. Pozyskane drewno wywożono najpierw do składnic spedycyjnych, usytuowanych przy liniach kolejowych, samochodami ciężarowymi o niskiej i średniej ładowności. Następnie drewno przewożono koleją do odbiorców (ewentualnie do składnic pośrednich). Obecnie transport drewna w Polsce, niezależnie od odległości,

realizowany jest w zasadzie jednoetapowo. Odbywa się transportem kołowym (Zychowicz i Szuchnik, 2006), najczęściej (około 90%) z wykorzystaniem zestawów samochodów wysokotonazowych pięcio- lub sześciosiowych (Trzciński i in., 2017).

Dopuszczalną długość oraz masę całkowitą zestawów (pojazdów samochodowych) poruszających się po drogach, uzależnioną od liczby osi i ich napędu, na którą składa się masa pustego zestawu wywozowego i masa ładunku, ustala się na podstawie rozporządzenia ministerialnego (Obwieszczenie..., 2016). Przepisy te ograniczają dopuszczalną masę całkowitą pojazdów do 40 Mg. Mniej restrykcyjne ograniczenia masy obowiązują w innych krajach, jak choćby w Szwecji i Finlandii, do 60 Mg (Permissible maximum weights in Europe, 2010; Koźlak, 2018). Z kolei długość zestawów transportowych na polskich drogach nie powinna przekraczać w przypadku zespołu dwóch pojazdów 18,75 m, a dla pojazdu członowego i naczepy – 16,50 m. Przednia ściana samochodu transportującego ładunek musi spełniać normę PN-EN 12642. Oczywiście ładunek nie może wystawać poza wysokość tej ściany (Marciniec i Szkoda, 2013). Ponadto wysokość całego zestawu wraz z ładunkiem nie powinna przekraczać 4 m.

Z uwagi na rosnące zapotrzebowanie na materiały drewnopochodne, a także na biomasę drzewną do produkcji energii odnawialnej (Sarniak i in., 2023), sortymentem coraz częściej transportowanym są tak zwane „pozostałości drzewne” (M2E), przewożone w kontenerach (Chitawo i in., 2018; Gendek i in., 2018). Organizacja transportu różnych grup sortymentów drzewnych stanowi dla przewoźników spore wyzwanie, ponieważ obejmuje wybór odpowiedniego taboru transportowego oraz dobór adekwatnych urządzeń do załadunku i rozładunku surowca, a podlega to surowym regułom optymalizacji kosztów. Do transportu drewna najczęściej stosowane są samochody ciężarowe, ciągniki samochodowe i ciągniki siodłowe. Tworząc pełne zestawy wywozowe, pojazdy motorowe uzupełnia się o przyczepy, półprzyczepy i naczepy (Kubiak, 1998; Kusiak i Szponarski, 2017).

Masa własna pojazdów mieści się zwykle w granicach od 15 Mg (samochód ciężarowy z naczepą) do 20 Mg (samochód ciężarowy z przyczepą i żurawiem). Zatem średnia masa pojazdu (około 18 Mg) pozwala na przewiezienie w jednym transporcie przykładowo

ładunku drewna sosnowego w liczbie 27,93 m³, dla którego masa całkowita pojazdu nie przekracza przepisowych 40 Mg (Grabarek, 2021). Typowy zestaw do transportu drewna średniowymiarowego krótkiego i kłód składa się z: (1) pojazdu bazowego, czyli ciągnika siodłowego z naczepą (tzw. zabudową leśną), którą stanowi skrzynia ładunkowa z kłonicami o regulowanym rozstawie, a także z (2) doczepianej dwuosiowej przyczepy kłonicowej. Przestrzeń ładunkowa zazwyczaj ma następujące wymiary: długość – 6,2 m, szerokość zewnętrzna – 2,55 m, wysokość kłonic – 2,2 m do 2,5 m. W przypadku przyczepy dwuosiowej wartości te wynoszą: długość zewnętrzna – 6,5 m, a szerokość zewnętrzna – 2,55 m, wysokość kłonic również występuje w zakresie 2,2–2,5 m. Ładowność przyczep dwuosiowych wynosi zwykle około 14 Mg (Zasław, 2022).

Najczęściej, dążąc do unifikacji, produkuje się naczepy i przyczepy z kłonicami przesuwными. Dodatkowym elementem zestawu transportowego jest żuraw załadunkowy z napędem hydraulicznym, umieszczony (1) za kabiną kierowcy, co pozwala na transport drewna dłuższego od długości naczepy, bądź (2) umieszczony za skrzynią ładunkową, ale przed przyczepą. Wadą drugiego rozwiązania jest ograniczenie długości transportowanych kłód do rozmiarów skrzyni ładunkowej. Dla surowca, którego długość przekracza dopuszczalne parametry przyczep kłonicowych, stosuje się dwa obrotowe nadwozia, z których każde wyposażone jest w jedną parę kłonic. W tym wariantcie połączenie przyczep następuje tylko poprzez ładunek, co pozwala na regulowany rozstaw uzależniony od długości przewożonego sortymentu.

W przypadku transportu sortymentów krótkich dopuszcza się układanie drewna poprzecznie w stosunku do kierunku jazdy (dotyczy to wyłącznie pojazdów wyposażonych w platformę podłogową). Przewożenie drewna w ułożeniu poprzecznym jest możliwe przy zastosowaniu przyczep i naczep ze sztywnymi ścianami (Pachuta i Chojnacki, 2018). Do przewożenia drewna dłużycowego stosuje się natomiast przyczepy samosterujące. Zastosowanie takiego zestawu umożliwia transport dłużyc o długości do 21 m (normy krajowe dopuszczają maksymalną długość sortymentu 14 m). Transport drewna dłużycowego może odbywać się również w zestawie ciągnika siodłowego z naczepą kłonicową (przykładowo naczepa rozsuwana DoLL A321 o ładowności 36,5 t).

Mając na uwadze złożone uwarunkowania materiałowe (wymiary i fizyczne właściwości surowca drzewnego), lokalizacyjne i techniczne, związane z logistyką i organizacją transportu, a także prawne, analizowano kwestię optymalizacji wypełnienia przestrzeni ładunkowej pojazdów w transporcie drewna.

