

VIII Konferencja naukowa z cyklu „Logistyka dziś i jutro”



LOGISTYKA W PRZEDSIĘBIORSTWACH PRODUKCYJNYCH

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyśle
Instytut Nauk Technicznych

LOGISTYKA W PRZEDSIĘBIORSTWACH PRODUKCYJNYCH

MONOGRAFIA

pod redakcją
Grzegorza Dzieniszewskiego
Macieja Kubonia

Przemyśl, 2025

Materiały z VIII Konferencji Naukowej z cyklu „Logistyka dziś i jutro”
Przemysł 2025

Opracowanie redakcyjne:
Mgr inż. Elżbieta Olech

Recenzenci:
Prof. dr hab. inż. Sławomir Kocira – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Dr hab. inż. Dariusz Kwaśniewski, prof. URK – Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Korekta, łamanie oraz projekt okładki:
Zbigniew Szpila

Redakcja nie odpowiada za treść i formę materiałów nadesłanych.
Opinie wyrażone w artykułach są wyłącznymi opiniami ich autorów.

Wszelkie prawa zastrzeżone.
Rozpowszechnianie i kopiowanie całości lub części publikacji zabronione bez pisemnej
zgody autorów

Druk i oprawa:
NOVA SANDEC
ul. Lwowska 143, 33-300 Nowy Sącz
tel. +48 (18) 547 45 45
e-mail: biuro@novasandec.pl; <http://www.novasandec.pl>
Ark. wyd. 13,58; ark. Druk. 12,25
Nakład: 100 egz.

© Copyright by Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków 2025
Wydanie I

ISBN 978-83-64377-77-8



Wydawnictwo „INŻYNIERIA ROLNICZA”
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków
<https://agriceng.org>; e-mail: redakcja@ptir.org

Spis treści

Belcar J., Gorzelany J.: Zarządzanie logistyką obrotu roślin oleistych na przykładzie nasion rzepaku w wybranym magazynie	5
Dzieniszewski G., Sasiela W.: Wpływ infrastruktury drogowej na rozwój przemysłu .	15
Dzieniszewski G., Sasiela W., Bojarski K.: Ocena struktury floty pojazdów w kontekście bezpieczeństwa ruchu drogowego.....	29
Dzieniszewski G., Sasiela W., Kulesza T. W.: Ocena jakości źródeł napędu środków transportu wewnętrznego w aspekcie ekologicznym i ekonomicznym	41
Juściński, S. Stankiewicz A.: Przewozy transportem kombinowanym w aspekcie inwestycji w nowoczesną infrastrukturę logistyczną	51
Juściński, S. Stankiewicz A.: Rozwój transportu intermodalnego jako warunek efektywnego zarządzania łańcuchem dostaw	73
Lis A., Myślecki J., Smoleń K.: Kosztocłoność transportu wyrobów mleczarskich – studium przypadku okręgowej spółdzielni mleczarskiej w Rawiczu.....	97
Masłowski D., Dendera-Gruszka M., Giera J.: E-edukacja logistyczna. Wyzwania i możliwości kształcenia na odległość w logistyce	111
Nowicka J.: Logistyka w branży mody. Przypadek mikroprzedsiębiorstw	129
Szczygłak P., Markowski P., Choszcz D.: Modelowanie emisji CO ₂ w systemach komunikacji zbiorowej w mieście Olsztyn	143
Wojtkowiak K., Kolankowska E., Markowska-Mendik A., Choszcz D. J.: Logistyka odpadów z rzeźni – ich przetwarzanie, utylizacja i powtórne zagospodarowanie	161
Zając G., Klempka K., Kocwa K., Szyszlak-Bargłowicz J.: Zużycie paliwa autobusów komunikacji miejskiej na przykładzie Lublina.....	175

ZARZĄDZANIE LOGISTYKĄ OBROTU ROŚLIN OLEISTYCH NA PRZYKŁADZIE NASION RZEPAKU W WYBRANYM MAGAZYNIE

Justyna Belcar¹, Józef Gorzelany²

¹ Spółdzielnia Rolników SAN, 36-004 Łąka 598

² Zakład Inżynierii Produkcji Rolno-Spożywczej, Kolegium Nauk Przyrodniczych,
Uniwersytet Rzeszowski

Wstęp

Nasiona rzepaku (*Brassica napus L.*) są podstawowym surowcem w Polsce przerabianym na olej na skalę przemysłową, biopaliwa (biodiesel), pasze dla zwierząt wykorzystywane są również w przemyśle kosmetycznym.

Budowa oraz zawartość składników chemicznych w nasionach rzepaku jest uzależniona od terminu siewu, doboru odpowiedniej odmiany, nawożenia azotowego i warunków środowiskowych (głównie sumy opadów w okresie wegetacyjnym i średnich dobowych temperatur^{1,2}). Coraz więcej rolników stosuje odmiany hybrydowe, które lepiej znoszą niekorzystne warunki atmosferyczne, wykazują większą odporność na choroby grzybowe oraz charakteryzują się wyższą wydajnością plonu z jednostki powierzchni w stosunku do odmian populacyjnych. Istotny z punktu widzenia plonowania jest okres zawiązywania i dojrzewania łuszczyń^{3,4}.

Nasiona rzepaku powinny charakteryzować się wysoką wartością technologiczną, na którą wpływ mają warunki środowiskowe panujące w okresie wegetacji, czas i metoda zbioru

¹ Garratt M.P.D., Bishop J., Degani E., Potts S.G., Shaw R.F., Shi A., Roy S, Insect pollination as agronomic input: Strategies for oilseed rape production. *Journal of Applied Ecology*. 55; 2834-2842, 2018

² Jankowski K.J., Sokólski M., Bogucka B., Dubis B., Micro-granulated starter fertilizer effects on growth and productivity of winter oilseed rape. *Agronomy Journal*. 110(26); 2250-2258, 2018

³ Spychalski B., Pietkiewicz S., Ławicki A., Adamski A., Kalaji H.M., Analiza wzrostu rzepaku ozimego w okresie zawiązywania i wypełniania łuszczyń. *Ecological Engineering*. 19(5); 36-46, 2018

⁴ Miersch S., Gertz A., Breuer F., Schierholt A., Becker H.C., Influence of the Semi-dwarf Growth Type on Nitrogen Use Efficiency in Winter Oilseed Rape. *Crop Science*. 56; 2952-2961, 2016

nasion oraz obróbka poźniwna (w tym suszenie, czyszczenie, przechowywanie oraz transport^{5,6}). Zanieczyszczenia ogółem występujące w rzepaku dzielą się na użyteczne, które obniżają jakość surowca oraz nieużyteczne, które są niedopuszczalne przy przerobieniu rzepaku na olej. Uszkodzenia powierzchni nasion rzepaku występujące w czasie zbioru kombajnowego lub procesów obróbki nasion powodują zwiększenie ryzyka przemian chemicznych i mikrobiologicznych w tym zainfekowania przez mikroorganizmy, co powoduje rozwój chorób oraz obniża wydajność ekstrakcji oleju^{7,8}.

Zawartość wody w nasionach rzepaku poddawanych procesowi zbioru kombajnowego ma istotny wpływ na ich jakość, w tym stopień uszkodzeń mechanicznych, ale także wpływa na możliwość przechowywania nasion w silosach przemysłowych. Zbyt szybki zbiór rzepaku powoduje obniżoną wartość energii kiełkowania, nasiona charakteryzują się wysoką zawartością wolnych kwasów tłuszczowych i chlorofilu, co negatywnie wpływa na ekstrakcję oleju, natomiast opóźniony zbiór powoduje rozbić łuszczyń rzepakowych, utratę nasion i zwiększenie uszkodzeń mechanicznych w czasie omłotu⁹. Im niższa wilgotność nasion, tym większe ryzyko uszkodzeń mechanicznych w procesach technologicznych, ponieważ nasiona są kruche i twarde, co sprzyja powstawaniu uszkodzeń i połówkowaniu nasion. Nasiona rzepaku o wilgotności poniżej 6-7% posiadają najniższy stopień wytrzymałości na uszkodzenia. Zwiększenie zawartości wody powoduje zmniejszenie obciążeń różnych zewnętrznych sił działających na nasiona, ale tylko do pewnego stopnia^{10,11}. Przechowywanie nasion o wysokiej zawartości wody powoduje powstawanie samozagrzewania i zbryleń rzepaku oraz generuje dodatkowe koszty związane z jego suszeniem¹². Duży wpływ na zwiększenie wilgotności nasion rzepaku, nawet do 2%, powoduje wysoki udział zielonych zanieczyszczeń (niedojrzałe nasiona, nasiona chwastów czy części słomy¹³). Rzepak powinien być dostarczony do magazynów czysty oraz suchy i przechowywany w odpowiednich warunkach wilgotności względnej powietrza i temperatury, ponieważ zwiększenie wilgotności nasion

⁵ Kachel-Jakubowska M., Szpryngiel M., Jakość surowca ocenianego na podstawie stopnia uszkodzeń nasion rzepaku. *Inżyniera Rolnicza*. 13/2006; 155-165, 2006

⁶ Tańska M., Rotkiewicz D., Wartość technologiczna frakcji nasiennych rzepaku przechowywanego przez okres jednego roku. *Rośliny Oleiste*. XXIV; 709-716, 2003

⁷ Kachel – Jakubowska M., Szpryngiel M. 2006. Jakość surowca ocenianego na podstawie stopnia uszkodzeń nasion rzepaku. *Inżyniera Rolnicza*. 13/2006; 155-165, 2006

⁸ Tys J., Szwed G., Strobel W., Wartość technologiczna nasion rzepaku uzależniona od technologii zbioru i warunków przechowywania. *Rośliny Oleiste*. XXI; 135-144, 2000

⁹ Ma N., Zhang Ch., Li J., Zhang M., Cheng Y., Li G., Zhang S., Mechanical Harvesting effects on Seed Yield Loss, Quality Traits and Profitability of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Integrative Agriculture*. 11(8); 1297-1304, 2012

¹⁰ Tys J., Kachel M., Rybacki R., Jakość surowca ocenianego na podstawie stopnia uszkodzeń nasion rzepaku. *Rośliny Oleiste*. XXVII; 323-333, 2006

¹¹ Kachel – Jakubowska M., Szpryngiel M., Jakość surowca ocenianego na podstawie stopnia uszkodzeń nasion rzepaku. *Inżyniera Rolnicza*. 13/2006; 155-165, 2006

¹² Tys J., Jankowski K., Wpływ technologii uprawy i zbioru na jakość nasion rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste*. XXIII; 85-94, 2002

¹³ Kroll A., Kaszkowiak J., Ograniczanie strat rzepaku podczas zbioru kombajnem. *Postępy w Inżynierii Mechanicznej*. 1(1)/2013; 43-49, 2013

umieszczonych w silosach i przetrzymywanych przez dłuższy czas wpływa na zwiększenie ryzyka rozwoju pleśni¹⁴.

Olej rzepakowy jest jednym z najzdrowszych produktów z gamy olejów jadalnych, ponieważ w swoim składzie zawiera bioaktywne związki m.in. sterole i tokoferole, posiada pozytywny stosunek NNKT z grupy n-6 (kwas linolowy) do n-3 (kwas linolenowy) (2:1) oraz niski udział kwasów tłuszczowych nasyconych (6-7%)¹⁵. Wśród kwasów tłuszczowych występujących w nasionach rzepaku można wyróżnić niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe, które obniżają poziomu cholesterolu we krwi, odgrywają pozytywną rolę w profilaktyce i leczeniu chorób cywilizacyjnych m.in. miażdżycy, chorób układu krążenia czy udaru mózgu. Przyczyniają się do prawidłowego rozwoju mózgu oraz siatkówki oka. Są niezwykle ważne w diecie podczas ciąży i w karmieniu małych dzieci. Olej rzepakowy znajduje zastosowanie do sałatek, surówek czy zup oraz w produkcji domowych kosmetyków¹⁶.

Charakterystyka magazynu zbożowego

Omawiany magazyn zbożowy należy do spółdzielni rolniczej znajdującej się na terenie województwa podkarpackiego. Wyposażony jest w 3 silosy lejowe, 6 silosów płaskodennych oraz halę magazynową, czyszczalnię i suszarnię daszkową wraz z całą infrastrukturą oraz własne laboratorium. Podstawowym zadaniem magazynu jest skup zboża, jego magazynowanie, konserwowanie oraz redystrybucja, które realizuje się na podstawie przypisanych w zależności od rodzaju zbóż procesów technologicznych.

Logistyka dostaw rzepaku

Logistyka przyjęcia rzepaku obejmuje przyjęcie nasion do magazynu poprzez poszczególne etapy tj. ważenie, pobór próby, przeprowadzenie oceny jakościowej, wyładunek i transport wewnętrzny, oraz w razie potrzeby jego konserwację tj. doczyszczanie i/lub poduszanie (rys. 1.).

Poszczególne etapy technologiczne przyjęcia surowca prowadzą do optymalizacji współpracy pomiędzy podmiotem skupowym a poszczególnymi rolnikami, gdzie obie strony łańcucha logistycznego współdziałają ze sobą¹⁷. Logistyka dostaw w łańcuchu logistycznym wiąże się także z zarządzaniem ryzykiem, które należy oszacować i zminimalizować. Do tego celu wykorzystuje się wiedzę o rynku rolniczym i właściwości jego funkcjonowania¹⁸.

¹⁴ Wroniak M., Chlebowska – Śmigiel A., Wpływ czystości nasion rzepaku i sposobu oczyszczania oleju na wybrane właściwości olejów tłoczonych na zimno. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.* 4(89); 133-149, 2013

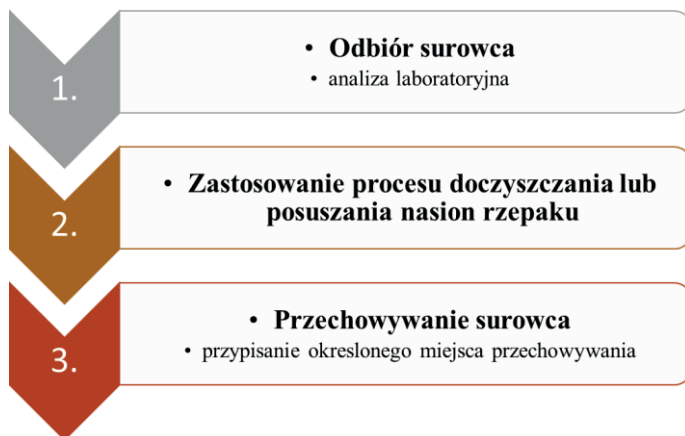
¹⁵ Wroniak M., Chlebowska – Śmigiel A., Wpływ czystości nasion rzepaku i sposobu oczyszczania oleju na wybrane właściwości olejów tłoczonych na zimno. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.* 4(89); 133-149, 2013

¹⁶ Gugała M., Zarzecka K., Sikorska A., Prozdrowotne właściwości oleju rzepakowego. *Postępy Fitoterapii.* 2/2014; 100-103, 2014

¹⁷ Świerczek A., Od łańcuchów dostaw do sieci dostaw. *Logistyka.* 1; 74-77, 2007

¹⁸ Kulińska E., Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw. *Logistyka.* 1; 18-21, 2007

Łańcuch dostaw pozwala na sprawny przepływ strumienia materiałowego w obrębie kooperujących ze sobą podmiotów, celem zapewnienia ciągłości produkcyjnej¹⁹.

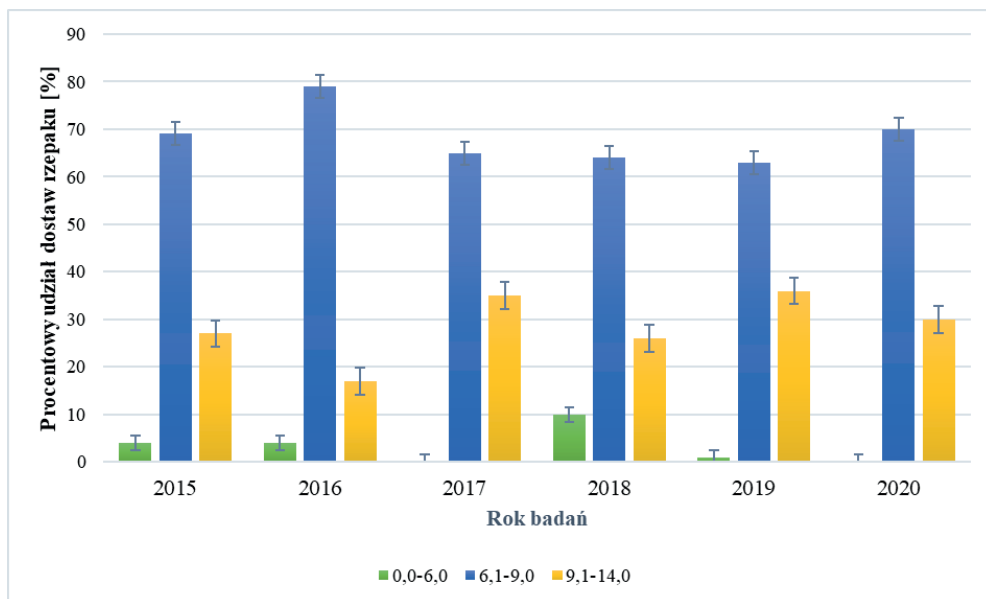


Rysunek 1. Schemat logistyki dostaw surowca do magazynu zbożowego

Magazyn zbożowy posiada własne laboratorium, w którym następuje ocena jakościowa dostarczonego surowca. Na podstawie analizy laboratoryjnej (wilgotność nasion, ciężar właściwy, zawartość oleju i udziału zanieczyszczeń ogółem) przyjęty surowiec jest kierowany do jednego z dwóch zbiorników lejowych o pojemności po 250 ton każdy (gdy musi nastąpić konserwacja rzepaku) lub jednego z dwóch silosów płaskodennych o pojemności 2000 ton każdy (gdy surowiec spełnia wymagania jakościowe). Ziarno niespełniające kryteriów jakości to udział zanieczyszczeń ogółem powyżej 2%, wilgotność nasion powyżej 9%. Innym istotnym parametrem jakościowym jest zawartość oleju, którego wartość nie może być niższa niż 40%, poniżej tej wartości nie stosuje się działań konserwujących, natomiast wykonuje się potrącenie z ceny. Optymalne działanie poszczególnych etapów procesu logistycznego (przyjęcie, rozdział surowców w zależności od ich jakości, przechowywanie i konserwacja) pozwala na przepływ materiałów do zaopatrzenia i produkcji przy jednoczesnym maksymalnym obniżeniu kosztów bezpośrednich i pośrednich²⁰.

¹⁹ Waściński T., Procesy logistyczne w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie. 103; 25-38, 2014

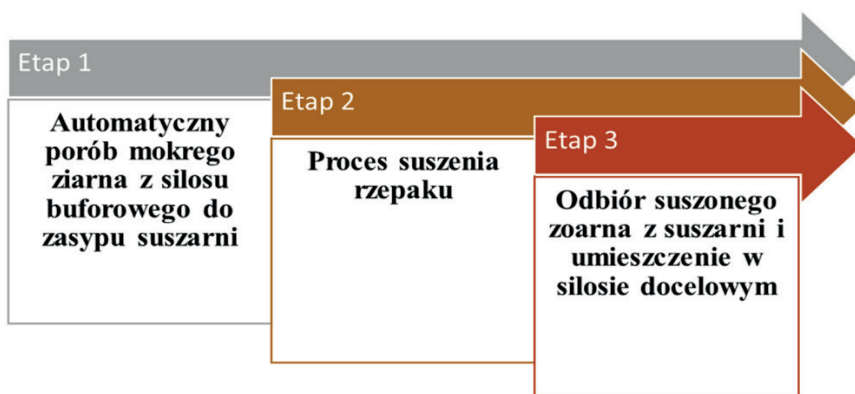
²⁰ Kuziemska B., Pieniak-Lendzion K., Klej P., Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań logistycznych w rolnictwie. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie. 109;173-181, 2016



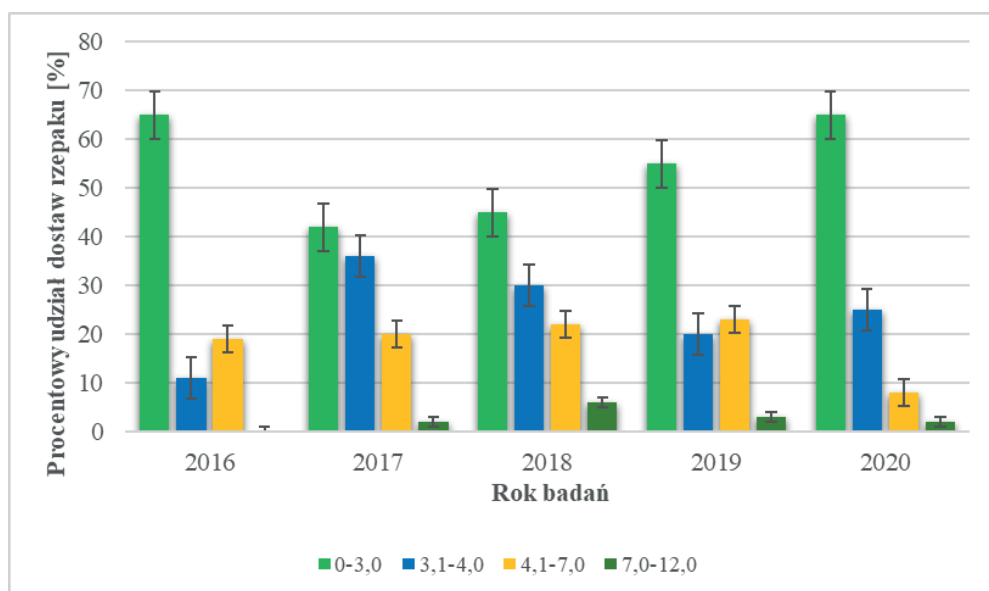
Rysunek 2. Procentowy udział dostaw rzepaku w zależności od wilgotności surowca (%)

W analizowanych latach (2015-2020) większość dostaw rzepaku do magazynu (powyżej 60%) cechowało się normatywną wilgotnością nasion tj. na poziomie od 6,1 do 9,0% (rys. 2). Rok 2018 charakteryzował się wysokim udziałem (około 10%) dostaw rzepaku o wilgotności poniżej 6,1%. Takie ziarno jest, z technologicznego punktu widzenia, niekorzystne ze względu na trudności w trakcie ekstrakcji oleju powodując wysokie nakłady energetyczne związane z tym procesem. W każdym z analizowanych lat na magazyn wjeżdżał rzepak o wilgotności powyżej normy tj. powyżej 9,0% (od około 18% dostaw w roku 2016 do ponad 35% dostaw w roku 2017 i 2019). Wyższa zawartość wody w nasionach rzepaku spowodowana była niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi w okresie żniw. Taki surowiec przed przechowywaniem zostaje poddany procesowi suszenia. W tym celu wilgotny rzepak umieszcza się w silosie buforowym, z którego w sposób automatyczny jest pobierany do suszarni i poddawany procesowi suszenia (rys. 3). Po przejściu sekcji chłodzenia następuje umieszczenie surowca w silosie docelowym i jego przechowywanie.