Celem pracy była próba odpowiedzi na pytanie o potencjalną zdolność do optymalizacji wypełnienia przestrzeni pojazdów transportowych, weryfikowaną w odniesieniu do faktycznych wymiarów przewożonych sortymentów drzewnych. W tym kontekście sformułowano hipotezę, w której założono, że poziom wypełnienia przestrzeni ładunkowej pojazdów transportujących drewno stanowi pochodną wymiarów transportowanych sortymentów drzewnych. Realizując przyjęte zadania, w pierwszej kolejności poddano analizie uwarunkowania prawne i branżowe dotyczące pozyskania i transportu surowca drzewnego w lesie, a następnie zaprojektowano badanie jakościowe prowadzące do zebrania opinii ekspertów, praktyków transportu leśnego.

METODYCZNE PODSTAWY BADAŃ

Badania przeprowadzono metodą sondażu diagnostycznego, stosując technikę indywidualnego wywiadu pogłębionego (IDI). Do badania, posługując się kryterium doboru celowego, zaproszono przedstawicieli branży, to jest przewoźników drewna z przynajmniej 10-letnim stażem pracy. Uwzględniając trudność zachowania w badanej grupie (populacji) warunku reprezentacyjności próby, zastosowano dobór ekspercki, jakościowy. W indywidualnych wywiadach przeprowadzonych w formule bezpośredniego spotkania lub rozmowy telefonicznej zebrano odpowiedzi 40 polskich przedsiębiorców. Respondenci, których opinie zanimizowano, reprezentowali pięć województw: lubuskie, małopolskie, pomorskie, wielkopolskie oraz zachodniopomorskie. Regiony te charakteryzują się zarówno relatywnie wysokim pozyskaniem drewna (adekwatnym do zasobów leśnych), jak i odpowiadającym poziomowi pozyskania potencjałem technicznym i analogiczną aktywnością firm transportowych.

Analizując sposób organizacji i techniki transportu drewna w Polsce, uwzględniono w badaniach następujące sortymenty drzewne:

- drewno wielkowymiarowe „W”: W0 i WK
- drewno średniowymiarowe „S”, w tym: drewno stosowe S2a (przemysłowe), S2b (użytkowe), S2AP (ogólnego przeznaczenia), S4 (opałowe)
- drewno małowymiarowe „M”, w tym: M1 (przemysłowe), M2 (opałowe)
- pozostałości drzewne „M2E”.

Sondaż diagnostyczny przeprowadzono za pomocą autorskiego kwestionariusza ankietowego. Formularz składał się z 20 pytań, w tym 11 pytań zamkniętych oraz 9 pytań otwartych. Wywiady przeprowadzono w 2022 roku.

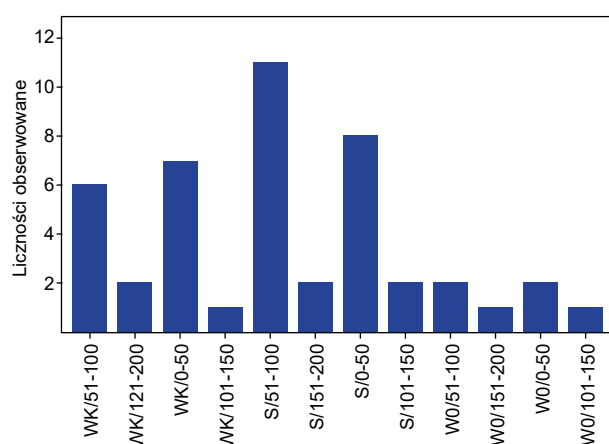
Zebrane w kwestionariuszach ankiet informacje uporządkowano, zestawiając dane dokumentujące zapis indywidualnych wywiadów pogłębionych z przewoźnikami. Najważniejsze odpowiedzi zilustrowano graficznie oraz zanalizowano.

Odpowiedzi respondentów poddano weryfikacji statystycznej. Dla poszczególnych pytań wyznaczono statystyki opisowe. Poszukując potencjalnych zależności między czynnikami kształtującymi sposób i organizację transportu sortymentów surowca drzewnego o zróżnicowanych wymiarach, posłużono się testem Chi-kwadrat, przyjmując poziom istotności $\alpha = 0,05$ (użyto powszechnie dostępnych narzędzi PQStat, 2024). Uzyskane wyniki zestawiono i poddano dyskusji, formułując finalnie najważniejsze wnioski i rekomendacje.

WYNIKI

Identyfikując przewożone sortymenty drzewne na podstawie wskazań respondentów, zauważono, że relatywnie najczęściej transportowano drewno grupy S, co stanowiło 51% (przy wskazaniu jednego sortymentu) oraz 50% (przy wskazaniu więcej niż jednego sortymentu) uzyskanych odpowiedzi. Z kolei najrzadziej przewożono sortyment W0, stanowiący odpowiednio 13% (wybór jednego sortymentu) oraz 8% odpowiedzi (przy wskazaniu więcej niż jednego sortymentu). Ładunki transportowano najczęściej na odległość do 50 km. Dwie trzecie przewoźników (66%) wykonywało swoje usługi na trasach krótkich (do 100 km). Tylko 22% przedsiębiorców realizowało transport na trasach od 101 km do 150 km, a 12% na większe odległości (151–200 km). Najbardziej kłopotliwy sortyment

w transporcie stanowiły pozostałości drzewne (grupa M). Z kolei i dla grupy WK ustalono, że najczęściej transportowanym sortymentem były kłody o długości 3–4 m (53%), zaś z grupy średniowymiarowej te o długości 2,40 m (44%). Najrzadziej przewożono: w grupie WK – kłody o długości 5–6 m, natomiast w grupie S, te o długości: 1,20 m (zob. rys. 3).



Rys. 3. Zależność między najczęściej przewożonym sortymentem a odległością transportu drewna

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego.

Odpowiadając na pytanie, czy można wskazać optymalną (dla przestrzeni ładunkowej) długość drewna kładowanego, 45% respondentów za „optymalny ładunek” uznało kłody o długości 4–6 m, natomiast 43% – kłody o długości 3–4 m. Dłuższe sortymenty, zdaniem przewoźników, okazały się „bardziej przyjazne” i łatwiejsze w transporcie. Podobne wyniki odnotowano dla drewna wielkowymiarowego dłużycowego i dla drewna średniowymiarowego. 61% przewoźników wskazało na długość 14 m w grupie W0 (maksymalną), zaś w grupie S aż 71% wskazało na długość 2,50 m. Warto zauważyć, że całkowicie pominięto wymiar 1,20 m, który okazał się w tym zakresie niepraktyczny.

Podobnie rozważano kwestię ujednolicenia transportu drewna sosnowego (uwzględniając długość i grubość). 52% respondentów wskazało na zakres długości 1,8–3,0 m, a tylko 7% przedział 10–14 m. W zakresie grubości 55% przewoźników wskazało jako optymalny przedział 25–40 cm (55%). Tylko

20% respondentów uznało kryterium grubości drewna sosnowego za nieistotne.