W analizowanych latach do magazynu dostarczano rzepak na ogół czysty, mieszczący się w normie tj. do 3,0% zanieczyszczeń ogółem (od nieco ponad 40% dostaw w 2017 roku do ponad 65% dostaw w 2015 i 2020 roku). Rok 2017, 2018 i 2020 cechował się najwyższym udziałem (od 20 do prawie 40% dostaw) surowca o nieco podwyższonym udziale zanieczyszczeń ogółem (od 3,1 do 4,0%). W analizowanych latach, za wyjątkiem 2020 roku, około 20% dostaw rzepaku cechowało się zanieczyszczeniami ogółem na poziomie 4,1-7,0%, ponadto w każdym analizowanym roku około 5% dostaw charakteryzowało się udziałem omawianego parametru na poziomie 7,1-12,0% (rys. 4).

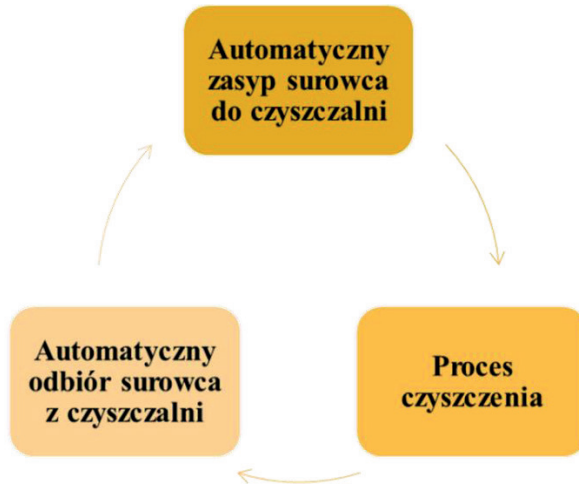


Rysunek 3. Proces suszenia rzepaku

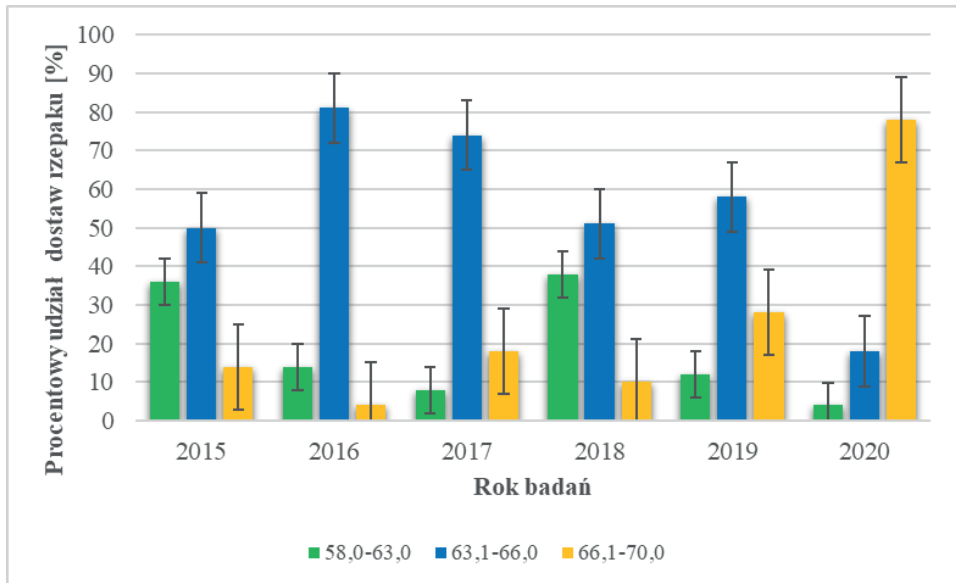


Rysunek 4. Procentowy udział dostaw rzepaku w zależności od udziału zanieczyszczeń w surowcu (%)

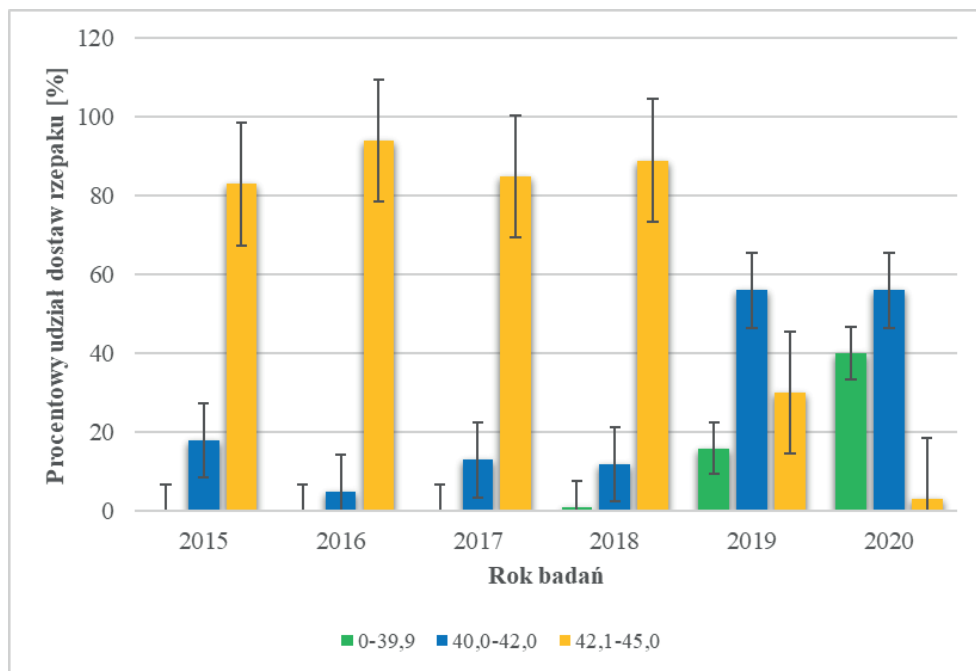
Surowiec o zanieczyszczeniach ogółem powyżej 3,0% jest umieszczany w osobnym silosie i poddawany procesowi czyszczenia. Następuje to w sposób automatyczny poprzez zasyp zanieczyszczonego surowca i sterowanie procesem aż do uzyskania określonego celu. Po tym czasie następuje automatyczny odbiór wyczyszczonego surowca i umieszczanie go w silosie docelowym (rys. 5).



Rysunek 5. Schemat logistyki procesu czyszczenia nasion rzepaku

Rysunek 6. Procentowy udział dostaw rzepaku w zależności od gęstości surowca ($\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$)

Wyższa gęstość usypowa nasion świadczy o ich dobrym wypełnieniu substancjami chemicznymi. Najwyższe wartości omawianego parametru (zakres $66,1\text{--}70\text{ kg}\cdot\text{hl}^{-1}$) zaobserwowano w roku 2020 (prawie 80% dostaw), a w pozostałych analizowanych latach od 50 do 80% dostaw cechowało się gęstością usypową na poziomie $63,1\text{--}66,0\text{ kg}\cdot\text{hl}^{-1}$ (rys. 6).



Rysunek 7. Procentowy udział dostaw rzepaku w zależności od zaolejenia surowca (%)

Zawartość oleju w nasionach rzepaku nie powinna być niższa niż 40,0%. Jest to istotne z technologicznego punktu widzenia, aby można było z określonej ilości nasion wyekstrahować wymaganą ilość oleju. W pierwszych czterech analizowanych latach badań (2015 – 2018) ponad 80% dostaw cechowało się zaolejeniem na poziomie 42,1 – 45,0%. W latach 2019 – 2020 prawie 60% dostaw charakteryzowało się zawartością oleju na poziomie 40,0 – 42,0%. Ponadto w ostatnim omawianym roku badań około 40% dostaw nie spełniało wymagań dotyczących normatywnej zawartości tłuszczu w nasionach rzepaku. Taki surowiec może być przyjęty z potrąceniem za niższe parametry jakościowe, co istotne jest także przy podpisywaniu umów handlowych na warunkach niemieckich tj. przy dopłatach/potrąceniach za wilgotność surowca, jego zanieczyszczenie i zawartość oleju.

Podsumowanie

Magazyn zbożowy znajduje się w centrum pewnego rodzaju sieci logistycznej obejmującej kooperujących z nim rolników (dostawców surowca) oraz zewnętrzne firmy przetwórcze (odbiorcy produktu finalnego). Automatyzacja procesów w łańcuchu logistycznym z odpowiednio dobraną infrastrukturą logistyczną pozwala na zoptymalizowanie pracy magazynu zbożowego i tym samym ograniczanie kosztów pracy przy jednoczesnym utrzymaniu jakości magazynowanego rzepaku. Zarządzanie logistyką przy obrocie nasionami rzepaku jest zadaniem niezwykle trudnym ze względu na jakość surowca, dostępność floty transportowej oraz

dostępną powierzchnię magazynową zarówno u dostawcy, jak również u odbiorcy ale istotne z punktu widzenia obrotu surowcem żywnościowym.

Bibliografia

- Garratt M.P.D., Bishop J., Degani E., Potts S.G., Shaw R.F., Shi A., Roy S., *Insect pollination as agronomic input: Strategies for oilseed rape production*. Journal of Applied Ecology. 55; 2834-2842, 2018
- Gugała M., Zarzecka K., Sikorska A., *Prozdrowotne właściwości oleju rzepakowego*. Postępy Fitoterapii. 2/2014; 100-103, 2014
- Jankowski K.J., Sokółski M., Bogucka B., Dubis B., *Micro-granulated starter fertilizer effects on growth and productivity of winter oilseed rape*. Agronomy Journal. 110(26); 2250-2258, 2018
- Kachel – Jakubowska M., Szpryngiel M., *Jakość surowca ocenianego na podstawie stopnia uszkodzeń nasion rzepaku*. Inżyniera Rolnicza. 13/2006; 155-165, 2006
- Kroll A., Kaszkowiak J., *Ograniczanie strat rzepaku podczas zbioru kombajnem*. Postępy w Inżynierii Mechanicznej. 1(1)/2013; 43-49, 2013
- Kulińska E., *Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw*. Logistyka. 1; 18-21, 2007
- Kuziemska B., Pieniak-Lendzion K., Klej P., *Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań logistycznych w rolnictwie*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie. 109;173-181, 2016
- Ma N., Zhang Ch., Li J., Zhang M., Cheng Y., Li G., Zhang S., *Mechanical Harvesting effects on Seed Yield Loss, Quality Traits and Profitability of Winter Oilseed Rape(Brassica napus L.)*. Journal of Integrative Agriculture. 11(8); 1297-1304, 2012
- Miersch S., Gertz A., Breuer F., Schierholt A., Becker H.C., *Influence of the Semi-dwarf Growth Type on Nitrogen Use Efficiency in Winter Oilseed Rape*. Crop Science. 56; 2952-2961, 2016
- Spychalski B., Pietkiewicz S., Ławicki A., Adamski A., Kalaji H.M., *Analiza wzrostu rzepaku ozimego w okresie zawiązywania i wypełniania łuszczyń*. Ecological Engineering. 19(5); 36-46, 2018
- Świerczek A., *Od łańcuchów dostaw do sieci dostaw*. Logistyka. 1; 74-77, 2007
- Tańska M., Rotkiewicz D., *Wartość technologiczna frakcji nasiennych rzepaku przechowywanego przez okres jednego roku*. Rośliny Oleiste. XXIV; 709-716, 2003
- Tys J., Kachel M., Rybacki R., *Jakość surowca ocenianego na podstawie stopnia uszkodzeń nasion rzepaku*. Rośliny Oleiste. XXVII; 323-333, 2006
- Tys J., Jankowski K., *Wpływ technologii uprawy i zbioru na jakość nasion rzepaku ozimego*. Rośliny Oleiste. XXIII; 85-94, 2002
- Tys J., Szwed G., Strobel W., *Wartość technologiczna nasion rzepaku uzależniona od technologii zbioru i warunków przechowywania*. Rośliny Oleiste. XXI; 135-144, 2000
- Waściński T., *Procesy logistyczne w zarządzaniu łańcuchem dostaw*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie. 103; 25-38, 2014
- Wroniak M., Chlebowska – Śmigiel A., *Wpływ czystości nasion rzepaku i sposobu oczyszczania oleju na wybrane właściwości olejów tłoczonych na zimno*. ŻYWNÓŚĆ. Nauka. Technologia. Jakość. 4(89); 133-149, 2013

Adres do korespondencji: e-mail: justyna.belcar@op.pl

ORCID: Józef Gorzelany 0000-0002-1028-097X

ORCID: Justyna Belcar 0000-0002-2306-8716

WPLYW INFRASTRUKTURY DROGOWEJ NA ROZWÓJ PRZEMYSŁU

Grzegorz Dzieniszewski^{1,2}, Wiktoria Sasiela¹

¹ Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Infrastruktura drogowa odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu warunków gospodarczych, społecznych, a także rozwojowych każdego regionu Podkarpacia. Współczesna ekonomia, która jest oparta na szybkim przepływie towarów, usług i kapitału, wymaga sprawnie funkcjonujących systemów transportowych, które umożliwiają efektywną mobilność oraz integrację przestrzenną¹. Podkarpacie, jako region o specyficznym położeniu geograficznym i historycznym, u schyłku dwudziestego wieku rozpoczęło eliminowanie opóźnień w rozwoju infrastrukturalnym, co było niezbędne do poprawy jego konkurencyjności na tle innych województw Polski oraz Europy².

Znaczenie infrastruktury drogowej dla rozwoju gospodarczego wynika z jej bezpośredniego wpływu na redukcję kosztów transportu, poprawę dostępności rynków oraz zwiększenie atrakcyjności inwestycyjnej³. W przypadku województwa podkarpackiego, będącego obszarem o zróżnicowanej strukturze gospodarczej, rola infrastruktury drogowej jest szczególnie wyrazista. Rozbudowa sieci drogowej przyczynia się do poprawy funkcjonowania lokalnych przedsiębiorstw, sprzyja rozwojowi sektora usługowego oraz turystyki, a także wpływa na integrację regionu z pozostałymi częściami kraju i międzynarodowymi szlakami transportowymi⁴.

Jednym z kluczowych aspektów rozwoju infrastruktury drogowej na Podkarpaciu jest jej strategiczne położenie w pobliżu granicy z Ukrainą oraz Słowacją. Bliskość przejść granicznych oraz dostęp do międzynarodowych korytarzy transportowych, takich jak autostrada A4 i droga ekspresowa S19, otwiera region na nowe możliwości handlowe i inwestycyjne⁵. Równocześnie rozbudowa infrastruktury lokalnej, w tym dróg powiatowych i gminnych, odgrywa

¹ Romer D.: Makroekonomia dla zaawansowanych, PWN, Warszawa, 2022

² Malecki W.: Infrastruktura drogowa a rozwój gospodarki lokalnej, Wydawnictwo UEK, Kraków, 2009

³ Rosik P.: Dostępność transportowa w Polsce: wymiar regionalny i lokalny. IGiPZ PAN, Warszawa, 2012

⁴ Strategia Rozwoju Transportu do 2030 roku. Ministerstwo Infrastruktury, Warszawa, 2021

⁵ Suchecki B.: Infrastruktura transportowa jako czynnik spójności regionów w Polsce, Wydawnictwo UŁ, Łódź, 2010

istotną rolę w aktywizacji obszarów wiejskich, umożliwiając ich mieszkańcom lepszy dostęp do rynków pracy, edukacji oraz usług publicznych⁶.

Województwo podkarpackie, będące jednym z najuboższych regionów w Polsce, od lat zmaga się z problemami strukturalnymi, w tym ograniczoną dostępnością komunikacyjną oraz niską dynamiką inwestycji. Inwestycje w infrastrukturę drogową są więc kluczowym elementem polityki rozwojowej, mającym na celu redukcję barier ekonomicznych i przestrzenny⁷. Projekty takie jak budowa obwodnic, modernizacja istniejących dróg czy rozwój infrastruktury towarzyszącej (np. parkingi, centra logistyczne) mają bezpośredni wpływ na poprawę jakości życia mieszkańców oraz zwiększenie efektywności działań gospodarczych⁸.

Infrastruktura drogowa jako element rozwoju gospodarczego

Infrastruktura drogowa odnosi się do systemu dróg i autostrad wraz z ich elementami towarzyszącymi, takimi jak mosty, wiadukty, tunele, miejsca obsługi podróżnych, sygnalizacja świetlna czy znaki drogowe. Jest to kluczowy składnik infrastruktury technicznej każdego regionu, który umożliwia przepływ osób, towarów i usług, stanowiąc podstawę dla funkcjonowania gospodarki. Znaczenie infrastruktury drogowej wynika z jej wpływu na kluczowe aspekty życia społecznego i gospodarczego⁹. Łączność regionalna i międzynarodowa stanowi jeden z fundamentalnych znaczeń infrastruktury. Infrastruktura drogowa umożliwia spójność terytorialną regionów, co sprzyja rozwijaniu współpracy gospodarczej i społecznej na poziomie krajowym oraz międzynarodowym¹⁰.

Współczesne teorie kładą nacisk na rozwój infrastruktury drogowej w sposób zrównoważony, uwzględniając równowagę między wzrostem gospodarczym a ochroną środowiska. Wykorzystanie inteligentnych systemów transportowych (ITS) i technologii niskoemisyjnych jest jednym z przykładów integracji rozwoju infrastruktury z zasadami ekologii. Rozwój infrastruktury drogowej jest kluczowym elementem polityk regionalnych i krajowych. W Unii Europejskiej i w Polsce przyjmuje się strategię mające na celu poprawę dostępności transportowej i integrację regionów¹¹.

Polityka ta ma na celu zmniejszanie dysproporcji rozwojowych między regionami w UE. W ramach funduszy strukturalnych, takich jak Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego (EFRR), finansowane są projekty związane z modernizacją i budową dróg, np. autostrady A4

⁶ Tomanek R.: Transport w polityce regionalnej Polski, Wydawnictwo UE, Katowice, 2015

⁷ Mrozik K.: Transport drogowy jako czynnik rozwoju regionalnego, Wydawnictwo ZUT, Szczecin, 2019

⁸ Sawicka K.: Via Carpatia jako potencjał rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce Wschodniej, Wydawnictwo UMCS, Lublin, 2016

⁹ Banachowicz A.: Rozwój infrastruktury transportowej w Polsce, PWN, Warszawa, 2016

¹⁰ Krupnik S.: Infrastruktura drogowa a mobilność w regionach peryferyjnych, Wydawnictwo UR, Rzeszów, 2020

¹¹ Fajczak-Kowalska A.: Transport drogowy a gospodarka regionu, Wydawnictwo UŁ, Łódź, 2019

w Polsce Wschodniej oraz inicjatywy takie jak Connecting Europe Facility (CEF), które wspierają budowę kluczowych połączeń drogowych, takich jak Via Carpatia¹².

Infrastruktura drogowa odgrywa fundamentalną rolę w rozwoju społeczno-gospodarczym, wpływając na wiele aspektów życia codziennego oraz funkcjonowanie gospodarki. Infrastruktura ułatwia przemieszczanie się osób między miejscami zamieszkania, pracy, edukacji i usługami. Zapewnia dostępność regionów oddalonych i peryferyjnych, przeciwdziałając ich marginalizacji. Obniża koszty transportu towarów i usług, zwiększając efektywność logistyczną przedsiębiorstw. Przyczynia się do zwiększenia atrakcyjności inwestycyjnej regionów, wpływając na lokalizację nowych zakładów produkcyjnych i centrów logistycznych. Ułatwia dostęp do atrakcji turystycznych, co sprzyja rozwojowi sektora turystyki, gastronomii i hotelarstwa. Wpływa na wzrost liczby turystów krajowych i zagranicznych. Łączy różne obszary, umożliwiając lepszą wymianę handlową i współpracę między regionami. Wspiera integrację społeczności lokalnych z większymi ośrodkami miejskimi.

Teoria produkcji Cobb-Douglasa zakłada, że infrastruktura drogowa jest uważana za jeden z czynników produkcji, podobnie jak kapitał i praca. W modelach wzrostu gospodarczego, takich jak funkcja produkcji Cobb-Douglasa, infrastruktura transportowa wpływa na wydajność innych zasobów, zwiększając efektywność procesów produkcyjnych i dystrybucyjnych. Rozwinięta sieć drogowa redukuje koszty transakcyjne związane z transportem towarów i usług¹³. Obniżenie tych kosztów wpływa na poprawę dostępności rynków oraz zwiększenie konkurencyjności przedsiębiorstw. Infrastruktura drogowa generuje pozytywne efekty zewnętrzne, takie jak poprawa dostępności przestrzennej, integracja regionów oraz zwiększenie mobilności siły roboczej. Efekty te przekładają się na wzrost aktywności gospodarczej i poprawę jakości życia¹⁴.

Na Podkarpaciu kluczowym projektem współfinansowanym ze środków UE jest autostrada A4, będąca częścią sieci TEN-T, oraz droga ekspresowa S19, która integruje region z krajami Europy Środkowo-Wschodniej. Warto zauważyć, że EPS kładzie nacisk na promowanie transportu przyjaznego środowisku, co wpływa na projektowanie dróg z uwzględnieniem ekologii, np. poprzez budowę przejść dla zwierząt, redukcję hałasu oraz stosowanie technologii ograniczających emisję CO₂¹⁵.

Charakterystyka infrastruktury drogowej na Podkarpaciu

Drogi krajowe i wojewódzkie Podkarpacia, leżącego w południowo-wschodniej Polsce, charakteryzują się rozbudowaną, choć wciąż rozwijającą się siecią dróg krajowych i wojewódzkich. Drogi krajowe w regionie pełnią kluczową rolę w łączeniu głównych miast, takich

¹² Szymczak M.: Wpływ modernizacji infrastruktury drogowej na gospodarkę regionalną, Wydawnictwo UR, Rzeszów, 2020

¹³ Skorupski M.: Infrastruktura transportu drogowego w Polsce i jej rola w rozwoju regionalnym, PWN, Warszawa, 2021

¹⁴ Sobański A.: Infrastruktura drogowa jako instrument polityki regionalnej, Wydawnictwo UEK, Kraków, 2018

¹⁵ Lijewski T.: Zrównoważony rozwój infrastruktury transportowej w Polsce, Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa, 2018

jak Rzeszów, Przemyśl, Krosno czy Tarnobrzeg zarówno z innymi województwami, jak i z sąsiednimi krajami – Ukrainą i Słowacją¹⁶.

Do głównych tras krajowych należą m.in. droga krajowa nr 9 (łącząca Rzeszów z Radomiem i Tarnobrzegiem) oraz droga krajowa nr 28 (biegnąca wzdłuż południowej granicy Polski, łącząc Zator z Przemyślem).

Sieć dróg wojewódzkich wspiera lokalne połączenia między mniejszymi miejscowościami i jest kluczowa dla regionalnego transportu towarowego i pasażerskiego. Drogi takie jak DW886 (łącząca Rzeszów z Sanokiem) są szczególnie ważne dla mieszkańców południowych części województwa.

Autostrada A4 stanowi jeden z najważniejszych elementów infrastruktury drogowej Podkarpacia. Jest częścią europejskiego szlaku komunikacyjnego E40, który łączy zachodnią Europę z Ukrainą. Przebiega przez kluczowe miasta regionu, takie jak Rzeszów, Jarosław i Przemyśl, zwiększając dostępność transportową i umożliwiając szybkie połączenia krajowe oraz międzynarodowe¹⁷.

Najważniejszą inwestycją w tej kategorii jest budowa drogi ekspresowej S19, będącej częścią międzynarodowego korytarza Via Carpatia. Trasa ta ma kluczowe znaczenie dla połączenia Podkarpacia z centralną i południową Polską oraz krajami Europy Środkowo-Wschodniej.

Lokalne drogi gminne i powiatowe na Podkarpaciu, choć licznie reprezentowane, często cechują się niską jakością nawierzchni i ograniczoną przepustowością. W południowych, górzystych rejonach regionu, takich jak Bieszczady, infrastruktura lokalna jest szczególnie narażona na trudne warunki klimatyczne i geograficzne, co ogranicza możliwości rozwoju i utrudnia komunikację mieszkańców.

Wpływ infrastruktury drogowej na rozwój przemysłu i gospodarki Podkarpacia

Rozwinięta infrastruktura drogowa stanowi jeden z kluczowych czynników sprzyjających rozwojowi przedsiębiorczości. Dobre połączenia komunikacyjne ułatwiają transport surowców, produktów gotowych oraz dostęp do rynków zbytu, co przyciąga inwestorów krajowych i zagranicznych. Na Podkarpaciu w ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój firm w rejonach przylegających do autostrady A4 i drogi ekspresowej S19. Miasta takie jak Rzeszów, Jarosław czy Dębica stały się atrakcyjnymi lokalizacjami dla nowych przedsiębiorstw z branż produkcyjnych, handlowych i usługowych.

Jednym z najbardziej znanych przykładów wpływu infrastruktury drogowej na rozwój przedsiębiorczości jest Dolina Lotnicza – klaster przemysłowy skupiający firmy z sektora lotniczego. Inwestycje, takie jak zakłady Pratt & Whitney w Rzeszowie czy MTU Aero Engines w Jasionce są bezpośrednio związane z dogodnym dostępem do sieci dróg krajowych i międzynarodowych. Autostrada A4 oraz bliskość drogi ekspresowej S19 umożliwiają szybki transport komponentów lotniczych oraz łatwą logistykę dla dostawców i klientów.

¹⁶ Węclawowicz G.: Problemy dostępności komunikacyjnej regionów w Polsce Wschodniej, PWN, Warszawa, 2018

¹⁷ Wojciechowski J.: Problemy i perspektywy rozwoju transportu drogowego na Podkarpaciu, Wydawnictwo UR, Rzeszów, 2019

Rozwój infrastruktury drogowej wspiera także powstawanie centrów przemysłowych i technologicznych w mniejszych miastach, takich jak Mielec czy Krosno, gdzie rozwijają się zakłady produkcyjne związane z motoryzacją, meblarstwem czy elektroniką.

Podkarpacie, ze względu na swoje położenie geograficzne na granicy z Ukrainą i w pobliżu Słowacji, staje się istotnym punktem na mapie logistyki międzynarodowej. Rozbudowa infrastruktury drogowej, w tym autostrady A4 i drogi ekspresowej S19, umożliwiła powstanie centrów logistycznych w Rzeszowie i jego okolicach. Przykładem jest centrum logistyczne Panattoni w Rzeszowie-Jasionce, które obsługuje międzynarodowe firmy z branż takich jak e-commerce czy dystrybucja produktów spożywczych.

Rozbudowa infrastruktury drogowej znacząco skróciła czas dojazdu między kluczowymi miejscowościami regionu. Przykładem może być odcinek autostrady A4 między Rzeszowem a Jarosławiem, który pozwala na szybkie przemieszczanie się, redukując czas podróży nawet o połowę w porównaniu do dawnych tras krajowych. Skrócenie czasu dojazdu pozytywnie wpływa na efektywność pracy oraz komfort codziennego życia mieszkańców.

Nowoczesna infrastruktura drogowa, w tym autostrady i drogi ekspresowe, przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa podróży. Mniejsza liczba wypadków drogowych na dobrze zaprojektowanych trasach jest efektem zastosowania nowoczesnych rozwiązań, takich jak ronda, separatory pasów ruchu czy inteligentne systemy zarządzania ruchem. Komfort podróży również wzrósł dzięki lepszej jakości nawierzchni i odpowiedniemu oznakowaniu dróg.

Rozbudowa infrastruktury drogowej na Podkarpaciu odgrywa kluczową rolę w gospodarczym i społecznym rozwoju regionu. Jej wpływ widoczny jest w zwiększeniu atrakcyjności inwestycyjnej, poprawie warunków dla przedsiębiorczości i logistyki, rozwoju turystyki oraz podniesieniu jakości życia mieszkańców. W połączeniu z dalszymi inwestycjami infrastrukturalnymi region ma szansę stać się jednym z bardziej dynamicznie rozwijających się obszarów Polski Wschodniej.

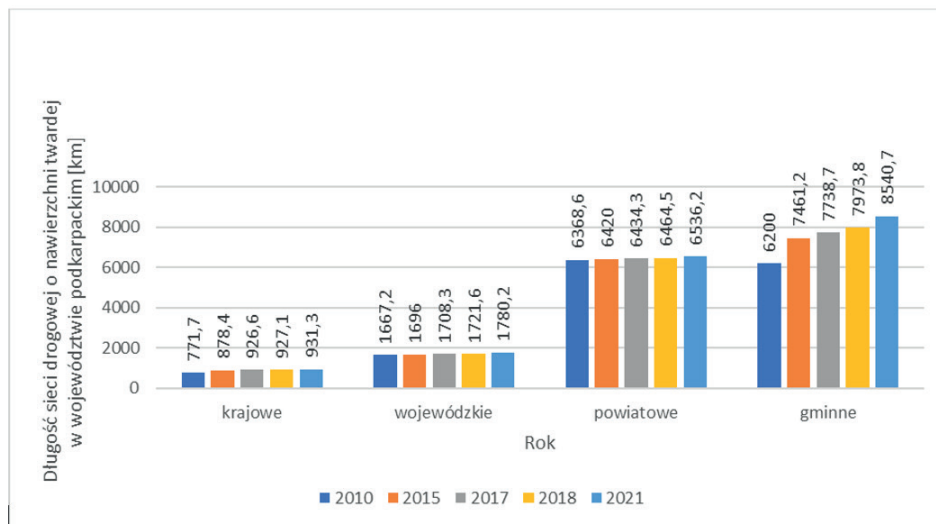
Lepsza infrastruktura drogowa przyczyniła się także do wzrostu bezpieczeństwa na drogach. Nowoczesne trasy z odpowiednimi zabezpieczeniami ograniczyły liczbę wypadków, które wcześniej były problemem na przestarzałych, lokalnych drogach.

Choć rozwój dróg A4 i S19 przynosi wiele korzyści, nie można pominąć kwestii środowiskowych. Budowa nowych arterii wiązała się z ingerencją w naturalne ekosystemy, co wywołało kontrowersje wśród ekologów. Jednak zastosowanie nowoczesnych technologii, takich jak ekrany akustyczne i przejścia dla zwierząt, pozwoliło ograniczyć negatywne oddziaływania na przyrodę.

W perspektywie długoterminowej, lepsza infrastruktura drogowa sprzyja także rozwojowi transportu publicznego i zmniejszeniu emisji spalin, dzięki bardziej płynnemu ruchowi drogowemu.

Analiza wpływu infrastruktury drogowej na rozwój przemysłu i gospodarki Podkarpacia

Rysunek 1 przedstawia długość sieci drogowej o nawierzchni twardej w województwie podkarpackim w latach 2010 – 2021.



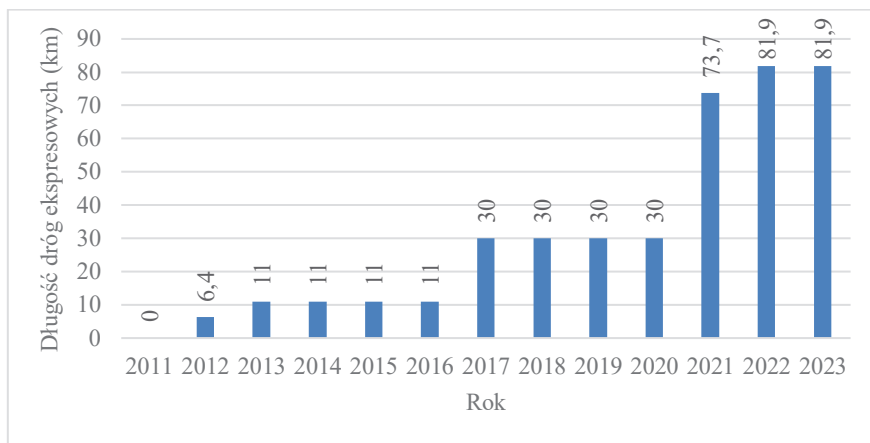
Rysunek 1. Długość sieci drogowej o nawierzchni twardej w województwie podkarpackim w latach 2010–2021

Źródło: opracowanie własne

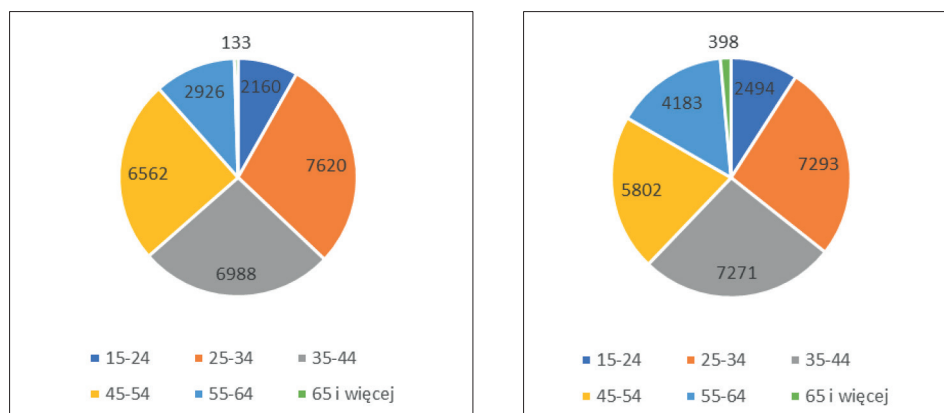
W przytoczonym okresie dokonano podziału na drogi: krajowe, wojewódzkie, powiatowe oraz gminne. We wszystkich kategoriach dróg zauważalny jest wzrost długości sieci drogowej na przestrzeni 11 lat. Oznacza to, że w województwie podkarpackim infrastruktura drogowa była stale rozwijana.

Rysunek 2 ukazuje długość sieci drogowej o nawierzchni twardej w województwie podkarpackim w latach 2010 – 2021.

W roku 2012 na terenie województwa podkarpackiego znajdowało się 6,4 km dróg ekspresowych. Po upływie 11 lat – odnotowano ponad 12 – krotny wzrost ilości kilometrów dróg ekspresowych na Podkarpaciu.



Rysunek 2. Długość dróg ekspresowych na Podkarpaciu w latach: 2011 – 2023

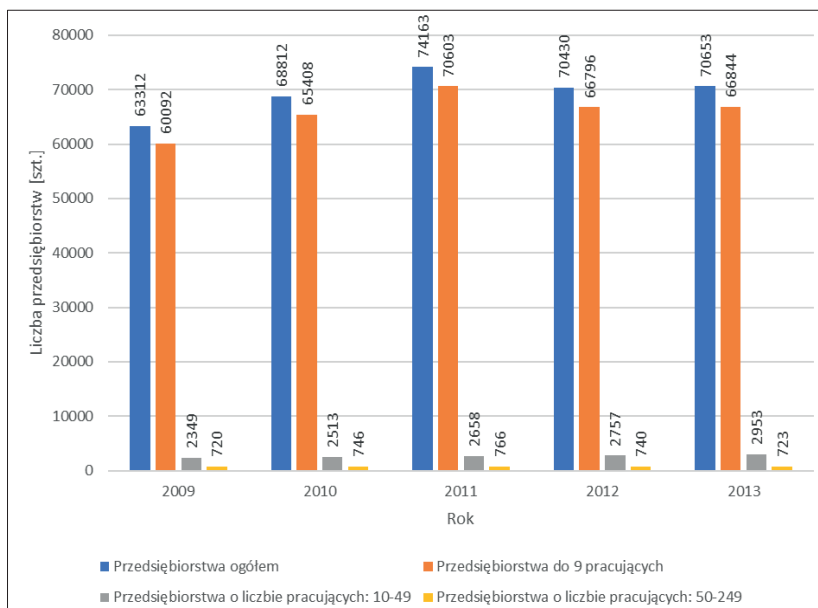
Źródło: opracowanie własne

Rysunek 3. Przyjeżdżający do pracy w Rzeszowie – mężczyźni

Źródło: opracowanie własne

Liczbę mężczyzn przyjeżdżających do pracy w Rzeszowie w 2011 i 2021 roku z podziałem na kategorie wiekowe przedstawiono na rysunku 3. W ciągu 10 lat liczba mężczyzn pracujących w Rzeszowie i dojeżdżających z innych miejscowości wzrosła w grupie wiekowej: 15-24, 35-44, 55-64, 65 i więcej lat.

Na rysunku 4 przedstawiono liczbę przedsiębiorstw w województwie podkarpackim w latach: 2009 – 2013. Zdecydowaną większość stanowiły małe przedsiębiorstwa zatrudniające do 9 osób. Odnotowano wzrost liczby przedsiębiorstw w latach 2009 – 2011. W 2012 roku liczba przedsiębiorstw w województwie podkarpackim zmalała. W roku 2013 zaczęła wzrastać.

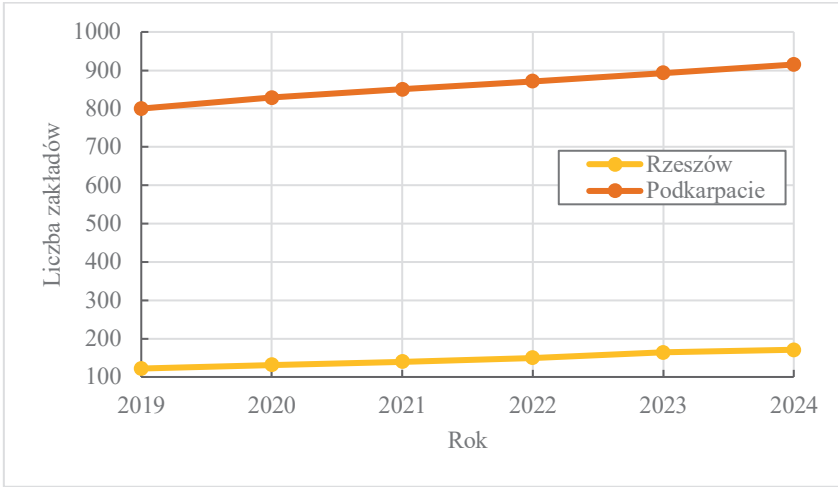


Rysunek 4. Liczba przedsiębiorstw według klas wielkości w województwie podkarpackim

Źródło: opracowanie własne

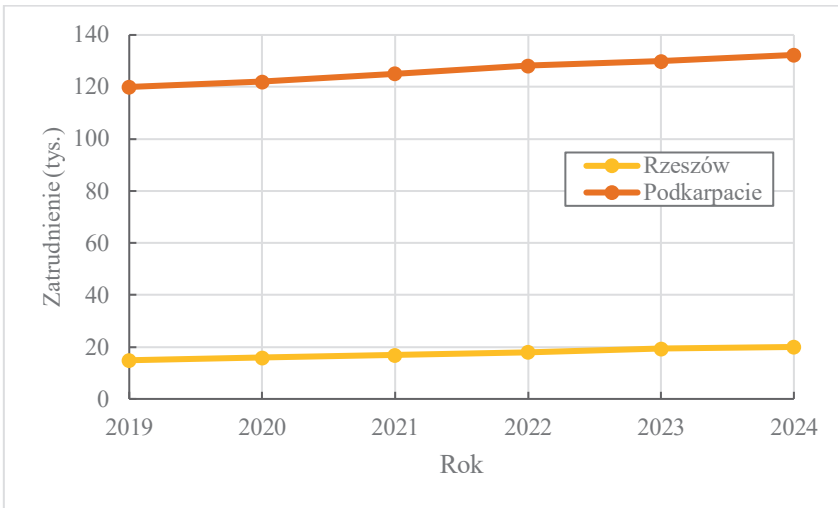
Rysunek 5 przedstawia liczbę zakładów przemysłowych w Rzeszowie i na Podkarpaciu w latach 2019–2024. Widoczny jest stały wzrost w przypadku obu lokalizacji. Liczba zakładów w Rzeszowie rośnie szybciej, co wskazuje na dynamiczny rozwój miasta jako ważnego centrum przemysłowego regionu. Na Podkarpaciu wzrost jest równomierny, co odzwierciedla stabilny rozwój całego województwa.

Na rysunku 6 zobrazowano zmiany zatrudnienia w sektorze przemysłowym w Rzeszowie i na Podkarpaciu w latach 2019–2024. Zauważalny jest wzrost zatrudnienia w Rzeszowie, co sugeruje, że miasto przyciąga więcej inwestorów i generuje nowe miejsca pracy. Na Podkarpaciu ogólny trend również wskazuje na wzrost zatrudnienia, choć w tempie bardziej umiarkowanym.