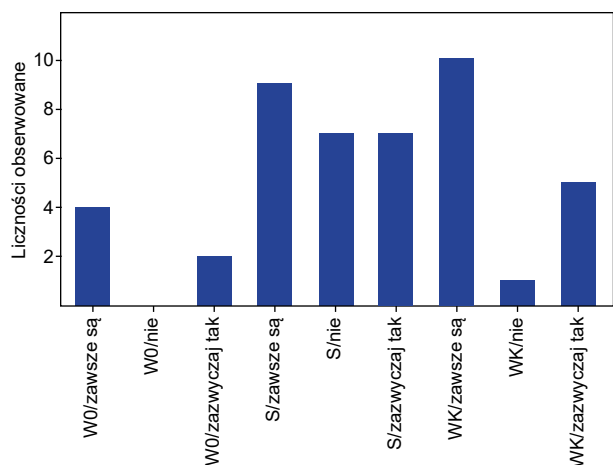
Przedsiębiorcy zgodnie (95%) uznali, że długość drewna dłużycowego determinuje poziom wypełnienia przestrzeni ładunkowej. Większość respondentów wsparła działania na rzecz ujednolicenia długości drewna, uznając je za pożądane (77% w przypadku transportu dłużyc, a 80% dla wszystkich sortymentów). Za poglądem tym przemawia łatwość równomiernego ułożenia drewna w przyczepie/naczepie oraz możliwość jednakowego ustawienia kłonic. Oceniłono, że ujednolicenie długości drewna znacząco skróci czas załadunku.

Biorąc pod uwagę rodzaj i długość przewożonego sortymentu, zauważono, że najczęściej ładunek ma charakter jednolity (75% przewoźników zwykle przewozi jeden sortyment, zaś 25% maksymalnie dwa sortymenty drzewne). Przewożąc dwa rodzaje długości, najczęściej transportowano kłody 2,40 m i 2,50 m (czyli typowe długości drewna stosowego średniowymiarowego). Transport sortymentu M2E (pozostałości drzewne) wykonywany był relatywnie rzadko (57% firm). Większość przedsiębiorców (82%) nie przewoziło drewna w kontenerach. Warto zauważyć, że część przewoźników zadeklarowała maksymalne wypełnienie przestrzeni ładunkowej (rys. 4) w ramach realizowanych usług (39% zaznaczyła, że dzieje się tak „zazwyczaj”). Najczęściej używanym zestawem do transportu drewna była naczepa (73%), wykorzystywana do transportu drewna zarówno dłużycowego, jak i stosowego.

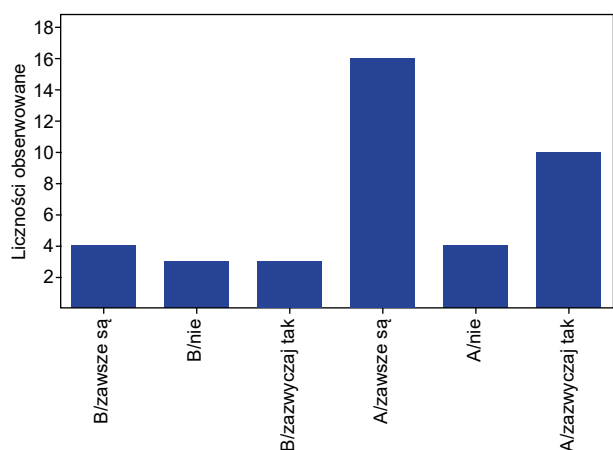
Nie stwierdzono istotnych statystycznie zależności między weryfikowanymi kryteriami. Zauważono natomiast (rys. 4), że dla weryfikowanych grup sortymentowych przestrzeń ładunkowa pojazdów była przeważnie całkowicie wypełniona, zwłaszcza wtedy, gdy przewożono jeden sortyment (rys. 5).

Również w kolejnych analizowanych zagadnieniach (rys. 5 i 6) nie wykazano istotnych statystycznie zależności między badanymi zmiennymi. Zauważono (rys. 6), że samochody przewożące wyłącznie jeden sortyment (A) były najczęściej w pełni załadowane.

Przewoźnicy postulujący ujednolicenie długości wszystkich grup sortymentów drzewnych potwierdzili zarazem, że długość sortymentu drewna determinuje wypełnienie przestrzeni ładunkowej pojazdu (rys. 8).



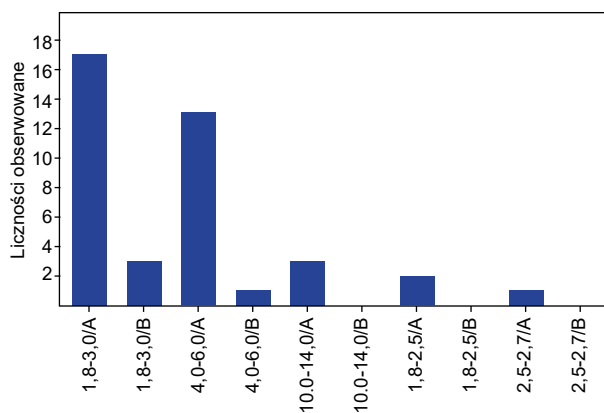
Rys. 4. Zależność między najczęściej przewożonym sortymentem a maksymalnie załadowaną przestrzenią ładunkową
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego.



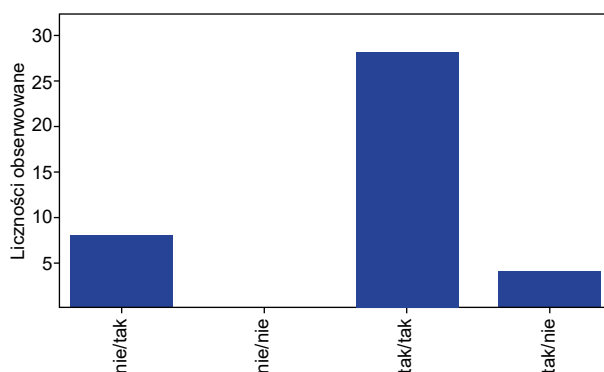
Rys. 5. Zależność między ilością przewożonych sortymentów drzewnych a maksymalnym wypełnieniem przestrzeni ładunkowej (A – jeden sortyment, B – dwa sortymenty)
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego.

Także w tym przypadku nie wykazano istotnej zależności statystycznej weryfikowanych odpowiedzi.

W przypadku wyników zilustrowanych na rysunku 6 wskazano istotną zależność statystyczną między analizowanymi odpowiedziami ($p = 0,00258$). Przewoźnicy najczęściej transportujący kłody długości 2,50 m uznali ten sortyment za optymalnie wypełniający przestrzeń ładunkową.

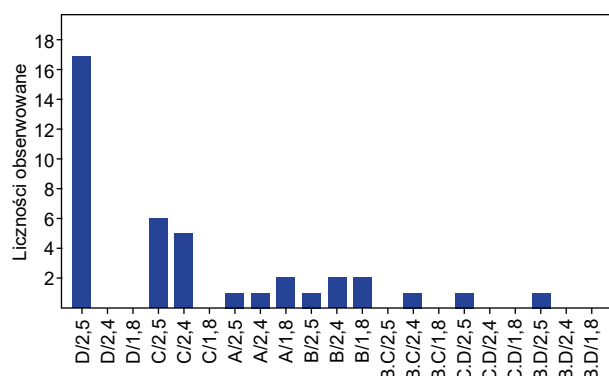


Rys. 6. Zależność między długością drewna sosnowego a jej wpływem wypełnienie przestrzeni ładunkowej (A – wpływa, B – nie wpływa)
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego.

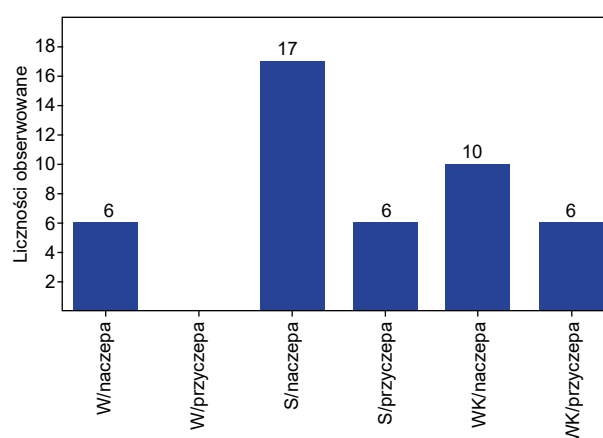


Rys. 7. Zależność między kryterium ujednolicenia długości wszystkich grup sortymentowych a długością sortymentu, jako parametru determinującego wypełnienie przestrzeni ładunkowej pojazdu (A – występuje, B – nie występuje)
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego.

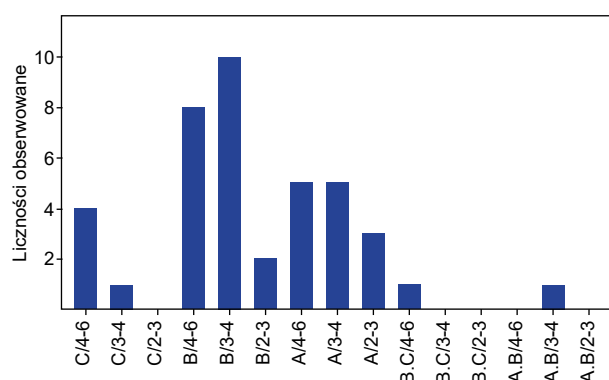
W kolejnych przypadkach weryfikacji zależności rodzaju sortymentu drzewnego od typu pojazdu transportowego (rys. 9 i 10) nie wykazano istotnych powiązań statystycznych. Przewoźnicy, którzy najczęściej przewozili sortyment o długości 3–4 m, ten sam sortyment (lub drewno o długości 4–6 m) uznali za logistycznie optymalny. Do transportu najczęściej używano naczep. Badani przedsiębiorcy transportowi nie przewozili sortymentów wielkowymiarowych z zastosowaniem przyczep.



Rys. 8. Zależność między najczęściej przewożoną długością sortymentu S a długością wskazaną w transporcie jako optymalną dla S (A = 1,20 m, B = 1,80 m, C = 2,40 m, D = 2,50 m)
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego.



Rys. 10. Zależność rodzaju przewożonego sortymentu od typu pojazdu do transportu drewna
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego.



Rys. 9. Zależność między najczęściej przewożoną długością sortymentu WK a długością wskazaną w transporcie jako optymalną dla WK (A = 2–3 m, B = 3–4 m, C = 4–6 m)
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego.

DYSKUSJA

Uzyskane wyniki zestawione porównawczo z danymi statystycznymi dotyczącymi organizacji transportu leśnego pozwalają sądzić, że najczęściej transportowanym przez przewoźników sortymentem sosnowym było drewno stosowe średniowymiarowe (GUS, 2021a; 2021b). Odpowiada to niejako wielkości pozyskania drewna średniowymiarowego w Polsce, stanowiącego przeciętnie ponad 50% pozyskania drewna ogółem (GUS, 2021c). Oczywiście koszty usług

przewozowych wynikają również z długości tras transportowych, możliwości ładunkowych zestawów pojazdowych, a także z ograniczenia ilości niepełnych kursów, zatem nawet niewielki wzrost wydajności przewozu drewna (optymalna organizacja ładunku), który to parametr bywa niekiedy pomijany (Kłapeć i in., 2017), może znacząco ograniczyć koszty transportu (Acuna, 2017).

Realizacja badań w formule indywidualnych wywiadów pogłębionych z praktykami branży (ekspertami mającymi doświadczenie w przedmiotowej dziedzinie) umożliwia badaczom niezwiązanym w takim przypadku ograniczeniami statystycznej reprezentacyjności próby uzyskanie, wprawdzie nieustrukturyzowanych, ale wiarygodnych, rzeczywistych danych. Z agregacji tak zebranych, a pochodzących bezpośrednio od praktyków (leśniczych i przewoźników leśnych) informacji, wyłania się katalog czynników profilujących optymalną długość sortymentu drzewnego w logistyce. Zaliczono do nich: siedlisko leśne (region geograficzny), wiek i jakość drzewostanu, określenie czasochłonności prac (pozyskanie), warunków transportu (zrywka i wywóz) oraz aspektów bezpieczeństwa (zagrożenie kradzieżą). Istnieje możliwość uwzględnienia innych, specyficznych dla konkretnej lokalizacji czynników. Respondenci podkreślali, że ograniczając ilość wymiarów drewna, można uzyskać lepszą wydajność prac zrębowych i zrywkowych.