Rysunek 5. Liczba zakładów przemysłowych

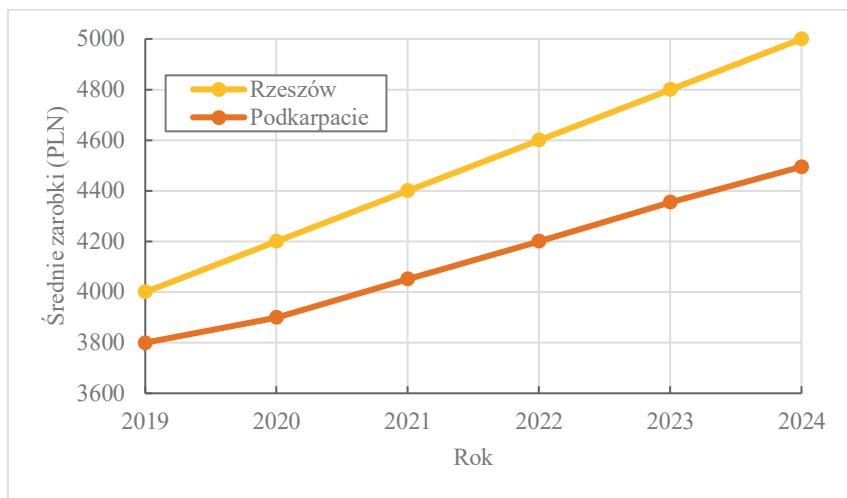
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 6. Zatrudnienie w przemyśle

Źródło: opracowanie własne

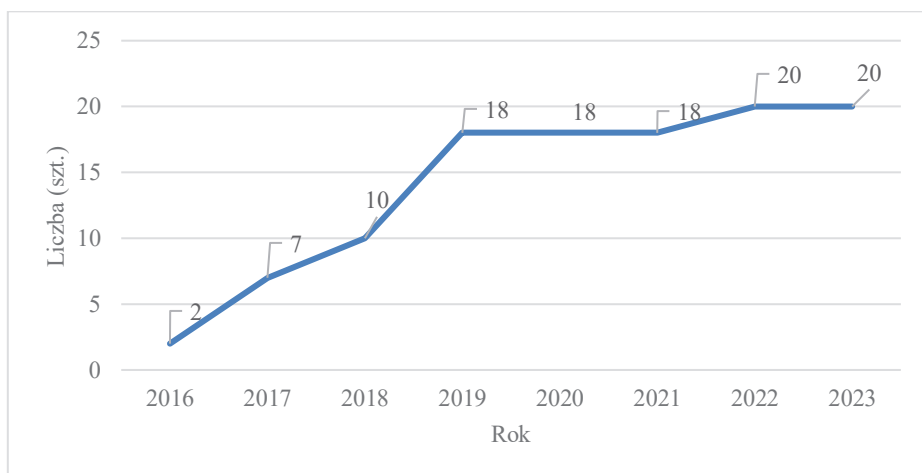
Rysunek 7 ilustruje dynamikę średnich wynagrodzeń w przemyśle w Rzeszowie i na Podkarpaciu. Średnie zarobki w Rzeszowie były wyższe niż w województwie podkarpackim przez cały analizowany okres, a różnica między nimi stopniowo się zwiększa. Wzrost płac może wynikać z większej ilości inwestycji przemysłowych oraz napływu wysoko wykwalifikowanych pracowników.



Rysunek 7. Średnie zarobki w przemyśle

Źródło: opracowanie własne

System Parkuj i Jedź polega na pozostawieniu przez kierowców pojazdu prywatnego na parkingu zlokalizowanym na peryferiach większych miast. Następnie podróż do centrum miasta kontynuuje się dobrze zorganizowaną komunikacją zbiorową. Wpływa to na zmniejszenie kongestii w centrach dużych miast – a co za tym idzie do ograniczenia emisji cząstek stałych w miastach. Na rysunku 8 przedstawiono wzrost liczby parkingów w systemie Park & Ride na Podkarpaciu do 2023 roku. Na przestrzeni 7 lat – w analizowanym województwie powstało 20 parkingów.



Rysunek 8. Liczba parkingów w systemie Parkuj i Jedź (Park&Ride) na Podkarpaciu

Źródło: opracowanie własne

Tabela 1 przedstawia współczynnik aktywności zawodowej osób w wieku 18 – 59/64 lata w województwie podkarpackim, a także dla powiatu rzeszowskiego w latach 2019 – 2023.

Analizując tabelę, zauważyć można wzrost aktywności zawodowej na przestrzeni lat zarówno w województwie podkarpackim, jak i w powiecie m. Rzeszów. W przypadku powiatu m. Rzeszów analizowany współczynnik wzrastał do 2022 roku, natomiast w 2023 roku utrzymał się na tym samym poziomie (81,3%).

Tabela 1. Współczynnik aktywności zawodowej w województwie podkarpackim

Jednostka terytorialna/rok	2019	2020	2021	2022	2023
Województwo podkarpackie	69%	69,8%	71,6%	71,6%	73,7%
Powiat miasta Rzeszów	79%	78,0%	80,8%	81,3%	81,3%

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Rozwój infrastruktury drogowej stanowi kluczowy element wspierający wzrost gospodarczy, poprawę jakości życia mieszkańców oraz integrację przestrzenną regionów. W przypadku Podkarpacia, które cechuje się specyficznymi uwarunkowaniami geograficznymi, społecznymi i gospodarczymi, infrastruktura drogowa odgrywa szczególną rolę w przezwyciężaniu barier rozwojowych i wzmacnianiu potencjału regionu¹⁸. Mimo znaczących postępów w ostatnich latach, wiele obszarów województwa nadal boryka się z problemami w zakresie dostępności komunikacyjnej, bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz modernizacji istniejących szlaków transportowych.

Główne problemy obejmują ograniczoną sieć dróg o wysokim standardzie technicznym, niewystarczającą liczbą połączeń międzyregionalnych oraz opóźnienia w realizacji kluczowych inwestycji, takich jak drogi ekspresowe i obwodnice miast. Problemy te utrudniają pełne wykorzystanie potencjału regionu, w tym jego atrakcyjności turystycznej, logistycznej oraz inwestycyjnej. Dodatkowym czynnikiem jest potrzeba uwzględnienia aspektów ekologicznych w planowaniu i realizacji inwestycji drogowych, co wiąże się z wymogami zrównoważonego rozwoju.

Wpływ infrastruktury drogowej na rozwój gospodarczy regionu, takiego jak Podkarpacie, można analizować z dwóch perspektyw: społecznej i technicznej. Pierwsza z nich dotyczy ogólnych zasad postępu, sprawiedliwości społecznej i zrównoważonego rozwoju, podczas gdy druga skupia się na mierzalnych aspektach, takich jak dostępność komunikacyjna, efektywność inwestycji czy dane statystyczne dotyczące ruchu drogowego. Obie te perspektywy są niezbędne do pełnego zrozumienia roli, jaką odgrywa infrastruktura drogowa w dynamice rozwoju społeczno-gospodarczego regionu.

¹⁸ Nowak M.: Ekonomiczne aspekty rozwoju transportu drogowego w Polsce, Wydawnictwo UMCS, Lublin, 2017

Z ekonomicznego i społecznego punktu widzenia infrastruktura drogowa jest nie tylko technicznym rozwiązaniem problemów transportowych, ale także wyrazem fundamentalnych wartości społeczeństwa, takich jak mobilność, wolność i dostęp do zasobów. Drogi symbolizują połączenie – nie tylko w sensie fizycznym, ale także społecznym i kulturowym. Na Podkarpaciu, regionie o zróżnicowanej topografii i historycznych barierach komunikacyjnych, poprawa infrastruktury drogowej jest szczególnie istotna dla przezwyciężenia podziałów przestrzennych.

Konkludując, warto zauważyć, że z jednej strony techniczne dane pokazują, iż poprawa infrastruktury drogowej przynosi wymierne korzyści w postaci wzrostu PKB regionu, zmniejszenia bezrobocia czy zwiększenia liczby inwestycji. Z drugiej strony, społeczna refleksja nad tymi danymi zwraca uwagę na konieczność równowagi między rozwojem a zachowaniem spójności społecznej i ekologicznej.

Podkarpacie, jako region o bogatym dziedzictwie kulturowym i przyrodniczym, powinno dążyć do tego, aby rozwój infrastruktury drogowej nie prowadził do utraty tych wartości. W tym kontekście kluczowe jest projektowanie dróg w sposób minimalizujący ich negatywny wpływ na środowisko i życie lokalnych społeczności.

Rozwój dróg na Podkarpaciu jest nie tylko kwestią techniczną, ale także wyzwaniem wymagającym równoważenia interesów ekonomicznych, społecznych i środowiskowych. Tylko takie holistyczne podejście pozwoli na stworzenie infrastruktury, która będzie służyła wszystkim mieszkańcom regionu i przyczyniała się do jego trwałego rozwoju.

Bibliografia

- Banachowicz A.: Rozwój infrastruktury transportowej w Polsce, PWN, Warszawa, 2016
- Fajczak-Kowalska A.: Transport drogowy a gospodarka regionu, Wydawnictwo UŁ, Łódź, 2019
- Krupnik S.: Infrastruktura drogowa a mobilność w regionach peryferyjnych, Wydawnictwo UR, Rzeszów, 2020
- Lijewski T.: Zrównoważony rozwój infrastruktury transportowej w Polsce, Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa, 2018
- Malecki W.: Infrastruktura drogowa a rozwój gospodarki lokalnej, Wydawnictwo UEK, Kraków, 2009
- Mrozik K.: Transport drogowy jako czynnik rozwoju regionalnego, Wydawnictwo ZUT, Szczecin, 2019
- Nowak M.: Ekonomiczne aspekty rozwoju transportu drogowego w Polsce, Wydawnictwo UMCS, Lublin, 2017
- Romer D.: Makroekonomia dla zaawansowanych, PWN, Warszawa, 2022
- Rosik P.: Dostępność transportowa w Polsce: wymiar regionalny i lokalny. IGiPZ PAN, Warszawa, 2012
- Sawicka K.: Via Carpatia jako potencjał rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce Wschodniej, Wydawnictwo UMCS, Lublin, 2016
- Skorupski M.: Infrastruktura transportu drogowego w Polsce i jej rola w rozwoju regionalnym, PWN, Warszawa, 2021
- Sobański A.: Infrastruktura drogowa jako instrument polityki regionalnej, Wydawnictwo UEK, Kraków, 2018
- Strategia Rozwoju Transportu do 2030 roku. Ministerstwo Infrastruktury, Warszawa, 2021
- Sucecki B.: Infrastruktura transportowa jako czynnik spójności regionów w Polsce, Wydawnictwo UŁ, Łódź, 2010

- Szymczak M.: Wpływ modernizacji infrastruktury drogowej na gospodarkę regionalną, Wydawnictwo UR, Rzeszów, 2020
- Tomanek R.: Transport w polityce regionalnej Polski, Wydawnictwo UE, Katowice, 2015
- Węclawowicz G.: Problemy dostępności komunikacyjnej regionów w Polsce Wschodniej, PWN, Warszawa, 2018
- Wojciechowski J.: Problemy i perspektywy rozwoju transportu drogowego na Podkarpaciu, Wydawnictwo UR, Rzeszów, 2019

Adres do korespondencji: g.dzieniszewski@pansp.pl

ORCID: Grzegorz Dzieniszewski 0000-0002-2712-1131

ORCID: Wiktoria Sasiela 0009-0002-2915-8314

OCENA STRUKTURY FLOTY POJAZDÓW W KONTEKŚCIE BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO

Grzegorz Dzieniszewski^{1,2}, Wiktoria Sasiela¹, Kamil Bojarski¹

¹ Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Bezpieczeństwo ruchu drogowego stanowi jeden z fundamentalnych filarów polityki transportowej – zarówno w ujęciu ogólnokrajowym, jak i w wymiarze lokalnym. W szczególności w środowisku miejskim, gdzie natężenie ruchu drogowego osiąga wysokie wartości, a rozwój infrastruktury nie zawsze nadąża za rosnącymi wymaganiami mobilności, konieczne staje się prowadzenie szczegółowych analiz czynników wpływających na bezpieczeństwo uczestników ruchu. Jednym z kluczowych, choć często marginalizowanych, czynników jest wiek eksploatowanych pojazdów¹.

Z punktu widzenia skutków zdarzeń drogowych oraz wpływu na jakość infrastruktury transportowej, wiek pojazdów odgrywa istotną rolę – może on znacząco determinować zarówno prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji, jak i skalę ich konsekwencji².

W literaturze przedmiotu wielokrotnie akcentowane jest znaczenie wieku pojazdu jako istotnego czynnika ryzyka w kontekście bezpieczeństwa ruchu drogowego. Jak wskazuje J. Sienkiewicz „starsze pojazdy, zwłaszcza te o niskiej jakości technicznej, stanowią poważne zagrożenie na drogach, gdyż ich stan techniczny może nie odpowiadać współczesnym normom bezpieczeństwa”³. Co istotne, starsze modele pojazdów często nie są wyposażone w nowoczesne systemy wspomagania bezpieczeństwa, takie jak ABS, ESP czy zaawansowane systemy wspomagania kierowcy, które w nowych samochodach stają się standardem⁴.

W podobnym tonie wypowiadają się autorzy opracowania „Zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego”, wskazując, że „wiek pojazdów ma bezpośredni wpływ na liczbę

¹ Basiewicz T., Gołaszewski A., Rudziński L.: Infrastruktura transportu, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2007

² Dąbrowski M., Kowalczyk S., Trawiński G.: Diagnostyka pojazdów samochodowych. Podręcznik do nauki zawodu technik pojazdów samochodowych, WSIP, Warszawa, 2018

³ Gawlik Z.: Przewodnik po przepisach prawnych w zakresie badań technicznych pojazdów, Auto-Transbud, Kraków, 2017

⁴ Łukasik Z., Kuśmińska-Fijałkowska A., Kołodziejczyk P.: Analiza stanu bezpieczeństwa na polskich drogach, Bezpieczeństwo i ekologia, Autobusy, 2016

wypadków drogowych, a w przypadku starszych samochodów ryzyko poważniejszych obrażeń zwiększa się o 30% w porównaniu z nowymi pojazdami”⁵.

Czynniki wpływające na bezpieczeństwo ruchu drogowego

Bezpieczeństwo ruchu drogowego stanowi efekt współdziałania licznych czynników, które w sposób zróżnicowany wpływają na prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń drogowych⁶. Zrozumienie charakterystyki oraz wzajemnych zależności tych determinant jest kluczowe dla formułowania skutecznych strategii mających na celu ograniczenie liczby wypadków oraz minimalizację ich skutków. W literaturze przedmiotu wskazuje się na szerokie spektrum zmiennych oddziałujących na poziom bezpieczeństwa, które z uwagi na ich charakter można podzielić na cztery główne kategorie: czynniki związane z pojazdami, infrastrukturą drogową, uczestnikami ruchu oraz uwarunkowaniami środowiskowymi⁷.

Pojazd jako element systemu transportowego odgrywa istotną rolę w kształtowaniu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Wiek pojazdu, jego stan techniczny oraz poziom zaawansowania zastosowanych technologii mają bezpośrednie przełożenie na poziom ryzyka wypadków⁸.

Jak zauważa J. Sienkiewicz „wiek pojazdów ma istotny wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego, zwłaszcza jeśli chodzi o pojazdy starsze, które mogą nie spełniać współczesnych standardów bezpieczeństwa”. Wraz z wiekiem pojazdu następuje degradacja komponentów technicznych, co – przy braku odpowiedniej konserwacji – zwiększa ryzyko awarii i ogranicza skuteczność działania systemów bezpieczeństwa biernego i czynnego⁹.

Utrzymanie pojazdu w odpowiednim stanie technicznym jest jednym z warunków koniecznych do jego bezpiecznego użytkowania. Zgodnie z analizami M. Nowaka „niewłaściwie utrzymany pojazd, zwłaszcza w trudnych warunkach pogodowych, może być przyczyną wielu wypadków, a stan techniczny samochodu ma bezpośredni wpływ na czas reakcji kierowcy”¹⁰.

Współczesne pojazdy coraz częściej wyposażane są w zaawansowane systemy wspomagania kierowcy (ADAS), które mają istotny potencjał w ograniczaniu liczby kolizji. Badania K. Kowalskiego dowodzą, że „nowoczesne systemy wspomagające kierowcę, takie jak automatyczne hamowanie awaryjne, mają kluczowe znaczenie w minimalizowaniu ryzyka wypadków, szczególnie w sytuacjach awaryjnych”¹¹.

⁵ Rajchel K., Wieczorek S.: Wypadki drogowe w świetle badań, Erwico, Rzeszów, 2000

⁶ Wojciechowski G.: Bezpieczeństwo ruchu drogowego w miastach, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2016

⁷ Sienkiewicz J.: Bezpieczeństwo ruchu drogowego w Polsce, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 2013

⁸ Kozak M., Nowak J.: Innowacje w transporcie i ich wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2021

⁹ Dzieniszewski G., Kuboń M.: Aktualne problemy transportu Tom II, Podkarpackie forum transportu i logistyki, Kraków, 2017

¹⁰ Nowak M.: Zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2015.

¹¹ Cieślak M.: Bezpieczeństwo na drogach – Analiza wypadków i ich przyczyn, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 2022

Człowiek pozostaje najsłabszym ogniwem systemu transportowego, a jego zachowania, kompetencje i stan psychofizyczny mają bezpośredni wpływ na poziom bezpieczeństwa drogowego. Nieprawidłowe postawy i błędy kierowców, takie jak nadmierna prędkość, prowadzenie pojazdu pod wpływem substancji psychoaktywnych czy zmęczenie, są jednymi z głównych przyczyn wypadków. Jak zauważa Wojciechowski „wielu wypadków można by uniknąć, gdyby kierowcy przestrzegali podstawowych zasad bezpieczeństwa i stosowali się do przepisów ruchu drogowego”¹².

Aspekty kulturowe, takie jak sposób wzajemnego traktowania uczestników ruchu, przestrzeganie norm współzycia drogowego czy skłonność do agresywnych zachowań, w istotnym stopniu kształtują środowisko bezpieczeństwa na drogach.

Jakość, projektowanie i utrzymanie infrastruktury drogowej mają bezpośrednie przełożenie na bezpieczeństwo użytkowników dróg¹³.

Warunki zewnętrzne w których odbywa się ruch drogowy, stanowią zmienne trudne do kontrolowania, lecz istotne z punktu widzenia analizy ryzyka.

Statystyki i tendencje w strukturze wieku pojazdów

W Polsce średni wiek pojazdów użytkowanych w ruchu drogowym jest relatywnie wysoki w porównaniu do standardów państw Europy Zachodniej. Z danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) wynika, iż w 2021 roku przeciętny wiek zarejestrowanego samochodu osobowego wynosił ok. 14 lat. Co istotne, aż 43,6% pojazdów przekraczało 10 lat, a niemal 30% całej floty stanowiły pojazdy starsze niż 15 lat¹⁴. Jedynie około 10% samochodów użytkowanych w Polsce to pojazdy w wieku do 3 lat, co istotnie ogranicza udział nowoczesnych technologii bezpieczeństwa w całej flocie.

Taka struktura wiekowa wynika w znacznej mierze z intensywnego importu samochodów używanych, w szczególności z rynku niemieckiego i francuskiego. Sprowadzane pojazdy mają zazwyczaj od kilku do kilkunastu lat i niejednokrotnie posiadają już znaczący przebieg eksploatacyjny, co zwiększa prawdopodobieństwo usterek technicznych, a tym samym – ryzyko wystąpienia awarii mających wpływ na bezpieczeństwo¹⁵.

W starszych pojazdach obserwuje się częstsze występowanie defektów takich jak zużyte elementy zawieszenia, niesprawny układ hamulcowy, korozja konstrukcji nośnej czy przestarzałe układy oświetlenia, co obniża nie tylko komfort, ale przede wszystkim bezpieczeństwo jazdy – zarówno dla kierującego, jak i pozostałych uczestników ruchu drogowego.

W tabeli 1 przedstawiono strukturę wieku pojazdów w Przemysłu.

¹² Wojciechowski G.: Bezpieczeństwo ruchu drogowego w miastach, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2016

¹³ Reński A.: Bezpieczeństwo czynne samochodu. Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2011

¹⁴ Główny Urząd Statystyczny, Transport i łączność w Polsce – Stan floty samochodowej. GUS, Warszawa, 2022

¹⁵ Prochowski L., Żuchowski A.: Właściwości nadwozia w zakresie pochłaniania energii podczas uderzenia samochodu w sztywną przeszkodę, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2006

Tabela 1. Struktura wieku pojazdów w Przemysłu

Przedział wiekowy pojazdu	Liczba pojazdów	Udział procentowy (%)
0–5 lat	2 150	17,2
6–10 lat	3 480	27,8
11–15 lat	4 300	34,4
>15 lat	2 500	20,6

Źródło: Opracowanie własne

Zmiana tej struktury w kierunku większego udziału pojazdów nowych mogłaby przyczynić się nie tylko do poprawy jakości powietrza, ale również zwiększenia bezpieczeństwa i komfortu użytkowników dróg.

W tabeli 2 przedstawiono liczbę wypadków z udziałem pojazdów wg przedziałów wiekowych w Przemysłu.

Tabela 2. Liczba wypadków z udziałem pojazdów wg przedziałów wiekowych

Przedział wiekowy pojazdu	Liczba wypadków	Średnia liczba wypadków na 1000 pojazdów
0–5 lat	15	7,0
6–10 lat	28	8,0
11–15 lat	60	14,0
>15 lat	70	18,0

Źródło: Opracowanie własne

Analiza danych zawartych w tabeli 2, dotyczących liczby wypadków oraz średniej liczby wypadków na 1000 pojazdów w zależności od wieku pojazdu wskazuje na wyraźną zależność między wiekiem samochodu a ryzykiem uczestnictwa w zdarzeniach drogowych. Najmniej wypadków odnotowano w grupie pojazdów nowych, czyli w wieku 0 – 5 lat – łącznie 15 zdarzeń, co przekłada się na najniższy wskaźnik wypadkowości wynoszący 7 wypadków na 1000 pojazdów. Wraz z wiekiem pojazdów liczba wypadków systematycznie rośnie.