Oczywiście, w strukturach instytucjonalnych mogą pojawić się zarzuty o ewentualną niegospodarność (potencjalne straty materiałowe lub jakościowe wynikające z działań optymalizacyjnych). Zależnie, czy w danej organizacji uwzględniana jest racjonalizacja, czy raczej dominuje pojmowana literalnie instytucjonalizacja, zarzuty te mogą okazać się uzasadnione bądź nie.

Uzyskane opinie leśników i pracowników leśnych wskazują, by dla sosny, przy cięciach rębnych, wyrabiać na jednej pozycji nie więcej niż 3–4 sortymenty drzewne (w trzebieżach 2–3). Wydaje się, że najlepiej manipulować kłody o długości 2,5 m, gdyż do tej właśnie długości przystosowane są przyczepy do zrywki drewna. Leśnicy rekomendują taką długość jako optymalną, pod warunkiem prowadzenia odbioru w stosach. Podobną opinię formułują przewoźnicy, z uwagi na rozmiar przestrzeni załadunkowej pojazdu (5 m) i przyczepy (7,5 m). Co więcej, zastosowanie wielokrotności wymiarów poszczególnych sortymentów ułatwia maksymalnie wykorzystanie skrzyni ładunkowej maszyn zrywkowych. Maleje zatem liczba koniecznych przejazdów. Ponadto mniejsza liczba sortymentów pozyskiwanych na powierzchniach (pozycjach) usprawnia pozyskanie zarówno mechaniczne, jak i ręczno-maszynowe.

Unifikacja, prowadząca do ograniczenia liczby wymiarów (długości) drewna, może okazać się nieadekwatna do jakości drzewostanów, a także potrzeb rynku. Trzeba uwzględnić także działania służb nadzoru (decyzje instytucjonalne mogą sugerować celowe skracanie długości pozyskiwanych sortymentów, co – przy maksymalizacji cen – prowadzi niekiedy do produkcji nietypowych wymiarów drewna (przykładowo S2b o długości 1,05 m lub 1,10 m).

Na podstawie uzyskanych opinii można sądzić, że zasadne byłoby dążenie do wyrabiania sortymentów S2a, S2b, S4 o długościach 2,5 m, zaś kłód o długości 5,0 m. Trzeba zaznaczyć, że wyrabianie sortymentów o długości poniżej 1,8 m jest dla pracowników leśnych czynnością kłopotliwą. Ponadto przy maszynowym pozyskiwaniu drewna wyrób sortymentów o długości poniżej 1,2 m powinien być w praktyce wyeliminowany.

Jeśli zatem manipulację drewna przeprowadza się głównie w małych zakładach przemysłu drzewnego i – zasadniczo – w lesie, ogranicza to wydajność i zwiększa koszty pracy usług leśnych (pozyskanie drewna).

Czy możliwa jest organizacyjna i logistyczna zmiana, skoro drewno długie nabywa się w większości jako konstrukcyjne, a najłatwiej wywozić z lasu drewno stosowe (prosty załadunek)? To wyzwanie wymagające instytucjonalnej dyskusji, a zarazem organizacyjnej i logistycznej elastyczności.

Zauważono także, że przedsiębiorstwa, optymalizując koszty, ograniczają odległości przewozowe, które w większości nie przekraczają 100 km. Wysokie koszty przewozu drewna ponoszone przez firmy transportowe prowadziły niekiedy do niekorzystnych zjawisk. Zdarzało się, że przewoźnicy przeładowywali drewnem pojazdy, przekraczając dopuszczalne masy całkowite, mimo zagrożenia wysokimi mandatami nakładanymi przez Inspekcję Transportu Drogowego. Wprowadzenie (Rozporządzenie..., 2012) ujednoliconej gęstości drewna dla poszczególnych gatunków drewna umożliwiło proste wyliczenie dopuszczalnej masy ładunku (Grabarek, 2012), co pozwoliło nieco ograniczyć takie (niebezpieczne) praktyki transportowe.

Zdaniem respondentów pojazdy samochodowe transportujące drewno są najczęściej w pełni załadowane. Jednak określenie „maksymalnie wypełniona przestrzeń ładunkowa” nie jest jednoznaczne. Pojazdy transportowe (przyczepy lub naczepy) mają wyznaczone górne granice dopuszczalnego ciężaru dla przewożonego ładunku. Nie bez znaczenia pozostaje również maksymalna masa całkowita całych zestawów transportujących drewno. Zgodnie z prawem o ruchu drogowym (Ustawa..., 1997) masa ta nie powinna przekraczać 40 Mg. Poszukuje się zatem alternatywnych rozwiązań pozwalających na zwiększenie możliwości ładunkowych. Producenci nowych zestawów transportowych dążą do redukcji masy własnej pojazdów poprzez zastąpienie niektórych ciężkich elementów stalowych ich konstrukcji (Pachuta i Chojnacki, 2018). Dąży się również do poprawy organizacji odbioru drewna z jednej lokalizacji. Załadunek może wówczas wykonać jeden pojazd wyposażony w żuraw hydrauliczny. Pozostałe zestawy (bez żurawia) „oszczędzają” w ten sposób kilka ton masy własnej pojazdu, mogąc w efekcie przewieźć większy ładunek (dodatkowa masa i większa przestrzeń ładunkowa).

Ankietowani przewoźnicy najczęściej przewozili drewno zestawem składającym się z ciągnika siodłowego i naczepy kłonicowej. Jest to zestaw uniwersalny,

ponieważ może być wykorzystywany do transportu drewna zarówno dłużycowego, jak i stosowego (w tym kłodowanego). Taki dobór sprzętu wydaje się z perspektywy biznesu optymalny: jeden zestaw pozwala na przewóz sortymentów różnych długości. Czy możliwa jest jednak dalsza, międzynarodowa unifikacja sortymentowa i tonażowa w transporcie drewna? Podejmowano takie próby w Unii Europejskiej. Niestety, silne związki z rynkami lokalnymi i przemysłem drzewnym ograniczają niektóre instytucje i państwa, w tym Polskę. Decydenci preferują stosowanie norm i zarządzeń krajowych własnych regulacji branżowych (Malinowski i Wieruszewski, 2017b). Czy jednak rzeczywiście o wymiarach decyduje odbiorca, czy li tylko koniunkturalna polityka instytucjonalna?

Optymalizacja wymiarów sortymentów drzewnych, zmieniająca efektywność transportu poprzez lepsze wypełnienie przestrzeni ładunkowej pojazdów, wydaje się w praktyce trudna do zrealizowania. Tymczasem, oprócz uwzględnienia zidentyfikowanych w badaniach czynników, już tylko dobra organizacja manipulacji surowca drzewnego w lesie może ten pozorny impas przełamać. Pojawia się ponadto możliwość programowania manipulacji drewna, wykorzystania technik komputerowych, a także sztucznej inteligencji do budowania takiego modelu pozyskania drewna w lesie, który przynajmniej w części pozwoli usunąć dotychczasowe, niekiedy sztuczne bariery. Być może w ślad za wprowadzaniem do praktyki fotootoptycznym pomiarem drewna ułożonego w stosach, praktyką stanie się w przyszłości ważenie pojazdów załadowanych drewnem w lesie.

Pozostaną ograniczenia prawne (dopuszczalna masa rzeczywista pojazdu), środowiskowe (specyfika miejsca pozyskania i transportu), ale innego rodzaju bariery, zwłaszcza dotyczące pracochłonności, można sukcesywnie eliminować. Następnie należy skupić się na bezpieczeństwie przewozu drewna. Konieczne jest uwzględnienie, by transportowany ładunek:

- nie powodował przekroczenia dopuszczalnych nacisków osi pojazdu na drogę
- nie naruszał stateczności pojazdu
- nie utrudniał kierowania pojazdem
- nie ograniczał widoczności drogi
- nie zasłaniał świateł, urządzeń sygnalizacyjnych, tablic rejestracyjnych albo innych znaków stanowiących wyposażenie pojazdu (Ustawa..., 1997).

Pogodzenie rachunku ekonomicznego, to jest dążenia do optymalnego wypełnienia przestrzeni ładunkowej pojazdu z zachowaniem dobrych praktyk bezpieczeństwa transportu drogowego, wydaje się możliwe, jeśli będą przy tym stosowane instytucjonalnie nakreślone przepisy prawa oraz uwzględniany słuszny interes przedsiębiorców działających w warunkach rynkowych.

PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników, ich analizy i dyskusji, a także mając na uwadze uwarunkowania materiałowe (właściwości fizyczne surowca drzewnego), lokalizacyjne i techniczne związane z organizacją transportu leśnego, jak również prawne, potwierdzenie przyjętej na wstępie hipotezy wydaje się uzasadnione. Wykazano, że optymalizacja wypełnienia przestrzeni ładunkowej pojazdów w transporcie drewna jest możliwa, choć poziom wypełnienia powierzchni ładownych w największym stopniu zależy od wymiarów transportowanego ładunku, to jest poszczególnych sortymentów drzewnych.

Konsekwencją eksperckiego badania opinii przewoźników drewna są następujące spostrzeżenia:

1. Najczęściej przewożonym sortymentem drzewnym było drewno średniowymiarowe stosowe (grupa S).
2. Optymalizacja transportu sortymentów drzewnych przemawia za przewozem sortymentów najdłuższych (L) w swoich klasach. W badanym zakresie były to odpowiednio: L = 2,50 m dla drewna średniowymiarowego stosowego, L = 4–6 m dla drewna kłodowanego, a także L = 14 m dla drewna dłużycowego. Kwestia ta wymaga dodatkowej weryfikacji w sukcesywnych badaniach (ewaluacji).
3. Jako optymalną dla maksymalizacji wypełnienia środków transportu grubość przewożonych sortymentów drzewnych wskazano przedział 25–40 cm.
4. Ujednolicenie długości surowca drzewnego (zwłaszcza w odniesieniu do drewna dłużycowego) może zwiększyć poziom wypełnienia przestrzeni ładunkowej pojazdów transportowych, umożliwiając zarazem równomierne ułożenie drewna oraz redukcję wolnych przestrzeni ładunkowych.
5. Przewoźnicy wykonujący usługi transportu drewna stosowego preferowali ładunki jednej długości.

Z kolei przy łączeniu kilku grup sortymentów drewna stosowego średniowymiarowego preferowano odpowiednio długości 2,40 m i 2,50 m.

6. Transport surowca w kontenerach przedsiębiorcy realizowali relatywnie rzadko, mimo rosnącego zapotrzebowania na surowiec energetyczny. Ta sytuacja, przy uwzględnieniu warunków rynkowych, może ulec zmianie.

Drewno pozyskane i przygotowywane do przewozu w lesie (dla wszystkich grup sortymentów) najczęściej transportowano zestawami kołowymi złożonymi z ciągnika siodłowego i naczepy kłonicowej. Nie ma jednak jednoznacznego dowodu, że stanowi to uniwersalne i optymalne rozwiązanie, czy wynika z dostępności środków transportu. Przeprowadzone badania nie zamykają dyskusji nad problemem optymalizacji transportu leśnego, przekonując raczej o konieczności ich kontynuacji.