Samochody w wieku 6 – 10 lat uczestniczyły w 28 wypadkach, co daje średni wskaźnik 8 wypadków na 1000 pojazdów, natomiast w grupie wiekowej 11 – 15 lat odnotowano już 60 wypadków, czyli 14 na 1000 pojazdów. Najgorsze wyniki dotyczą pojazdów starszych niż 15 lat – 70 wypadków, co oznacza aż 18 zdarzeń na 1000 pojazdów. Dane te wskazują jednoznacznie, że ryzyko wypadku znacząco wzrasta wraz z wiekiem pojazdu. Struktura wieku pojazdów eksploatowanych w mieście Przemysłu wykazuje charakterystyczne cechy odzwierciedlające ogólnopolskie trendy, jednak z istotnymi uwarunkowaniami wynikającymi z lokalnej specyfiki demograficznej, ekonomicznej oraz geograficznej. Dane pozyskane z rejestrów lokalnych oraz stacji diagnostycznych wskazują, że przeciętny wiek pojazdów użytkowanych na terenie Przemysłu jest zbliżony lub nieznacznie wyższy niż średnia krajowa, oscylując wokół 14 – 15 lat.

W strukturze floty miejskiej zauważa się znaczący udział pojazdów starszych niż 10 lat, które stanowią ponad 45% wszystkich zarejestrowanych pojazdów, co koreluje z obserwowanym w Polsce zjawiskiem importu samochodów używanych. Taka demografia pojazdów

ma istotny wpływ na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego, co potwierdzają również analizy dotyczące przyczyn wypadków rejestrowanych na terenie Przemysłu.

W tabeli 3 przedstawiono przykładowe usterki techniczne wpływające na bezpieczeństwo ruchu drogowego.

Tabela 3. Przykładowe usterki techniczne wpływające na bezpieczeństwo ruchu drogowego

Typ usterki	Częstotliwość występowania (%)
Zużycie układu hamulcowego	28%
Niesprawne oświetlenie	22%
Luz w układzie kierowniczym	18%
Uszkodzenia zawieszenia	16%
Zły stan ogumienia	16%

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie tabeli 3, można wnioskować, że starsze pojazdy eksploatowane w mieście cechują się częstszymi defektami technicznymi, w tym problemami z układami hamulcowymi, oświetleniem oraz zawieszeniem, co zostało potwierdzone przez wyniki przeglądów technicznych prowadzonych na lokalnych stacjach diagnostycznych. Ponadto, ograniczony dostęp do nowoczesnych systemów bezpieczeństwa, takich jak ABS, ESP czy systemy wspomagające kierowcę, znacznie zwiększa podatność na wypadki, zwłaszcza w warunkach miejskiego natężenia ruchu, gdzie szybkość reakcji i stabilność pojazdu mają kluczowe znaczenie.

W perspektywie długoterminowej, poprawa struktury wieku pojazdów w Przemysłu jest możliwa dzięki zwiększającej się dostępności środków finansowych oraz politykom lokalnym wspierającym wymianę floty na pojazdy nowsze i bardziej ekologiczne, w tym elektryczne i hybrydowe. Inicjatywy takie jak programy dofinansowań czy preferencje podatkowe mogą przyczynić się do odmłodzenia taboru pojazdów, co w konsekwencji przełoży się na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego w mieście.

Analiza przypadków diagnostycznych

Wnioski z analizy omówionej w poprzednim rozdziale stanowiły podstawę do przeprowadzenia analiz przypadków diagnostycznych monitorowanych w stacji diagnostycznej w Przemysłu w okresie od listopada 2024 do kwietnia 2025 roku.

Przeanalizowano kilka spektakularnych przypadków w których drastyczne odstępstwa od prawidłowego stanu technicznego wykazywały oczywisty związek przyczynowo skutkowy z możliwością zaistnienia wypadu drogowego indukowanego stanem technicznym pojazdu.

Analizowanym przypadkiem było rozregulowanie zbieżności w pojeździe marki BMW (rys. 1) spowodowane uszkodzeniem tulei zawieszenia.



Rysunek 1. Uszkodzone zawieszenie

Źródło: Opracowanie własne

Zużycie tulei zawieszenia następuje stopniowo i często jest przez kierowców ignorowane w początkowej fazie. Do najczęstszych objawów należą stuki i hałasy dochodzące z zawieszenia podczas pokonywania nierówności, a także niestabilność kierunkowa – samochód może „pływać” na drodze lub nie reagować prawidłowo na ruchy kierownicy. Często występuje też przyspieszone, nierównomierne zużycie opon, a także wibracje odczuwalne na kierownicy. Nawet wielokrotne ustawianie geometrii kół nie przynosi rezultatów, jeśli przyczyną problemów jest zużyta tuleja. W modelach takich jak BMW serii 3 (E46, E90), serii 5 (E60) czy SUV-ach typu X3 (E83), problem ten występuje szczególnie często, głównie ze względu na konstrukcję zawieszenia i obciążenia wynikające z dynamicznej jazdy.

Na rysunku 2 przedstawiono stan wizualny tulei.

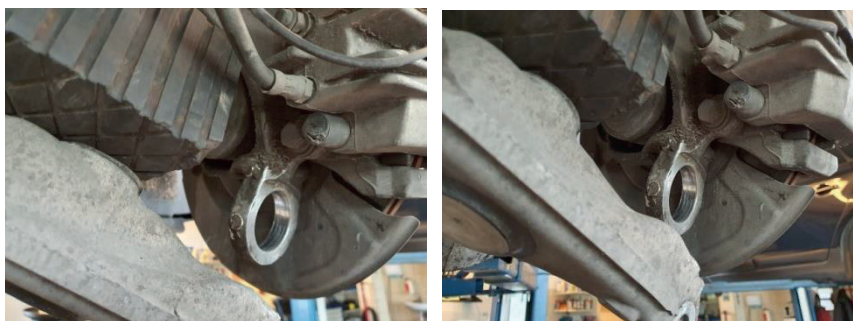


Rysunek 1. Uszkodzone tuleje

Źródło: Opracowanie własne

Konsekwencje zaniedbania wymiany zużytych tulei mogą być poważne. Poza obniżonym komfortem jazdy, wzrasta ryzyko utraty kontroli nad pojazdem, wydłużenia drogi hamowania czy nawet uszkodzenia innych elementów zawieszenia. Przeciążone komponenty szybciej się zużywają, co generuje dodatkowe koszty napraw. Dlatego też producenci i mechanicy zalecają regularne przeglądy układu zawieszenia, szczególnie po osiągnięciu przebiegu powyżej 100 000 kilometrów lub przy zauważeniu pierwszych objawów zużycia.

Na rysunku 3 przedstawiono demontaż tulei metalowo-gumowej.



Rysunek 3. Demontaż tulei

Źródło: Opracowanie własne

Zużyta lub niewłaściwie zamontowana tuleja metalowo–gumowa ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Tuleje odpowiadają za stabilne prowadzenie pojazdu, tłumienie drgań i utrzymanie prawidłowej geometrii zawieszenia. Gdy są uszkodzone lub źle zamontowane, może dojść do nadmiernych luzów w zawieszeniu, co skutkuje pogorszoną reakcją układu kierowniczego, trudnościami w utrzymaniu toru jazdy oraz wydłużeniem drogi hamowania. W skrajnych przypadkach może dojść do oderwania elementu zawieszenia od nadwozia, co stanowi poważne zagrożenie dla kierowcy, pasażerów i innych uczestników ruchu. Dlatego prawidłowy stan i montaż tulei to kluczowy element zapewnienia bezpieczeństwa podczas jazdy.

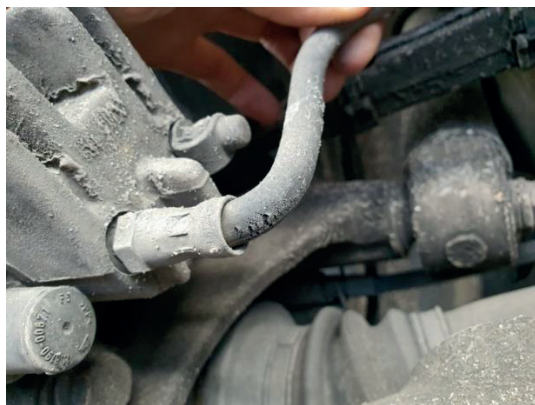
Stan po wymianie przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Montaż tulei

Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 5 przedstawia krytyczne uszkodzenie przewodu hamulcowego.



Rysunek 5. Uszkodzenie krytyczne przewodu hamulcowego

Źródło: Opracowanie własne

Krytyczne uszkodzenie przewodu hamulcowego stanowi jedno z najpoważniejszych zagrożeń dla bezpieczeństwa jazdy. Przewody hamulcowe odpowiadają za przekazywanie ciśnienia z pompy hamulcowej do zacisków lub cylinderków przy kołach. W przypadku ich pęknięcia, przetarcia lub rozszczelnienia dochodzi do utraty ciśnienia w układzie, co skutkuje całkowitym lub częściowym brakiem siły hamowania. Taka sytuacja może uniemożliwić zatrzymanie pojazdu w nagłym przypadku, co stwarza bezpośrednie ryzyko wypadku – szczególnie przy dużej prędkości, w ruchu miejskim lub na zakrętach. Dodatkowo, nagła utrata hamulców może wywołać panikę u kierowcy, co jeszcze bardziej zwiększa ryzyko kolizji.

Po naprawie dokonano kontroli geometrii zawieszenia a wynik pomiaru geometrii pojazdu przedstawiono na rysunku 6.

Klient:			Data: 2021-05-07 10:31			
Firma:			VIN			
Numer			Technik:			
Przebieg:			Nr zlecenia:			
WYNIKI POMIARU GEOMETRII ZAWIESZENIA						
BMW, 2008, 5 SERIES (E60), Sedan AWD Standard Suspension 18" Wheels						
Kąty podstawowe			Początkowe	Specyfikacje		Końcowe
				Min	Maks	
Przód	WSZ	Lewy	----	----	----	----
		Prawy	----	----	----	----
	Pochylenie koła	Lewy	-1°14'	-0°45'	0°05'	-1°11'
		Prawy	-0°52'	-0°45'	0°05'	-0°53'
	Zbieżność	Lewy	0°14'	0°04'	0°08'	0°06'
		Prawy	-0°02'	0°04'	0°08'	0°07'
		Całkowita	0°12'	0°08'	0°16'	0°13'
Tył	Pochylenie koła	Lewy	-1°27'	-2°05'	-1°55'	-2°02'
		Prawy	-1°55'	-2°05'	-1°55'	-2°01'
	Zbieżność	Lewy	0°19'	0°07'	0°11'	0°08'
		Prawy	0°22'	0°07'	0°11'	0°08'
		Całkowita	0°41'	0°14'	0°22'	0°17'
		Kąt geometrycznej osi jazdy	0°01'	0°12'		0°00'
Kąty wtórne			Początkowe	Specyfikacje		Końcowe
				Min	Maks	
PSZ		Lewy	----	----	----	----
		Prawy	----	----	----	----
Poch. koła + PSZ		Lewy	----	----	----	----
		Prawy	----	----	----	----
Różn.k. skrętu		Lewy	----	1°23'	2°23'	----
		Prawy	----	1°23'	2°23'	----
Maks. skręt - koło zew.		Lewy	----	39°42'	39°42'	----
		Prawy	----	39°42'	39°42'	----
Zmiana krzywej zbieżności		Lewy	----	----	----	----
		Prawy	----	----	----	----
Przesunięcie kół na osi	Przód		-3mm	----	----	-4mm
	Tył		-21mm	----	----	-19mm
Różnica rozstawu kół			0mm			0mm
Nierównoległość osi			18mm			15mm
wysokość zawieszenia - przód		Lewy	----	622mm	642mm	----
		Prawy	----	622mm	642mm	----
Wysokość zawieszenia - tył		Lewy	----	601mm	621mm	----
		Prawy	----	601mm	621mm	----
Kąt ramy						----

Rysunek 6. Zestawienie wyników geometrii

Źródło: Opracowanie własne

Podsumowanie i wnioski

Analiza wieku floty pojazdów jest jednym z kluczowych elementów zrozumienia bezpieczeństwa ruchu drogowego. Wiek pojazdów przekłada się nie tylko na ich sprawność techniczną, ale również na poziom bezpieczeństwa, jaki mogą zapewnić użytkownikom i innym uczestnikom ruchu¹⁶. W Polsce średni wiek samochodu osobowego sięga około 14 lat, a niemal 30% pojazdów ma powyżej 15 lat. Ten stosunkowo wysoki wiek floty jest znaczącym czynnikiem ryzyka, który wymaga szczegółowej analizy oraz skutecznych działań naprawczych.

Starsze pojazdy z reguły cechują się wyższym stopniem zużycia mechanicznego elementów zawieszenia, układu hamulcowego, kierowniczego czy silnika. Zużycie tych kluczowych układów technicznych skutkuje pogorszeniem ich efektywności działania, co bezpośrednio przekłada się na ryzyko awarii w trakcie eksploatacji. Dodatkowo, starsze pojazdy rzadziej wyposażone są w nowoczesne systemy bezpieczeństwa czynnego i biernego, takie jak ABS, ESP, systemy wspomagania hamowania, poduszki powietrzne czy zaawansowane czujniki monitorujące otoczenie. Brak tych rozwiązań skutkuje zwiększonym zagrożeniem podczas trudnych sytuacji drogowych.

Na podstawie przeprowadzonej w pracy analizy, można wysunąć następujące wnioski:

- zróżnicowana struktura wiekowa floty pojazdów w Przemysłu, z istotnym udziałem pojazdów starszych niż 15 lat (28%), wskazuje na potencjalne zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego wynikające z wyeksploatowania podzespołów mechanicznych oraz braku nowoczesnych systemów bezpieczeństwa czynnego i biernego,
- starsze pojazdy eksploatowane w mieście cechują się częstszymi defektami technicznymi, w tym problemami z układami hamulcowymi, oświetleniem oraz zawieszeniem,
- współczesne pojazdy coraz częściej wyposażane są w zaawansowane systemy wspomagania kierowcy, które mają istotny potencjał w ograniczaniu liczby kolizji.

Bibliografia

- Basiewicz T., Gołaszewski A., Rudziński L.: Infrastruktura transportu, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2007
- Cieślak M.: Bezpieczeństwo na drogach – Analiza wypadków i ich przyczyn, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 2022
- Dąbrowski M., Kowalczyk S., Trawiński G.: Diagnostyka pojazdów samochodowych. Podręcznik do nauki zawodu technik pojazdów samochodowych, WSIP, Warszawa, 2018
- Dzieniański G., Kuboń M.: Aktualne problemy transportu Tom II, Podkarpackie forum transportu i logistyki, Kraków, 2017
- Gawlik Z.: Przewodnik po przepisach prawnych w zakresie badań technicznych pojazdów, Auto-Transbud, Kraków, 2017
- Główny Urząd Statystyczny, Transport i łączność w Polsce – Stan floty samochodowej. GUS, Warszawa, 2022

¹⁶ Łata K.: Bezpieczeństwo na drogach, Wydawnictwo Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji, Kraków, 2001.

- Kozak M., Nowak J.: Innowacje w transporcie i ich wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2021
- Łukasik Z., Kuśmińska-Fijałkowska A., Kołodziejczyk P., Analiza stanu bezpieczeństwa na polskich drogach, Bezpieczeństwo i ekologia, Autobusy, 2016
- Nowak M.: Zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2015
- Rajchel K., Wieczorek S.: Wypadki drogowe w świetle badań, Erwico, Rzeszów, 2000
- Reński A.: Bezpieczeństwo czynne samochodu. Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2011
- Wojciechowski G.: Bezpieczeństwo ruchu drogowego w miastach, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2016

Adres do korespondencji: g.dzieniszewski@pansp.pl

ORCID: Grzegorz Dzieniszewski 0000-0002-2712-1131

ORCID: Wiktoria Sasiela 0009-0002-2915-8314

OCENA JAKOŚCI ŹRÓDEŁ NAPĘDU ŚRODKÓW TRANSPORTU WEWNĘTRZNEGO W ASPEKCIE EKOLOGICZNYM I EKONOMICZNYM

Grzegorz Dzieniszewski^{1,2}, Wiktoria Sasiela¹, Tomasz Wojciech Kulesza¹

¹ Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Dynamiczny rozwój gospodarki światowej, intensyfikacja procesów produkcyjnych oraz rosnące znaczenie logistyki powodują, że transport wewnętrzny odgrywa kluczową rolę w sprawnym funkcjonowaniu przedsiębiorstw przemysłowych, handlowych i usługowych. Wózki widłowe, systemy przenośników, pojazdy AGV (*Automated Guided Vehicles*), czy inne środki transportu bliskiego stały się nieodzownym elementem współczesnych łańcuchów dostaw. Jednocześnie, w dobie rosnącej świadomości ekologicznej i presji ekonomicznej, wybór odpowiednich źródeł napędu środków transportu wewnętrznego staje się przedmiotem intensywnych analiz zarówno w środowisku naukowym, jak i biznesowym¹.

W literaturze przedmiotu wskazuje się, że kluczowym problemem związanym z eksploatacją transportu wewnętrznego jest równoczesne pogodzenie wymagań środowiskowych i ekonomicznych. Z jednej strony przedsiębiorstwa dążą do redukcji emisji gazów cieplarnianych i poprawy efektywności energetycznej, z drugiej zaś konieczne jest minimalizowanie kosztów eksploatacyjnych i inwestycyjnych². Tradycyjne rozwiązania oparte na silnikach spalinowych ustępują miejsca napędom elektrycznym i hybrydowym, które charakteryzują się niższą emisyjnością oraz coraz korzystniejszym bilansem kosztowym³.

W kontekście globalnych strategii zrównoważonego rozwoju, takich jak Europejski Zielony Ład (*European Green Deal*), coraz większą uwagę zwraca się na wdrażanie nowoczesnych, przyjaznych środowisku technologii w logistyce wewnętrznej (Komisja Europejska, 2019). Tendencje te potwierdzają raporty międzynarodowych instytucji, m.in. International Energy Agency, które wskazują na dynamiczny wzrost udziału pojazdów elektrycznych

¹ Jacyna M.: Modelowanie i ocena systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2009

² Fijałkowski J.: Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003

³ Grzelak A., Konecka S.: Zrównoważony rozwój w logistyce i transporcie. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 2022

w różnych segmentach transportu⁴. W przypadku transportu wewnętrznego obserwuje się szczególne zainteresowanie rozwiązaniami bateryjnymi (Li-Ion, LiFePO₄), a także badaniami nad wykorzystaniem wodoru jako alternatywnego źródła energii⁵.

Głównym problemem badawczym w niniejszej pracy jest ocena jakości źródeł napędu wykorzystywanych w transporcie wewnętrznym, uwzględniająca zarówno aspekt ekologiczny, jak i ekonomiczny.

Aspekty ekologiczne i ekonomiczne różnych źródeł napędu

Ocena jakości oraz efektywności różnych źródeł napędu w transporcie wewnętrznym wymaga przyjęcia jednoznacznych kryteriów porównawczych. W literaturze przedmiotu oraz praktyce gospodarczej najczęściej wyróżnia się kryteria ekologiczne, ekonomiczne, techniczne oraz organizacyjne. Ich właściwe zdefiniowanie pozwala na przeprowadzenie analizy porównawczej poszczególnych technologii i wyciągnięcie wniosków dotyczących zasadności ich stosowania w danych warunkach eksploatacyjnych⁶.

Do podstawowych kryteriów ekologicznych należy przede wszystkim emisja gazów cieplarnianych oraz substancji szkodliwych, takich jak tlenki azotu (NO_x), tlenki siarki (SO_x) czy cząstki stałe. Ważnym aspektem jest również poziom hałasu generowanego przez pojazd, który wpływa na komfort pracy w zamkniętych pomieszczeniach. W literaturze wskazuje się, że coraz większego znaczenia nabiera również ocena cyklu życia (LCA – *Life Cycle Assessment*), obejmująca emisje i koszty środowiskowe związane z produkcją, eksploatacją oraz utylizacją danego środka transportu⁷.

Koszty zakupu i eksploatacji stanowią jedno z kluczowych kryteriów przy wyborze źródła napędu w transporcie wewnętrznym. Analiza ta pozwala przedsiębiorstwom określić opłacalność inwestycji oraz przewidzieć wydatki związane z utrzymaniem floty pojazdów w perspektywie długoterminowej⁸.