PIŚMIENNICTWO

- Acuna, M. (2017). Timber and Biomass Transport Optimization: A Review of Planning Issues, Solution Techniques and Decision Support Tools. *Croat. J. Forest Eng.*, 38(2), 279–290.
- Chitawo, M. L., Chimphango, A. F. A., Peterson, S. (2018). Modelling sustainability of primary forest residues - based bioenergy system. *Biomass Bioenergy*, 108, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.10.022>
- Dobek, M., Paszko, M. (2017). Ogólne zasady zakupu i organizacji wywozu drewna z Lasów Państwowych. *Autobusy*, 6, 607–611.
- Domagała, J., Sztabińska, W. (2021). Łańcuch dostaw i klasyfikacja zapasów surowca drzewnego na przykładzie Nadleśnictwa Głębocki Bród. *Zesz. Nauk. Szk. Gł. Gosp. Wiej. Warsz., Ekon. Organ. Logist.*, 6(1), 29–38. <https://doi.org/10.22630/EIOL.2021.6.1.3>
- Drabarczyk, J. (2013). Kładowanie w całych Lasach. *Głos Lasu*, 2, 8–11.
- Gendek, A., Wężyk, P., Moskalik, T. (2018). Udział oraz dokładność szacowania pozostałości zrębowych w ogólnej masie pozyskanego drewna. *Sylwan*, 162(8), 679–687.
- GUS (2021a.) Przewozy ładunków i pasażerów w roku 2021. Warszawa: Zakład Wydawnictw Statystycznych.
- GUS (2021b). Transport drogowy w Polsce w latach 2018–2019. Warszawa: Zakład Wydawnictw Statystycznych.
- GUS (2021c). *Rocznik Statystyczny Leśnictwa*. Warszawa: Zakład Wydawnictw Statystycznych.
- Grabarek, M. (2012). Zmiany uregulowań prawnych w transporcie drewna. *Prz. Leśn.* 3, 10–11.
- Haridass, K., Valenzuela, J., Yucekaya, A., McDonald, T. (2014). Scheduling a log transport system using simulated annealing. *Inf. Sci.*, 264, 302–316. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.12.005>
- Klus, S., Topczewska, A., Urbanowicz, Z., Wanat, L. (2022). Mesoeconomic market analysis based on selected Big Data tools – the case of wood market trends in Poland under economic uncertainty. *Ann. Pol. Assoc. Agricult. Agribus. Econ.*, 24(3), 94–107. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.0009>
- Kłapeć, B., Tracz, W., Janeczko, K. (2017). Optymalizacja przewozów drewna nabywanego w jednostkach Lasów Państwowych. *Sylwan* 161(10), 842–850.
- Korcył, A., Czajka, K. (2011). Optymalizacja procesów logistycznych w gospodarce leśnej. *Logistyka*, 2(CD), 319–326.
- Kozłak, A. (2018). Struktura sektora transportu drogowego w Polsce i ocena jego wyników ekonomicznych na tle państw Unii Europejskiej. *Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów*, 166, 59–75.
- Kubiak, M. (1998). *Transport leśny*. Poznań: Wyd. Akad. Roln. Poznań.
- Kusiak, W., Szponarski, W. (2017). Szacowanie energochłonności przy wywozie drewna. *Prz. Leśn.*, 11, 8–9.
- Kusiak, W., Sarniak, Ł., Wanat, L., Wieruszewski, M. (2022). Green Deal: Opportunities and Threats for the Forest and Wood-Based Sector in Poland. W: R. Nováková (red.), *Crisis Management and Safety Foresight in Forest-Based Sector and SMEs Operating in the Global Environment* (s. 211–214). Trnava: WoodEMA ia. and Slovak Association for Quality.
- Kusiak, W., Wanat, L., Klus, S., Styma-Sarniak, K. (2019). Circular Economy from the Perspective of Scientific Research Papers in the Forestry and Wood-Based Sector in Poland. W: R. D. Cobanova (red.), *Digitalisation and Circular Economy: forestry and forestry based industry implications*, USB and WoodEMA, i.a. Varna, Bulgaria September 11th–13th 2019 (s. 33–38). Ljubljana: University of Ljubljana.
- Kusiak, W., Wanat, L., Czarnecki, R., Wieruszewski, M. (2021). Economic Use of Wood Resources in Selected Forest Areas, Varied in Terms of Production and Protection Availability – the Case of Poland. W: M. Jošt (red.), *The Response of the forest-based sector to changes in the global economy*, WoodEMA, ia. and University of Ljubljana, Koper, Slovenia (s. 173–178). Ljubljana: University of Ljubljana.

- Lewaszkiwicz, Ł., Grieger, A., Żukowska, K., Chojnacki, J. (2012). Organizacyjne i techniczne uwarunkowania transportu drewna na poziomie nadleśnictwa. *Autobusy*, 13(5), 260–265.
- Löfroth, C., Svenson, G., Rudström, L. (2010). Testing of revolutionary round wood haulage rig in Sweden. *Forest Operations Research in the Nordic Baltic Region. Proceedings of the 2010 OSCAR conference held in Honne, Norway. October 20–22, 2010.*
- Malinowski, Z., Wieruszewski, M. (2017a). Zmiany w normalizacji wielkowymiarowego drewna sosnowego w powojennych dziejach Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe. *Sylvan*, 161(4), 287–294.
- Malinowski, Z., Wieruszewski, M. (2017b). Porównanie wad wielkowymiarowego drewna sosnowego w normalizacji krajów Unii Europejskiej. *Sylvan*, 161(10), 795–803.
- Marciniec, T., Szkoda, M. (2013). Analiza dostaw surowca drzewnego. *Autobusy*, 14(3), 1497–1506.
- Mena-Reyes, J. F., Vergara, F., Linfati, R., Escobar, J. W. (2024). Quantitative Techniques for Sustainable Decision Making in Forest-to-Lumber Supply Chain: A Systematic Review. *Forests*, 15(2), 297. <https://doi.org/10.3390/f15020297>
- Mydlarz, K., Wieruszewski, M. (2020). Problems of Sustainable Transport of Large-Sized Roundwood. *Sustainability*, 12, 2038. <https://doi.org/10.3390/su12052038>
- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 30 sierpnia 2012 roku. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo o ruchu drogowym (2012). *Dz. U.*, poz. 1137.
- Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 27 października 2016 roku w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (2016). *Dz.U.* 2016 poz. 2022.
- Pachuta, A., Chojnacki, J. (2018). Pojazdy do transportu drewna wielkowymiarowego. *Autobusy*, 19(9), 93–96. <https://doi.org/10.24136/atest.2018.291>
- Paluš, H., Parobek, J., Vlosky, R. P., Motik, D., Oblak, L., Jošt, M., Glavonjić, B., Dudík, R., Wanat, L. (2018). The status of chain-of-custody certification in the countries of Central and South Europe. *Eur. J. Wood Wood Prod.*, 76, 699–710. <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1261-0>
- Permissible maximum weights in Europe (2010). OECD International Transport Forum.
- Porter, B. (2012). Analiza efektywności wywozu drewna. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 1(22), 3–4.
- PQStat (2024). Statystyczne Oprogramowanie Obliczeniowe. Pobrane 20.07.2024 z: <https://pqstat.pl>.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 stycznia 2018 roku w sprawie sposobu przewozu ładunku (2018). *Dz.U.* 2018 poz. 361.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska oraz Ministra Gospodarki z dnia 2 maja 2012 roku w sprawie określenia gęstości drewna. 2012. *Dz. U.*, poz. 536.
- Sadowski, J., Moskalik, T., Zastocki, D. (2016). Ochrona gleby leśnej przy pozyskiwaniu i zrywce drewna. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie*, 18, 173–180.
- Sarniak, Ł., Wanat, L., Wieruszewski, M., Kusiak, W. (2023). Regional Diversity of Selected Wood By-Products Supply as an Energy Feedstock – the Case of Poland. W: R. Dudik (red.), *Current Trends and Challenges for Forest-Based Sector: Carbon Neutrality and Bioeconomy* (s. 206–210). Prague: WoodEMA, i.a. and Czech University of Life Sciences.
- Ślódowa-Hełpa, M. (2013). Rozwój zintegrowany: warunki, wyzwania [Integrated development: conditions, dimensions, challenges]. Warszawa: CeDeWu [in Polish].
- Stemski, W. (2021). Wpływ metody określania średnicy górnej na wynik miąższości kłód sosnowych. *Sylvan*, 165(2), 109–116.
- Szaban, J., Kornas, M. (2020). Changes in volume, grade and value in poplar timber depending on timber size variants. *Acta Sci. Pol. Silv.*, 19(4), 225–231. <https://doi.org/10.17306/J.AFW.2020.4.24>
- Trzciński, G., Moskalik, T., Wojtan, R., Tymendorf, Ł. (2017). Zmienność ładunków i masy całkowitej zestawów wywozowych przy transporcie drewna. *Sylvan*, 161(12), 1026–1034.
- Trzciński, G., Moskalik, T., Wojtan, R. (2018). Total weight and axle loads of truck units in the transport of timber depending on the timber cargo. *Forests*, 9(4), 164.
- Tymendorf, Ł., Trzciński, G. (2020a). Przejazdy po drogach leśnych i publicznych przy dostawach wielkowymiarowego drewna sosnowego do tartaku. *Sylvan*, 164(8), 651–662. <https://doi.org/10.26202/sylvan.2020045>
- Tymendorf, Ł., Trzciński, G. (2020b). Multi-Factorial Load Analysis of Pine Sawlogs in Transport to Sawmill. *Forests*, 11(4), 366.
- Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 roku Prawo o ruchu drogowym (1997). *Dz. U.*, poz. 1137 i 1448 z późn. zm.
- Wanat, L. (2016). Gospodarka leśna: zrównoważona czy integralna? Dylematy badawcze z perspektywy polskiego rynku drewna okrągłego. *Prz. Leśn.*, 26(09), 26–27.
- Wanat, L. (2023). The Idea of Sylvicultura Oeconomica as a Tool to the University Renew and Promotion Forest Sciences for the Bioeconomy Development. W: R. Dudik (red.), *Current Trends and Challenges for Forest-Based Sector: Carbon Neutrality And Bioeconomy*

- (s. 201–205). Prague: WoodEMA, i.a. and Czech University of Life Sciences.
- Wanat, L., Potkański, T., Chudobiecki, J., Mikołajczak, E., Mydlarz, K. (2018). Inter-sectoral and Intermunicipal Cooperation as a Tool for Supporting Local Economic Development: Prospects for the Forest and Wood-Based Sector in Poland. *Forests*, 9(9), 531, 1. <https://doi.org/10.3390/f9090531>
- Wanat, L., Wieruszewski, M., Kusiak, W. (2022). Wood materials market in Poland—selected development dilemmas in conditions of economic uncertainty. W: R. Nováková (red.), *Crisis management and safety foresight in forest-based sector and SMEs operating in the global environment* (s. 435–440). Trnava: WoodEMA i.a. and Slovak Association for Quality.
- Wieruszewski, M., Wanat, L., Kusiak, W., Sarniak, Ł. (2023). Aspects of the Green Use of Wood By-products from the Sawmill Industry. W: R. Dudik (red.), *Current Trends and Challenges for Forest-Based Sector: Carbon Neutrality and Bioeconomy* (s. 251–258). Prague: WoodEMA i.a. and Czech University of Life Sciences.
- Załącznik nr 1 do Zarządzenia nr 51 DGLP z dnia 30 września 2019 roku. Warunki techniczne – Podział, terminologia i symbole stosowane w obrocie surowcem drzewnym (2019)
- Załącznik nr 5 do Zarządzenia nr 51 DGLP z dnia 30 września 2019 roku. Warunki techniczne – Drewno wielkowieńcowe kładowane iglaste (2019).
- Załącznik nr 7 do Zarządzenia nr 51 DGLP z dnia 30 września 2019 roku Warunki techniczne – Drewno wielkowieńcowe kładowane liściaste (2019).
- Załącznik nr 9 do Zarządzenia nr 51 DGLP z dnia 30 września 2019 roku. Warunki techniczne – Drewno średniewymiarowe (2019).
- Zarządzenie nr 35 DGLP z dnia 14 maja 2004 roku w sprawie tymczasowych zasad odbioru i ewidencji drewna kładowanego iglastego (2004).
- Zarządzenie nr 51 DGLP z dnia 30 września 2019 roku. w sprawie wprowadzenia warunków technicznych stosowanych w obrocie surowcem drzewnym w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe (2019).
- Zarządzenie nr 53 DGLP z dnia 29 czerwca 2012 roku. w sprawie zasad odbioru i obrotu drewna iglastego wyrabianego w kłodach oraz ewidencji surowca drzewnego w jednostkach organizacyjnych Lasów Państwowych (2012).
- Zarządzenie nr 74 DGLP z dnia 27 września 2013 roku. w sprawie zasad odbioru i obrotu drewna iglastego wyrabianego w kłodach w jednostkach organizacyjnych Lasów Państwowych (2013).
- Zasław (2022). Polski producent: przyczepy, naczepy, zabudowy. Pobrano 04.07.2024 z <https://www.zaslaw.pl/>
- Ziółkowski, A., Fuć, P., Lijewski, P., Bednarek, M., Jagielski, A., Kusiak, W., Igielska-Kalwat, J. (2023). The influence of the type and condition of road surfaces on the exhaust emissions and fuel consumption in the transport of timber. *Energies*, 2023, 16(21), 7257. <https://doi.org/10.3390/en16217257>
- Zychowicz, W., Szuchnik, R. (2006). Analysis of effectiveness of long timber loading and unloading with the use of logging truck crane. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. Agriculture (Agricultural Engineering)*, 49, 41–50.

OPTIMIZATION OF TRANSPORT VEHICLE SPACE-FILLING IN LOGISTICS DEPENDING ON ROUNDWOOD ASSORTMENT DIMENSIONS

ABSTRACT

The paper discusses potential optimization of space filling in transport vehicles, which was verified in relation to actual dimensions of transported roundwood assortments. This problem was analysed based on the most important determinants of wood transport in the logistics process, while referring to opinions of entrepreneurs providing transport services for forestry in selected regions of Poland. The study was carried out applying a diagnostic survey, using the technique of individual in-depth interview (IDI). The respondents' answers were subjected to statistical verification. The results were compared and discussed, providing the most important conclusions and recommendations. It was found that the filling rate of transport vehicles' cargo space is a derivative of dimensions of transported timber assortments. Standardizing the length of harvested roundwood may positively affect the effective filling of cargo space and thus optimize forest transport costs.

Keywords: roundwood, logistics, transportation, cargo space, optimization, dimensional classification of timber