Koszty inwestycyjne różnią się w zależności od rodzaju napędu. Pojazdy spalinowe charakteryzują się relatywnie niską ceną zakupu w porównaniu do elektrycznych i wodorowych. Napędy elektryczne wymagają droższych baterii, natomiast napędy hybrydowe i wodorowe łączą koszt silnika spalinowego lub elektrycznego z dodatkowymi elementami, takimi jak ogniwa paliwowe czy systemy magazynowania energii. W przypadku wodorowych wózków widłowych lub pojazdów przemysłowych koszty zakupu mogą być kilkukrotnie wyższe niż

⁴ Brol R.: Rozwój napędów elektrycznych – kierunki rozwoju, Technika Transportu Szynowego, 2015

⁵ Gołębska E.: Kompendium wiedzy o logistyce, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010

⁶ Trzyniec K., Kurpaska S., Stachurska M.: Sztuczna inteligencja w systemach telematycznych wspierających logistykę. W: Tendencje rozwojowe w transporcie i logistyce, Inżynieria Rolnicza, Przemysł, 2022

⁷ Kowalczyk Z., Twardowski S., Malinowski M., Kuboń M.: Life cycle assessment (LCA) and energy assessment of the production and use of windows in residential buildings, Scientific Reports, 2023

⁸ Poskrobko B. (red.): Zarządzanie środowiskiem. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne (PWE), Warszawa, 2021

w przypadku wersji spalinowej, co stanowi istotną barierę dla ich szybkiego wdrożenia⁹. Napęd wodorowy stanowi przyszłościowe rozwiązanie, jednak wymaga dalszego rozwiązania istniejących nadal problemów technicznych, głównie w zakresie bezpieczeństwa źródeł napędu¹⁰.

Analiza TCO umożliwia przedsiębiorstwu wybór technologii napędu najbardziej opłacalnej w długim okresie eksploatacji. Przykładowo, pojazdy elektryczne mogą mieć wyższy koszt zakupu niż spalinowe, ale niższe koszty eksploatacyjne i serwisowe prowadzą do niższego całkowitego kosztu posiadania w perspektywie kilku lat. W przypadku napędów hybrydowych lub wodorowych kalkulacja TCO pozwala uwzględnić zarówno wysokie koszty inwestycyjne, jak i potencjalne oszczędności wynikające z niższej emisji, mniejszego zużycia energii lub krótszych przestojów¹¹. Tabela 1 przedstawia przykładowe kalkulacje dla 5 letniego okresu eksploatacji pojazdów.

Tabela 1. Przykładowa kalkulacja dla 5 letniego okresu eksploatacji

Typ pojazdu	Koszt zakupu	Koszty energii/paliwa	Koszty serwisu	Koszty części	TCO 5 lat
Spalinowy	100 000 zł	146 000 zł	25 000 zł	20 000 zł	291 000 z
Elektryczny	140 000 zł	9100 zł	15 000 zł	30 000 zł	194 100 zł
Hybrydowy	130 000 zł	90 000 zł	20 000 zł	25 000 zł	265 000 zł
Wodorowy	180 000 zł	50 000 zł	18 000 zł	35 000 z	283 000 zł

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych flotowych

Analiza TCO pokazuje, że mimo wyższego kosztu zakupu pojazd elektryczny może okazać się najbardziej opłacalny w dłuższym okresie, głównie dzięki niskim kosztom energii i serwisowania.

Stosowanie TCO pozwala porównać technologie napędowe pod kątem rzeczywistych kosztów posiadania, a nie tylko ceny zakupu. Umożliwia to planowanie floty w sposób optymalny zarówno ekonomicznie, jak i środowiskowo, uwzględniając czynniki takie jak emisja spalin, hałas czy wpływ na bezpieczeństwo i komfort pracy operatorów.

Omawiana analiza umożliwia przedsiębiorstwu wybór technologii napędu najbardziej opłacalnej w długim okresie eksploatacji. Przykładowo, pojazdy elektryczne mogą mieć wyższy koszt zakupu niż spalinowe, ale niższe koszty eksploatacyjne i serwisowe prowadzą do niższego całkowitego kosztu posiadania w perspektywie kilku lat. W przypadku napędów hybrydowych lub wodorowych kalkulacja TCO pozwala uwzględnić zarówno wysokie koszty inwestycyjne, jak i potencjalne oszczędności wynikające z niższej emisji, mniejszego zużycia energii lub krótszych przestojów.

⁹ Szuster M.: Wózki widłowe z napędem elektrycznym – kierunki rozwoju. Technika Transportu Szybnego, 2020

¹⁰ Merkiś J., Pielecha J.: Alternatywne napędy pojazdów. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2021

¹¹ Piekarski W.: Zrównoważony rozwój w transporcie wewnętrznym – aspekty ekologiczne i techniczne, Inżynieria Ekologiczna, 2013

Kalkulacja kosztów całkowitych (TCO) jest nieodzownym elementem oceny opłacalności napędów w transporcie wewnętrznym. Uwzględniając zarówno wydatki inwestycyjne, jak i koszty eksploatacji, części zamiennych, pracy operatorów i utylizacji, przedsiębiorstwa mogą podejmować decyzje w pełni świadome ekonomicznie i środowiskowo¹².

Analiza porównawcza wybranych źródeł napędu

Ocena porównawcza różnych technologii napędowych w transporcie wewnętrznym wymaga zastosowania odpowiednio dobranej metodyki badawczej, która pozwoli na obiektywne zestawienie analizowanych rozwiązań. Metodyka ta powinna obejmować zarówno aspekty ekonomiczne, jak i ekologiczne, aby umożliwić przedsiębiorstwom podejmowanie racjonalnych decyzji inwestycyjnych¹³.

Kryteria powinny odzwierciedlać zarówno perspektywę ekonomiczną, jak i środowiskową. W literaturze najczęściej uwzględnia się¹⁴:

- koszty zakupu, eksploatacji i serwisowania,
- emisję zanieczyszczeń i CO₂,
- zużycie energii i zasobów naturalnych,
- poziom hałasu i uciążliwości środowiskowych,
- żywotność pojazdu i dostępność części zamiennych.

Analiza floty transportu wewnętrznego w magazynie przemysłowym

Aby lepiej zilustrować porównanie różnych rodzajów napędów stosowanych w transporcie wewnętrznym, przeprowadzono analizę przypadku magazynu regionalnego firmy zajmującej się handlem sprzętu AGD/RTV. Firma dysponuje flotą 25 wózków widłowych, z których część oparta jest na napędzie spalinowym (diesel i LPG), a część na napędzie elektrycznym. Ze względu na plany modernizacji parku maszynowego zarząd rozważał również wdrożenie pilotażowego rozwiązania w postaci wózków wodorowych.

Obecna struktura parku transportowego przedstawia się następująco:

- 15 wózków spalinowych (10 zasilanych LPG, 5 zasilanych olejem napędowym),
- 8 wózków elektrycznych z akumulatorami litowo-jonowymi,
- 2 wózki testowe z ogniwami paliwowymi (pozyskane w ramach projektu badawczo-rozwojowego).

Wózki wykorzystywane są w pracy trzyczmianowej, w cyklu 5–6 dni w tygodniu, co oznacza intensywną eksploatację i wysokie obciążenie jednostek napędowych.

W oparciu o dane dostarczone przez dział techniczny przedsiębiorstwa oszacowano średnie koszty eksploatacyjne w przeliczeniu na jeden wózek widłowy:

¹² Szumska E., Pawełczyk M.: Porównanie TCO autobusów miejskich z hybrydowym i konwencjonalnym układem napędowym, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, 2017

¹³ Błaszczuk P., Barański S.: Zarys metodyki TCO dla analizy zasadności wprowadzania elektrycznych środków transportu drogowego, Przegląd Elektrotechniczny, 2021

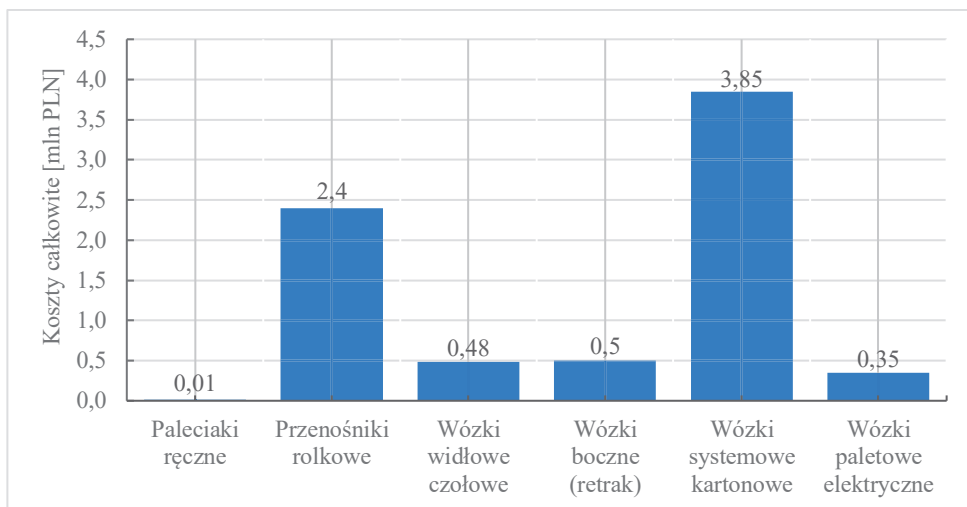
¹⁴ Dworecki Z., Adamski M., Fiszer A., Łoboda M.: Analiza porównawcza kosztów energii zawartej w paliwach na podstawie ich cen. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, 2012

- napęd spalinowy (LPG/diesel): koszt paliwa ok. 35–45 zł/godz. pracy, częste przerwy serwisowe, wymiana olejów i filtrów co kilka miesięcy,
- napęd elektryczny: koszt energii ok. 10–12 zł/godz., niższe koszty serwisu (brak wymiany oleju, mniejsze zużycie części mechanicznych), jednak konieczność planowania cykli ładowania,
- napęd wodorowy: koszt paliwa w przeliczeniu na godzinę pracy to obecnie ok. 30–35 zł, przy czym dostępność infrastruktury tankowania jest ograniczona, a inwestycja w stację wodorową stanowi znaczący wydatek (ok. 4–5 mln zł).

Przedsiębiorstwo podkreślało, że wózki elektryczne i wodorowe znacząco poprawiają warunki pracy – brak emisji spalin i redukcja hałasu to istotny atut w przestrzeniach zamkniętych, takich jak hale magazynowe. W przypadku wózków spalinowych szczególnie uciążliwa jest emisja CO₂ oraz tlenków azotu (NOx), co wiąże się z koniecznością stosowania dodatkowych systemów wentylacyjnych.

Analiza wykazała, że w warunkach badanego zakładu najbardziej korzystnym rozwiązaniem w perspektywie średnioterminowej jest stopniowe zastępowanie wózków spalinowych jednostkami elektrycznymi, przy jednoczesnym monitorowaniu rozwoju technologii wodorowych. Elektryfikacja floty pozwoli na zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych o około 60% w stosunku do napędu spalinowego oraz ograniczenie emisji CO₂ do zera w miejscu użytkowania. Wózki wodorowe, mimo zalet w zakresie szybkości tankowania i braku lokalnych emisji, pozostają obecnie zbyt kosztownym rozwiązaniem, które może znaleźć zastosowanie dopiero w dłuższej perspektywie czasowej, gdy infrastruktura stanie się bardziej dostępna.

Dokonano analizy kosztów całkowitych TCO. Całość analizy wskazuje, że dobór odpowiedniego rodzaju napędu i urządzeń transportu wewnętrznego powinien być zawsze kompromisem pomiędzy możliwościami inwestycyjnymi przedsiębiorstwa a oczekiwaną wydajnością i specyfiką procesów logistycznych. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Porównanie całkowitych kosztów w magazynie firmy XYZ

Źródło: opracowanie własne

Analiza ekologiczna floty transportu wewnętrznego w magazynie przemysłowym

W ramach studium przypadku oceniono wpływ poszczególnych rodzajów napędów na środowisko naturalne, uwzględniając emisję zanieczyszczeń, zużycie energii, poziom hałasu oraz możliwość zagospodarowania zużytych komponentów. Analiza została przeprowadzona dla floty obejmującej 25 wózków widłowych, pracujących w trybie trzymianowym.

Wózki o napędzie spalinowym (LPG/diesel) emitują średnio od 2,5 do 3,0 kg CO₂ na każdą godzinę pracy. Przy całkowitym rocznym obciążeniu wynoszącym ok. 5 000 godzin pracy dla jednej maszyny, daje to emisję na poziomie ok. 12–15 ton CO₂ rocznie na wózek. Dodatkowo występuje emisja tlenków azotu (NO_x) oraz cząstek stałych, które negatywnie wpływają na zdrowie pracowników i wymagają stosowania kosztownych systemów wentylacyjnych.

Wózki z napędem elektrycznym nie emitują spalin podczas użytkowania, co znacząco poprawia jakość powietrza wewnątrz hal magazynowych. Należy jednak uwzględnić emisje pośrednie związane z produkcją energii elektrycznej w krajowym miksie energetycznym. Przyjmując średni wskaźnik emisyjności energii elektrycznej w Polsce na poziomie ok. 650 g CO₂/kWh (2022r.), można oszacować, że emisja pośrednia z jednego wózka elektrycznego wynosi ok. 2,0 t CO₂ rocznie, czyli znacznie mniej niż w przypadku jednostek spalinowych.

Wózki zasilane wodorem nie emitują lokalnie żadnych zanieczyszczeń. Produktami reakcji w ogniwie paliwowym są jedynie para wodna i ciepło. Jednak wpływ środowiskowy zależy od sposobu pozyskiwania wodoru. W przypadku wodoru produkowanego metodą reformingu gazu ziemnego („szary wódór”), emisja może być zbliżona do napędów spalinowych. Z kolei wykorzystanie „zielonego wodoru”, wytwarzanego z energii odnawialnej, pozwala na niemal całkowite wyeliminowanie emisji CO₂.

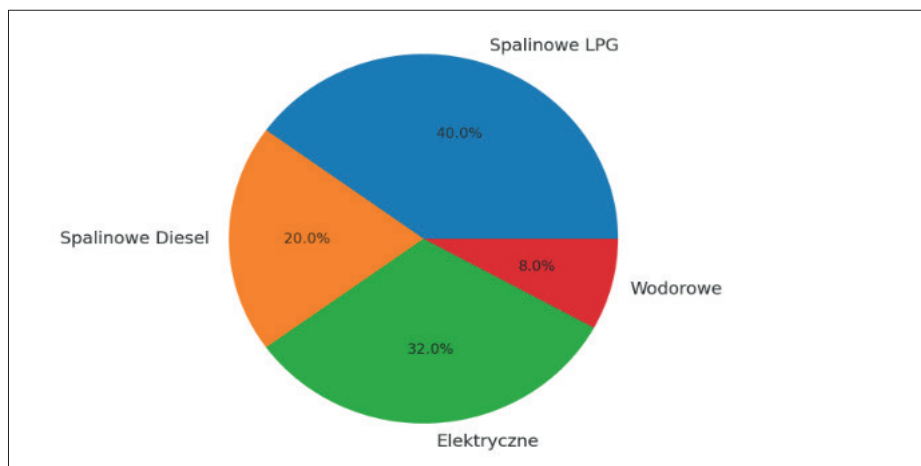
Analiza wykazała, że wózki elektryczne oraz wodorowe generują o około 30–40% mniej hałasu w porównaniu do jednostek spalinowych. Niższy poziom hałasu wpływa korzystnie zarówno na komfort pracy, jak i na bezpieczeństwo operatorów – łatwiejsze jest wychwytywanie sygnałów dźwiękowych związanych z ruchem maszyn w magazynie.

Wózki spalinowe wymagają regularnej wymiany olejów silnikowych i filtrów, co generuje odpady niebezpieczne.

Wózki elektryczne są bardziej przyjazne środowisku, choć problemem pozostaje utylizacja zużytych baterii litowo-jonowych. W Polsce działa już jednak kilka instalacji zajmujących się odzyskiem metali z tego typu akumulatorów.

W przypadku wózków wodorowych głównym elementem wymagającym recyklingu są ogniwa paliwowe, które zawierają metale szlachetne (np. platynę). Obecnie istnieją rozwijane technologie odzysku tych materiałów, co może w przyszłości uczynić tę technologię bardziej zrównoważoną.

Porównanie wykazało, że w warunkach badanego zakładu największy negatywny wpływ środowiskowy generują wózki spalinowe, zarówno pod względem emisji gazów cieplarnianych, jak i emisji lokalnych zanieczyszczeń. Wózki elektryczne stanowią rozwiązanie kompromisowe, redukując emisję lokalną do zera i ograniczając emisję pośrednią o około 80% w porównaniu do jednostek spalinowych. Wózki wodorowe oferują największy potencjał ekologiczny, jednak ich realna korzyść zależy od źródła pozyskiwania wodoru – tylko w przypadku „zielonego wodoru” można mówić o pełnej neutralności klimatycznej. Strukturę floty wózków w magazynie przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Wykres struktury floty wózków widłowych

Źródło: opracowanie własne

Analiza ekonomiczna floty transportu wewnętrznego w magazynie przemysłowym

Ocena ekonomiczna badanej floty wózków widłowych obejmuje zestawienie kosztów inwestycyjnych, eksploatacyjnych oraz serwisowych dla różnych rodzajów napędów. Analiza została przeprowadzona przy założeniu użytkowania floty 25 wózków w cyklu 8-letnim, co odpowiada średniemu okresowi eksploatacji w warunkach przemysłowych.

Średnia cena jednostkowa wózka spalinowego wynosi ok. 120–140 tys. zł. Zakup całej floty 25 pojazdów generuje nakład początkowy rzędu 3,0–3,5 mln zł. Wózki elektryczne są droższe w zakupie – przeciętna cena wynosi 160–190 tys. zł. Całkowita inwestycja wynosi ok. 4,0–4,5 mln zł. Technologia wodorowa jest obecnie najdroższa – koszt pojedynczej jednostki to nawet 250–300 tys. zł. Zakup floty 25 wózków wiąże się z wydatkiem rzędu 6,5–7,5 mln zł.

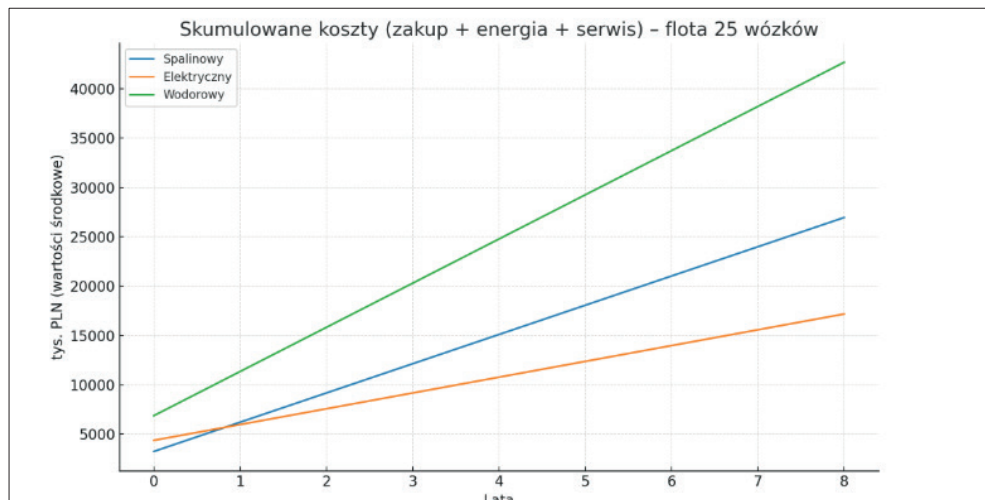
Wózki spalinowe zużywają średnio ok. 3–4 l LPG lub oleju napędowego na godzinę pracy, co przy średniej cenie 6 zł/l i rocznym wykorzystaniu 5 000 h daje koszt ok. 90–120 tys. zł/rok na pojazd.

Wózki elektryczne zużywają ok. 12–15 kWh energii na godzinę pracy. Przy średniej cenie energii 0,80 zł/kWh całkowity roczny koszt wynosi ok. 50–60 tys. zł/rok na pojazd.

Wózki wodorowe potrzebują ok. 0,9–1,0 kg wodoru na godzinę pracy. Przy cenie ok. 35 zł/kg koszt użytkowania jednego pojazdu wynosi ok. 150–170 tys. zł/rok, co czyni je obecnie najmniej opłacalną technologią.

Porównując 8-letni cykl życia, można oszacować, że:

- flota spalinowa generuje łączne koszty rzędu 55–60 mln zł (przy wysokich wydatkach na paliwo),
- flota elektryczna kosztuje ok. 40–45 mln zł, co czyni ją najbardziej opłacalnym rozwiązaniem w długim okresie,
- flota wodorowa pochłania 70–75 mln zł, co obecnie jest rozwiązaniem ekonomicznie najmniej korzystnym.



Rysunek 3. Wykres skumulowanych kosztów dla floty 25 wózków

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 3 przedstawia skumulowane koszty (zakup + energia + serwis) dla floty 25 wózków w ciągu 8 lat, rozdzielone na trzy technologie: spalinową, elektryczną i wodorową:

- spalinowe: Koszty zaczynają się od około 3,25 mln PLN i rosną liniowo do około 27 mln PLN po 8 latach,
- elektryczne: Najniższe koszty początkowe i skumulowane, zaczynają się od około 4 mln PLN i rosną do około 17,2 mln PLN po 8 latach,
- wodorowe: Najwyższe koszty początkowe i skumulowane, zaczynają się od około 6,8 mln PLN i rosną do około 42,7 mln PLN po 8 latach.

Z wykresu wynika, że flota elektryczna jest najbardziej ekonomiczna pod względem całkowitych kosztów operacyjnych przez 8 lat, natomiast flota wodorowa jest najdroższa. Flota spalinowa plasuje się pośrednio między nimi.

Podsumowanie

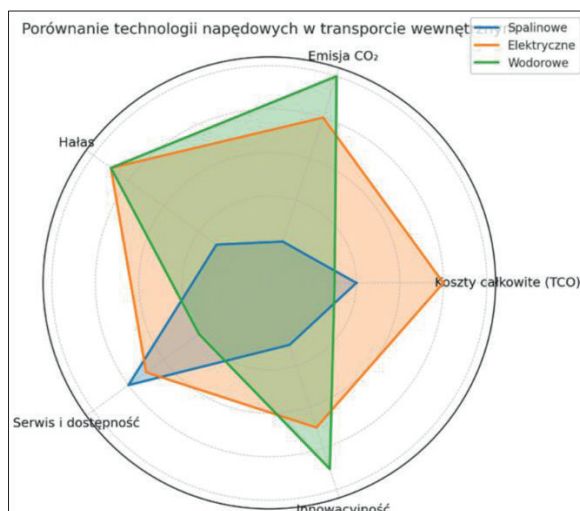
Przeprowadzona analiza ekologiczna i ekonomiczna różnych rodzajów napędów stosowanych w transporcie wewnętrznym pozwala na sformułowanie kilku kluczowych wniosków praktycznych i strategicznych.

Po pierwsze, wózki elektryczne stanowią obecnie najbardziej zrównoważone rozwiązanie pod względem całkowitego kosztu posiadania (TCO) oraz wpływu na środowisko. Mimo wyższych kosztów zakupu, charakteryzują się niskimi kosztami eksploatacyjnymi, niższym poziomem hałasu i znacząco mniejszą emisją CO₂ w porównaniu z flotą spalinową. Analiza wykazała, że przy ośmioletnim cyklu eksploatacyjnym technologia ta generuje oszczędności rzędu kilkunastu milionów złotych w stosunku do napędów spalinowych, co potwierdza jej przewagę ekonomiczną.

Po drugie, wózki spalinowe nadal utrzymują przewagę w zakresie ceny zakupu i powszechnej dostępności części zamiennych, jednak ich negatywny wpływ na środowisko (emisje CO₂, NO_x i pyłów) oraz wysokie koszty paliwa czynią je coraz mniej konkurencyjnymi. W długim horyzoncie czasowym technologia ta będzie stopniowo tracić znaczenie, zwłaszcza w przedsiębiorstwach o wysokich standardach zrównoważonego rozwoju.

Po trzecie, technologia wodorowa ma duży potencjał ekologiczny, zwłaszcza w wariancie „zielonego wodoru”, gdzie emisja dwutlenku węgla w całym cyklu życia jest minimalna.

Jednak obecne koszty zakupu i eksploatacji tej technologii znacząco przewyższają zarówno napędy elektryczne, jak i spalinowe. W praktyce czyni to napęd wodorowy rozwiązaniem perspektywicznym, które wymaga dalszego rozwoju infrastruktury oraz spadku cen paliwa wodorowego, aby mogło stać się konkurencyjne ekonomicznie. Rysunek 4 obrazuje porównanie technologii napędowych w transporcie wewnętrznym.



Rysunek 4. Porównanie technologii napędowych w transporcie wewnętrznym

Źródło: opracowanie własne

Podsumowując, w analizowanym przypadku najlepiej ocenioną technologią właściwą dla transportu wewnętrznego są wózki elektryczne, które łączą wysoką efektywność ekonomiczną z relatywnie niskim oddziaływaniem na środowisko. W dłuższej perspektywie rozwój technologii wodorowej może stanowić realną alternatywę, jednak obecnie jej wykorzystanie w transporcie wewnętrznym jest ograniczone ze względu na wysokie koszty inwestycyjne i brak rozwiniętej infrastruktury.

Bibliografia

- Błaszczuk P., Barański S.: Zarys metodyki TCO dla analizy zasadności wprowadzania elektrycznych środków transportu drogowego, Przegląd Elektrotechniczny, 2021
- Brol R.: Rozwój napędów elektrycznych – kierunki rozwoju, Technika Transportu Szynowego, 2015
- Dworecki Z., Adamski M., Fiszer A., Łoboda M.: Analiza porównawcza kosztów energii zawartej w paliwach na podstawie ich cen. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, 2012
- Fijałkowski J., Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003
- Gołębska E.: Kompendium wiedzy o logistyce, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010.
- Grzelak A., Konecka S.: Zrównoważony rozwój w logistyce i transporcie. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 2022
- Jacyna M.: Modelowanie i ocena systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2009
- Kowalczyk Z., Twardowski S., Malinowski M., Kuboń M.: Life cycle assessment (LCA) and energy assessment of the production and use of windows in residential buildings, Scientific Reports, 2023
- Merkisz J., Pielecha J.: Alternatywne napędy pojazdów. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2021
- Piekarski W.: Zrównoważony rozwój w transporcie wewnętrznym – aspekty ekologiczne i techniczne, Inżynieria Ekologiczna, 2013
- Poskrobko B. (red.): Zarządzanie środowiskiem. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne (PWE), Warszawa, 2021
- Szumski E., Pawełczyk M.: Porównanie TCO autobusów miejskich z hybrydowym i konwencjonalnym układem napędowym, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, 2017
- Szuster M.: Wózki widłowe z napędem elektrycznym – kierunki rozwoju. Technika Transportu Szynowego, 2020
- Trzyniec K., Kurpaska S., Stachurska M.: Sztuczna inteligencja w systemach telematycznych wspierających logistykę. W: Tendencje rozwojowe w transporcie i logistyce, Inżynieria Rolnicza, Przemysł, 2022

Adres do korespondencji: g.dzieniszewski@pansp.pl

ORCID: Grzegorz Dzieniszewski 0000-0002-2712-1131

ORCID: Wiktoria Sasiela 0009-0002-2915-8314

PRZEWOZY TRANSPORTEM KOMBINOWANYM W ASPEKcie INWESTYCJI W NOWOCZESNĄ INFRASTRUKTURĘ LOGISTYCZNĄ

Sławomir Juściński¹, Anna Stankiewicz²

¹ Zakład Logistyki i Zarządzania Przedsiębiorstwem, Katedra Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

² Katedra Podstaw Techniki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

Dynamiczny rozwój transportu drogowego na rynku Unii Europejskiej od początku XXI wieku wynikał z coraz większych potrzeb przewozowych poszczególnych działów i sektorów produkcyjnych oraz rosnącego popytu w dystrybucji i handlu^{1,2,3}. Struktura i wydajność rynku świadczącego usługi transportowe jest uzależniona przede wszystkim od wyposażenia firm przewozowych, czyli posiadanego sprzętu, ich kondycji finansowej oraz modelu zarządzania^{4,5,6}. Polskie firmy transportowe w odpowiedzi na rozwój centrów logistycznych i koniunkturę na europejskim rynku przewozów postawiły na inwestycje w nowoczesny tabor i systemy telematyczne⁷. Pomimo wysokich kosztów wiodące podmioty, aby utrzymać prze-

¹ Gołomska E., Gołomski M., Transport w logistyce, CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-343-6, Warszawa, 2020

² Gąsowska M.K., Zarządzanie procesami logistycznymi we współczesnych przedsiębiorstwach, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8270-091-6, Warszawa, 2022

³ Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J., Logistyka jako czynnik dobrostanu, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021

⁴ Sadowska B., Rachunek kosztów logistycznych w przedsiębiorstwie, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-432-7, Warszawa, 2021

⁵ Juściński S., Analiza systemów kompleksowego zarządzania logistycznego flotą pojazdów. [w:] Mechatronika i Telematyka w Logistyce, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.) ISBN 978-83-64377-440, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 81-97, 2019

⁶ Juściński S., Platformy internetowe, jako system wspomagania informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka. [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, str. 125-154, 2021

⁷ Kordel Z. (red.), Polski transport samochodowy ładunków, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-283-5, Warszawa, 2019

wagę i udziały w rynku, rozpoczęły wdrażanie innowacyjnych technologii zasilania pojazdów oraz stopniową budowę łańcuchów dostaw, które będą korzystać w coraz szerszym zakresie z autonomicznych pojazdów ciężarowych^{8,9,10,11}.

Radykalna rozbudowa zaplecza transportowego w poszczególnych podmiotach spowodowała, że flota pojazdów poruszających się po drogach Unii Europejskiej każdego roku była coraz bardziej liczna. Transport samochodowy zaspokajając potrzeby rynku stanowił jednocześnie poważne źródło zanieczyszczeń pomimo rosnących wymagań w zakresie norm emisji spalin. Już od 2016 r. samochody ciężarowe, autobusy, samochody specjalne oraz ciągniki siodłowe o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3,5 t wprowadzane na rynek muszą spełniać normę EURO VI¹². Infrastruktura transportowa i cyfrowa to z jednej strony czynnik regionalnego i lokalnego rozwoju gospodarczego^{13,14}. Z drugiej strony szybki wzrost ilości ciągników siodłowych z naczepami oraz samochodów ciężarowych na drogach to nie tylko przyspieszony proces niszczenia infrastruktury, ale także wysokie natężeniu ruchu na drogach. Prowadzi to do zjawiska permanentnego zatłoczenia szlaków komunikacyjnych oraz powoduje czasowe zatrzymanie (korek) lub znaczne spowolnienie ruchu na drodze (zator).

Zjawisku kongestii towarzyszą zwiększone emisje hałasu i zanieczyszczeń, a w tym CO₂. Z kongestią, czyli chronicznym zjawiskiem większego natężenia ruchu środków transportu od możliwości przepustowych wykorzystywanej przez nie infrastruktury na terenie UE, podjęto systemową walkę. Jednym z programów jest dywersyfikacja źródeł zasilania jednostek napędowych, szczególnie ukierunkowana na pojazdy elektryczne. Redukcja emisji CO₂ na poziomie założonym przez Komisję Europejską do 2030 r. jest powszechnie kwestionowana, ponieważ tempo zmian struktury rynku motoryzacyjnego w ostatnich latach radykalnie odbiega od parametrów zapisanych w rozporządzeniach. Raporty Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Samochodów (*ACEA, ang. European Automobile Manufacturers' Association*) potwierdziły, że w 2023 r. po drogach UE poruszało się 249 mln samochodów, a w tym¹⁵:

⁸ Juściński S., Analiza rynku nowoczesnych powierzchni magazynowych w centrach logistycznych, [w:] Logistyka dla regionu, ISBN 78-83-64377-27-3, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, str. 123-141, 2018

⁹ Juściński S., Pojazdy z napędem alternatywnym, jako przykład zrównoważonego rozwoju logistycznych łańcuchów dostaw, [w:] Łańcuchy Logistyczne w Gospodarcze Żywnościowej, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 137-166, 2020

¹⁰ Książkiewicz D., Rozwój transportu, spedycji i logistyki w dobie cyfryzacji i globalnej gospodarki, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN: 978-83-8206-379-0, Gdańsk, 2021

¹¹ Juściński S., Autonomiczne pojazdy ciężarowe jako innowacyjne wsparcie logistycznych łańcuchów dostaw, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M.: (red.): Procesy logistyczne w przemyśle. Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, str. 55-83, 2023

¹² <https://www.gov.pl/web/cepik/norma-emisji-spalin-euro-w-centralnej-ewidencji-pojazdow>

¹³ Klóska R. (red.), Infrastruktura transportowa i cyfrowa jako czynnik regionalnego i lokalnego rozwoju gospodarczego, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: 978-83-7972-412-3, Szczecin, 2020

¹⁴ Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J., Logistyka jako czynnik dobrostanu, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021

¹⁵ <https://www.acea.auto/figure/size-distribution-of-the-eu-vehicle-fleet/>

- około 30,1 mln samochodów dostawczych (z czego tylko 1,3% to pojazdy z napędem elektrycznym),
- około 6 mln samochodów ciężarowych (z czego tylko 0,1% to pojazdy z napędem elektrycznym),
- około 680 tys. autobusów (z czego tylko 3% to autobusy z napędem elektrycznym).

Należy podkreślić, że w Unii Europejskiej nadal istnieje problemem z niskim popytem na pojazdy z zerową emisją CO₂. Modele elektryczne nowo rejestrowane w ubiegłym roku, to w przypadku¹⁶:

- samochodów ciężarowych tylko 3,5%,
- samochodów dostawczych tylko 8,5%,
- samochodów osobowych około 15%.

Ekonomiczne koszty kongestii powodującej zatory uliczne, bezproduktywne zużycie energii oraz stratę czasu oszacowano w USA na 150 mld USD rocznie, a koszty związane z negatywnym wpływem na środowisko i zdrowie społeczeństwa szacowano na kolejne 300 mld USD rocznie. Całkowite koszty dla gospodarki Unii Europejskiej wynikające z zatorów komunikacyjnych szacowane są na 240 mld EUR rocznie, co stanowi niemal 2% Produktu Krajowego Brutto UE^{17,18}.

Rozwój rynku transportu kombinowanego

Funkcjonowanie poszczególnych gałęzi transportu na obszarze UE zostało zdefiniowane w dyrektywie 92/106/EWG¹⁹. Idea przejścia większej części ładunków z transportu morskiego przez kolej, czyli obniżenie dominacji transportu drogowego w pracy przewozowej musi być realizowane przez jej rozbudowę i konkurencyjność. Popularyzacja przewozów intermodalnych, czyli wykorzystujących co najmniej dwie gałęzi transportu, pozwalało na osiąganie szeregu korzyści poprzez połączenie ich zalet. Główne kierunki optymalizacji, to:

- redukcja kosztów poprzez wybór tańszej opcji,
- redukcja zanieczyszczeń poprzez wybór ekologicznych źródeł zasilania,
- redukcja czasu realizacji poprzez wyższą prędkość eksploatacyjną,
- podwyższanie bezpieczeństwa dostaw poprzez konteneryzację i redukcję ilości przeładunków.

Europejski Zielony Ład, który został ogłoszony w grudniu 2019 r., a jego implementacja nastąpiła w 2020 r. w prowadził w życie nowe, wysokie wymagania w stosunku do usług transportowych. Główne założenie to osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 r. oraz istotna redukcja emisji gazów cieplarnianych, a w tym CO₂ o co najmniej 55% do 2030 r. Modyfikacją, która ułatwia efektywne wykorzystanie transportu intermodalnego jest właściwa organizacja przewozów na kolejnych etapach łańcucha logistycznego. Transport kom-

¹⁶ <https://www.acea.auto/news/incentives-not-knee-jerk-mandates-key-to-boosting-uptake-of-corporate-zero-emission-cars/>

¹⁷ https://pl.wikipedia.org/wiki/Korek_drogowy

¹⁸ Wojewódzka-Król K., Załoga E. (red.), Transport. Tendencje zmian, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-22033-4, Warszawa, 2022

¹⁹ Dyrektywa Rady 92/106/EWG z dnia 7 grudnia 1992 r. w sprawie ustanowienia wspólnych zasad dla niektórych rodzajów transportu kombinowanego towarów między państwami członkowskimi

binowany będący modyfikacją transportu intermodalnego zakłada udział transportu drogowego wyłącznie na ograniczonym odcinku początkowym i końcowym przewozu, aby zredukować zanieczyszczenie środowiska i kongestię. Ustawa o transporcie drogowym wprowadziła pojęcie transportu kombinowanego opisując go, jako przewóz rzeczy, podczas którego samochód ciężarowy, przyczepa, naczepa z jednostką ciągnącą lub bez ciągnika siodłowego, nadwozie wymienne lub kontener 20 TEU (lub większy) wykorzystuje transport drogowy tylko na pierwszy i/lub ostatnim odcinku przewozu. Pozostała część trasy jest obsługiwana przez kolej, transport morski lub żeglugę śródlądową, ale przewóz morski musi przekraczać 100 km w linii prostej²⁰. Można również zdefiniować transport kombinowany, jako transport ładunków z jednoczesnym użyciem dwóch różnych gałęzi transportu, z których bierny środek transportu (drogowego) jest przewożony przez drugi czynny (kolejowy), który wykorzystuje do tego infrastrukturę transportową i zużywa energię²¹.

Stąd realizacja przewozów kombinowanych to sekwencja wykorzystania poszczególnych rodzajów transportu w odpowiedniej kolejności i na dystansie²²:

- transport drogowy (do 150 km w linii prostej), transport morski (minimum 100 km) i transport drogowy,
- transport drogowy (do 150 km w linii prostej), transport morski (minimum 100 km), transport kolejowy oraz transport drogowy,
- transport kolejowy, transport morski (minimum 100 km) oraz transport drogowy (do 150 km w linii prostej),
- transport drogowy, transport kolejowy oraz transport drogowy.

W Europie najbardziej popularnym rodzajem transportu kombinowanego jest transport kolejowo-drogowy. W tym połączeniu możliwe są dwa warianty:

- transport kombinowany nietowarzyszący - przewóz jednostek transportu drogowego, czyli kontenerów, naczep siodłowych i nadwozi wymiennych jest wykonywany bez udziału kierowców,
- transport kombinowany towarzyszący - przewóz jednostek transportu drogowego, czyli samochodów ciężarowych, ciągników siodłowych z naczepami i całych zestawów drogowych z kontenerami jest wykonywany kolejną z udziałem kierowców, którzy taką podróż odbywają w wagonach osobowych.

Zasady funkcjonowania i przebieg transeuropejskiej sieci transportowej (TNT) zostały określone przez Parlament Europejski w kolejnych rozporządzeniach^{23,24}. Umowa europejska o ważnych międzynarodowych liniach transportu kombinowanego i obiektach im towarzyszących (AGTC) została przyjęta w Genewie 1 lutego 1991 r. W Polsce umowa AGTC

²⁰ Ustaw z dnia 6 września 2001 r. o transporcie drogowym (Dz. U. 2001 Nr 125 poz. 1371 z późn. zmianami)

²¹ Wiśnicki B., Terminologia transportu multimodalnego, Zeszyty Naukowe 58 Akademia Morska w Szczecinie, 335-341, 2000

²² <https://magemarlog.pl/co-to-jest-i-na-czym-polega-transport-kombinowany/>

²³ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 913/2010 z dnia 22 września 2010 r. w sprawie europejskiej sieci kolejowej ukierunkowanej na konkurencyjny transport towarowy, Dz.U. L 276/25, 20 października 2010 r.

²⁴ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1315/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej i uchylające decyzję nr 661/2010/UE, Dz.U. L 348/1, 20 grudnia 2013 r.

została zatwierdzona 14 stycznia 2002 r. Przyjęto przebieg linii kolejowych, którymi będą wykonywane międzynarodowe przewozy kontenerów oraz lokalizację terminali do obsługi ruchu kontenerowego w sieci kolejowej²⁵.

Linie kolejowe AGTC do transportu kombinowanego na obszarze Polski mają łączną długość 4278 km. Szlaki do nich zaliczane, to:

- Linia kolejowa E 20 (Kunowice, Poznań, Warszawa, Terespol) to 700 km stanowiące część II Paneuropejskiego Korytarza Transportowego Zachód – Wschód²⁶.
- Linia kolejowa E 30 (Zgorzelec, Węgliniec, Bolesławiec, Legnica, Wrocław, Opole, Kędzierzyn-Koźle, Gliwice, Zabrze, Katowice, Kraków, Tarnów, Rzeszów, Przemyśl, Medyka) to 677 km stanowiące część III Paneuropejskiego Korytarza Transportowego łączącego Niemcy, Polskę i Ukrainę²⁷.
- Linia kolejowa E 59 (Swinoujście, Szczecin, Poznań, Wrocław, Opole, Chałupki, Bohumin) to część międzynarodowej trasy z Malmö-Ystad do Wiednia, Budapesztu i Pragi, czyli najkrótsze połączenie Skandynawii z Europą Środkowo-Wschodnią i Bałkanami²⁸.
- Linia kolejowa E 65 (Gdynia, Warszawa, Zawiercie, Katowice i Zebrzydowice) to część VI Europejskiego Korytarza Transportowego łączącego państwa nadbałtyckie z krajami położonymi nad Morzem Adriatyckim i na Bałkanach²⁹.
- Linia kolejowa E 75 (Warszawa, Kowno, Ryga, Tallin, Helsinki) to 374 km część transeuropejskiego korytarza, który stanowi jedyne połączenie kolejowe krajów bałtyckich z Polską i pozostałymi krajami Unii Europejskiej (tzw. Rail Baltica)³⁰.

Przewozy naczep intermodalnych koleją

W przewozach intermodalnych wykonywanych przez firmy kolejowe w Polsce absolutną dominację posiadają kontenery 20' i 40' z udziałem na poziomie 95% w ogólnej liczbie jednostek transportowych. Naczepy i przyczepy samochodowe stanowią zaledwie 2,6% wykorzystywanych jednostek, ale wykazują tendencją wzrostową. W przewozach kombinowanych możliwe jest przewożenie pociągami standardowych naczep samochodowych oraz korzystanie z naczep przystosowanych do załadunku pionowego. Stosowanie powszechnie użytkowanych w firmach standardowych naczep i przyczep w przewozach kolejowych jest poważnie ograniczone. Wymagają one bowiem terminali, które wyposażone są w dedykowane urządzenia do załadunku i wyładunku naczep bez konieczności ich podnoszenia, a takich jest nadal zbyt mało na terenie UE. W Polsce taki rodzaj obsługi jest dostępny tylko w terminalu GVT w Rzepinie oraz terminalu CLIP w Swarzędzu pod Poznaniem, gdzie wykorzystywany jest Lohr Railway System^{31,32}.

²⁵ https://pl.wikipedia.org/wiki/Umowa_AGTC

²⁶ https://pl.wikipedia.org/wiki/Linia_kolejowa_E_20

²⁷ https://pl.wikipedia.org/wiki/Linia_kolejowa_E_30

²⁸ https://pl.wikipedia.org/wiki/Linia_kolejowa_E_59

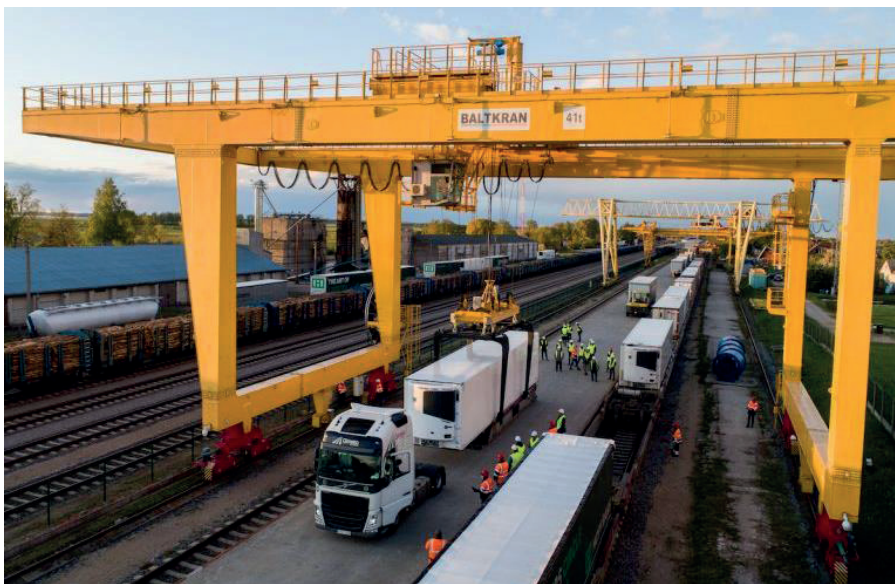
²⁹ https://pl.wikipedia.org/wiki/Linia_kolejowa_E_65

³⁰ https://pl.wikipedia.org/wiki/Rail_Baltica

³¹ Rydzkowski W. (red.), Przewozy intermodalne, Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN 978-83-63186-05-0, Poznań 2015

³² Rokicki T., Transport intermodalny w łańcuchach dostaw - uwarunkowania organizacyjne, techniczne i ekonomiczne, Wyd. SGGW, ISBN 978-83-7583-772-8, Warszawa 2018

Specjalistyczne naczepy i przyczepy samochodowe posiadające wzmocnioną konstrukcję oraz oznakowane cztery punkty do mocowania chwytaków unoszących, przystosowane są do szybkiego załadunku pionowego (rys. 1). Dzięki temu, że posiadają dużą podatność transportową wzrasta stopniowo ich ilość na rynkach krajowych i europejskich przewozów kombinowanych. Ten rodzaj obsługi w terminalach intermodalnych jest uniwersalny i powszechnie stosowany. Barierą w ich masowym upowszechnieniu są znacznie wyższe koszty zakupu w porównaniu do jednostek standardowych. Operatorzy logistyczni rozbudowują stopniowo we flocie ilość specjalistycznych naczep intermodalnych, ponieważ mają one większą pojemność. Umożliwiają przewóz większej ilości ładunków na jednym wagonie, a tym samym wzrasta rentowność zleceń w transporcie drogowym i kolejowym. Ograniczenia występują z uwagi na fakt, że naczepy tego typu mają 3 metry wysokości. Nie mogą być przewożone przy wykorzystaniu standardowych wagonów platform do przewozu naczep, gdyż taki skład nie będzie mieścił się w skrajni na liniach kolejowych o podstawowych parametrach. Specjalistyczne naczepy preferowane są również przez część odbiorców, którzy nie posiadają zaplecza do rozładunku kontenerów. Naczepy intermodalne mogą być natomiast wykorzystywane bez żadnych ograniczeń w transporcie drogowym, dzięki czemu możliwa jest optymalizacja w ich użytkowaniu^{33,34}.



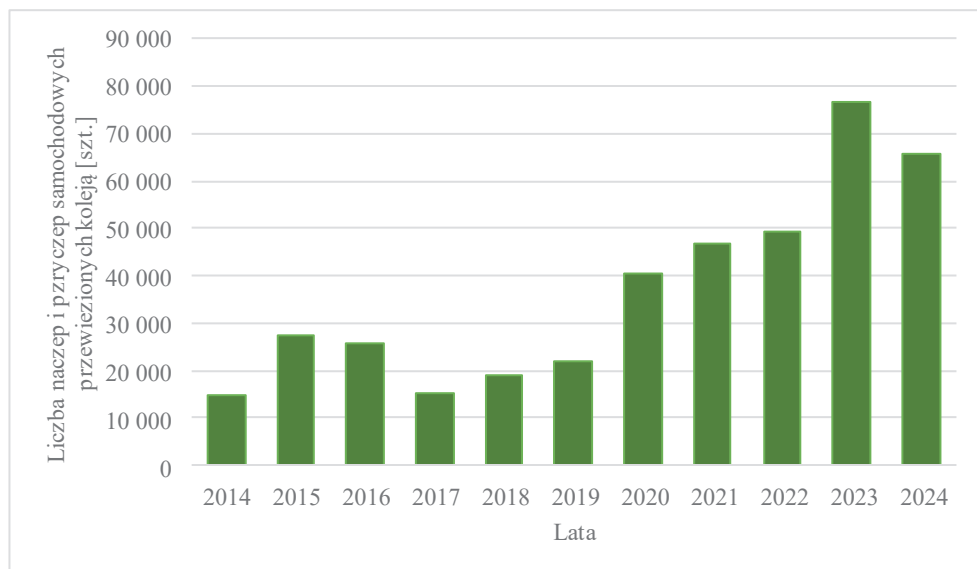
Rysunek 1. Załadunek naczep intermodalnych na wagony realizowany przez PKP Cargo

Źródło: <https://intermodalnews.pl/wp-content/uploads/2021/02/20200515TransportBig5454-768x512.jpg>

³³ <https://utk.gov.pl/pl/aktualnosci/19344,Przewozy-naczep-i-przyczep-samochodowych-koleja-w-Polsce.html?search=308032823160>

³⁴ <https://intermodalnews.pl/2021/02/18/naczepy-coraz-popularniejsze-w-przewozach-kombinowanych/>

Wsparcie transportu kombinowanego w Polsce w zakresie przewozów koleją było realizowane poprzez dotacje do zakupu specjalistycznych naczep przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko (POLiŚ). Operatorzy kolejowi w Polsce dysponują jeszcze stosunkowo niewielką liczbą naczep intermodalnych w porównaniu z ilością przewożonych kontenerów. W Austrii, Niemczech oraz Szwajcarii przewozy naczep pociągami są już bardzo popularne. Wynika to wprost z preferencyjnego systemu opłat za korzystanie z infrastruktury szynowej³⁵.



Rysunek 2. Liczba naczep i przyczep samochodowych przewiezionych koleją w latach 2014-2024

Źródło: <https://intermodalnews.pl/wp-content/uploads/2021/02/20200515TransportBig5454-768x512.jpg>

Liczba naczep i przyczep samochodowych przewiezionych koleją w Polsce w latach 2014-2024 stanowi dowód na rozbudowę tego rodzaju usług transportowych (rys. 2). Z poziomu 14 714 sztuk w 2014 r. na przestrzeni minionej dekady nastąpił kilkukrotny wzrost aż do 76 490 sztuk w 2023 r. i 65 697 sztuk w 2024 r.

Wielton S.A. to polskie przedsiębiorstwo, które zaliczane jest do grupy trzech największych producentów naczep, a w tym intermodalnych oraz przyczep samochodowych w Europie oraz znajduje się wśród dziesięciu największych producentów w branży na świecie. Przedsiębiorstwo posiada spółki córki we Włoszech, Francji, Rosji, Ukrainie i Białorusi³⁶. Chiński koncern CIMC Vehicles, która jest światowym liderem w produkcji zarówno kontenerów morskich, wytwarzając ponad 50% globalnego zapotrzebowania na te jednostki transportowe, jak też największym producentem naczep samochodowych, a w tym do przewozów

³⁵ <https://intermodalnews.pl/2021/02/18/naczepy-coraz-popularniejsze-w-przewozach-kombinowanych/>

³⁶ <https://wielton.com.pl/>

intermodalnych, uruchomiła w 2015 r. zakład montażowy w Gdyni. CIMC Vehicles tworząc spółkę CIMIC Trailer Poland Sp. z o.o. rozpoczął ekspansję na europejskim rynku jednostek do transportu kombinowanego. Szeroka oferta i konkurencyjne ceny to istotne działanie w kierunku rozbudowy tego sektora transportu³⁷.

Przewozy kombinowane metodą piggyback

Metoda Trailer On Flat Car (TOFC) oznacza przewozy kompletnych przyczep i naczep samochodowych na platformach kolejowych. Nowoczesna obsługa metodą TOFC została wprowadzona w Ameryce Północnej w latach 50. XX wieku, a w Europie rozpowszechniono ją pod nazwą transport „na barana” (piggyback). Metoda polega na wykorzystaniu specjalnych wagonów kolejowych do przewożenia naczep lub całych zestawów ciężarowych, z których następuje ich szybki wyładunek, aby transportem drogowym mogły być dostarczone do celu³⁸.



Rysunek 3. Transport intermodalny naczep metodą Trailer On Flat Car (TOFC) / piggyback

Źródło: <https://www.railway.supply/en/ldz-launches-piggyback-intermodal-transportation/>

Metoda piggyback pozwala na przewozy na duże odległości przy niższych kosztach niż w transporcie drogowym. Jeden skład kolejowy umożliwia dostawę jednocześnie do

³⁷ <https://www.cimc-vehicles.pl/>

³⁸ Paliński J., Rola kolei w transporcie intermodalnym, Wyd. Instytut Kolejnictwa, ISBN 978-83-930070-2-8, Warszawa, 2015

100 naczep, redukując o tyle ilość zestawów ciężarowych na drogach. Załadunek i rozładunek może być prowadzony z użyciem suwnicy bramowej wyposażonej w spreader z podchwytym kleszczowym lub wózka podnośnikowego typu Reachstacker (rys. 3). Naczepy ciężarowe ładowane są na wagony kieszeniowe, czyli specjalistyczne wagony towarowe typu platforma, zaprojektowane do obsługi transportu kombinowanego. Określenie kieszeniowe wynika z faktu, że platformy posiadają obniżenie, w którym umieszczane są koła naczepy, aby uzyskać wymaganą skrajnie ładunkową. Pierwsze wagony kieszeniowe zaprojektowano w 1972 r. w Niemczech i zostały wprowadzono do użytku w 1973 r. przez Deutsche Bundesbahn kolej państwową Republiki Federalnej Niemiec^{39,40,41}.

Przewozy kombinowane system RoadRailer

Nowatorską propozycją dla transportu kombinowanego były tzw. koleje drogowe (ang. RoadRailers). Metoda polegała na stosowaniu naczep, które mogły być holowane po drogach za pomocą ciągnika siodłowego, a następnie przy użyciu specjalistycznego sprzęgu siodłowego ustawiano je na torach. Tak połączone naczepy bez użycia wagonów typu platforma mogły być przemieszczane po liniach kolejowych ciągnięte przez lokomotywę.

Pociągi kolejowe po raz pierwszy wprowadzono do transportu w USA w latach 50. XX wieku. Pierwotnie naczepy posiadały konstrukcję wyposażoną w dodatkowy zestaw kołowy do poruszania się po szynach, który należało opuścić w momencie formowania składu za lokomotywą. Nowsze konstrukcje budowano już bez zintegrowanych kół kolejowych, stąd wymagały one platform do ustawienia na torach. Wagony tego typu były pomostem łączącym kolejne naczepy, posiadając z jednej strony standardowy sprzęg siodłowy, a z drugiej płytę wsuwaną i zabezpieczaną z tyłu naczepy. Dedykowany zespół wózków szynowych był pobierany i pozostawiany na stacji rozrządowej. Ponieważ wózki szynowe miały znacznie mniejszą masę niż standardowe platformy kolejowe, skład sformowany z ich użyciem był znacznie lżejszy od tradycyjnego, a tym samym jego przemieszczanie zapewniało oszczędność energii w porównaniu nawet do tradycyjnych pociągów intermodalnych.

Na początku lat 80. XX wieku podjęto w USA powtórnie eksperymenty z pierwotną konstrukcją RoadRailera (rys. 4). Atutem takiego rozwiązania była możliwość sformowania zestawu kolejowego bez stosowania dźwigów do przeładunku naczep. Procedura przejścia z trybu drogowego do trybu kolejowego, następowała na placu z torami kolejowymi. Dzięki zaworom sterującym w układzie pneumatycznym naczepy operator mógł z jednego zestawu poduszek powietrznych spuścić powietrze, a drugi napełnić uzyskując płynne przejście pomiędzy zestawem kół do trybu drogowego i kolejowego. Metodę RoadRailers wprowadzały i czasowo stosowały pod koniec XX wieku koleje narodowe m.in. w USA, Wielkiej Brytanii, Australii, Brazylii, Kanadzie i Indiach⁴². W Europie opracowano i wprowadzono do testowego użytkowania zbliżone konstrukcyjnie rozwiązania do transportu bimodalnego. Specjalnej konstrukcji wózki kolejowe wyposażone w standardowe sprzęgi siodłowe w wersji czołowej i pośredniej umożliwiały formowanie składu pociągu bimodalnego złożonego

³⁹ Rokicki T., Transport intermodalny w łańcuchach dostaw - uwarunkowania organizacyjne, techniczne i ekonomiczne, Wyd. SGGW, ISBN 978-83-7583-772-8, Warszawa 2018

⁴⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Pocket_wagon

⁴¹ <https://en.wikipedia.org/wiki/Trailer-on-flatcar>

⁴² <https://en.wikipedia.org/wiki/Roadrailer>

z 70 - 80 naczep siodłowych o specjalnej konstrukcji. Pomimo opracowania konkurencyjnych konstrukcji w Niemczech, Francji, Holandii i Hiszpanii ten rodzaj transportu nie wszedł w Europie do powszechnej eksploatacji⁴³.



Rysunek 4. System RoadRailer eksploatowany w USA przez firmę Triple Crown, spółkę zależną Norfolk Southern Railway

Źródło: https://www.reddit.com/r/trains/comments/14f8fiz/railmate_trailer_system/

Przewozy kombinowane metodą Modalohr

System Modalohr to uniwersalna technologia łącząca przewozy drogowe i szynowe. Rozwiązanie opracowane we Francji umożliwia transport standardowych naczep drogowych w europejskiej sieci kolejowej. W Unii Europejskiej eksploatowanych jest ponad 3 000 000 naczep ciężarowych z czego 97% stanowią rozwiązania standardowe, przystosowane konstrukcyjnie wyłącznie do załadunku poziomego. Obecnie tylko 3% to naczepy intermodalne, które są kompatybilne z transportem kombinowanym, w którym wykorzystuje się różne systemy unoszenia przy ich załadunku i rozładunku. System Modalohr został zaprojektowany tak, aby umożliwić bezpieczne i szybkie poziome przejście pomiędzy transportem drogowym i kolejowym (rys. 5). Brak konieczności unoszenia pozwala na pełne wykorzystanie potencjału standardowych naczep w przewozach kombinowanych⁴⁴.

⁴³ Paliński J., Rola kolei w transporcie intermodalnym, Wyd. Instytut Kolejnictwa, ISBN 978-83-930070-2-8, Warszawa, 2015

⁴⁴ <https://www.lohr.fr/catalogue/the-lohr-system/>



Rysunek 5. System Modalohr to uniwersalna technologia drogowo-szynowa, która umożliwia bezpieczny i ekonomiczny transport standardowych naczep drogowych w europejskiej sieci kolejowej

Źródło: https://www.usinenouvelle.com/mediatheque/6/4/8/000171846_896x598_c.png

System Modalohr przy wykorzystaniu specjalnych wagonów wyposażonych w obrotową platformę zapewnia w pełni zautomatyzowany przebieg poziomego załadunku naczep. Jest to sekwencja złożona z pięciu etapów⁴⁵:

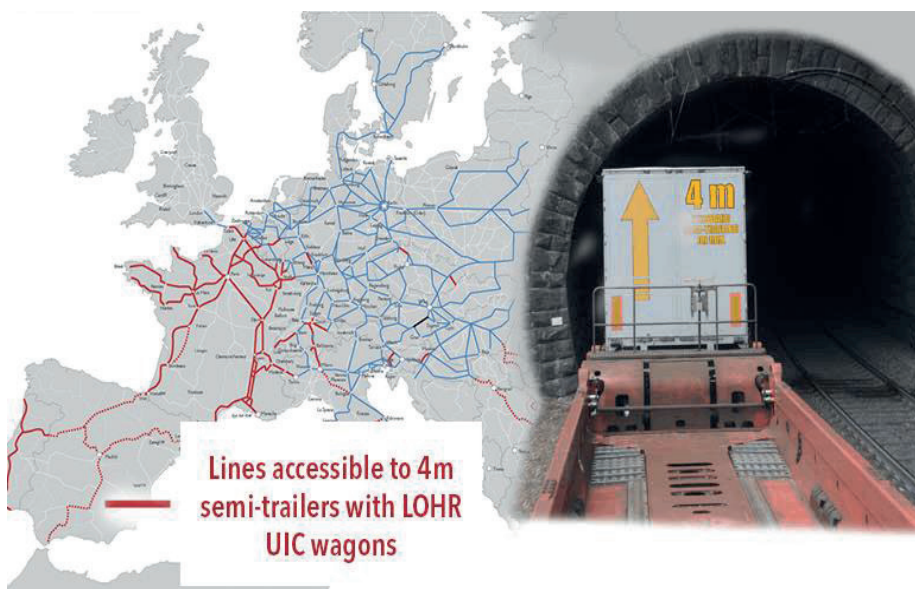
- otwarcie wagonów poprzez obrót ich ruchomej podłogi do położenia zgodnego z rampą najazdową,
- wjazd ciągnika siodłowego z naczepą tak, aby została ustawiona na ruchomej podłodze, a następnie odpięcie jej i pozostawienie, podczas gdy ciągnik zjeżdża po drugiej stronie wagonu - możliwy jest jednoczesny załadunek wszystkich wagonów,
- załadunek poprzez wjazd dwóch ciągników siodłowych na jeden środkowy wagon modułu,
- zamknięcie wszystkich wagonów poprzez ich obrót tak, aby oś podłogi pokryła się z osią wagonu,
- po zabezpieczeniu mechanicznym naczep, pojazdów i wagonów następuje odjazd pociągu.

Poziomy rozładunek po dotarciu do stacji docelowej następuje w odwrotnej kolejności.

⁴⁵ Paliński J., Rola kolei w transporcie intermodalnym, Wyd. Instytut Kolejnictwa, ISBN 978-83-930070-2-8, Warszawa, 2015

Francuska firma Lohr użytkując niskopodłogowe i przegubowe wagony Modalohr, przez 20 lat zrealizowała transport szynowy 2 milionów ciągników siodłowych z naczepami. Zastosowanie takiego zrównoważonego i ekologicznego transportu kombinowanego pozwoliło na redukcję emisji zanieczyszczeń o ponad 2,8 miliona ton CO₂. Transport kombinowany z użyciem wagonów Modalohr jest realizowany na pięciu liniach kolejowych⁴⁶:

- „Autostrada Ferroviaria Alpina” o długości 175 km pomiędzy Chambéry (Aiton) a Turynem (Orbassano),
- „Lorry-Rail” o długości ponad 1040 km pomiędzy Luksemburgiem (Bettembourg) a Perpignan (Le Boulou),
- „VIIA” o długości ponad 1470 km pomiędzy Calais i Perpignan (Le Boulou),
- „VIIA” o długości ponad 1050 km pomiędzy Calais a Turynem (Orbassano),
- „VIIA” na odcinku ponad 800 km między portem Sète a Calais,
- „CFL” na długości 1000 km pomiędzy Luksemburgiem (Bettembourg) a Poznaniem (Swarzędz).



Rysunek 6. Sieć połączeń kolejowych po których na wagonach Lohr UIC można przewozić standardowe naczepy o wysokości do 4 metrów

Źródło: <https://www.lohr.fr/uploads/2023/02/marchv-cible-des-semi-remorques-standards-en.png>

Dzięki specjalnej konstrukcji platforma Lohr UIC jest jedynym rodzajem wagonu, który umożliwia przewóz standardowych naczepy o wysokości do 4 m w sieciach kolejowych przebiegających przez rejony górskie na terenie Francji, Hiszpanii i Włoch. Na rys. 6 przedstawiono przebieg poszczególnych szlaków kolejowych, na których linia:

⁴⁶ <https://www.lohr.fr/catalogue/the-lohr-system/>

- niebieska, to szlak dostępny dla naczep o wysokości 4 m z klasycznymi wagonami kieszeniowymi oraz wagonów Lohr UIC,
- czerwona, to szlak dostępny dla naczep o wysokości 4 m na wagonach Lohr UIC,
- czerwona przerywana to szlak dostępny dla naczep o wysokości 4 m na wagonie Lohr UIC po przeprowadzeniu szczegółowej kontroli na całej trasie przejazdu z ładunkiem.



Rysunek 7. Terminal kontenerowy Clip Group SA Jasen (Swarzędz) posiada pierwsze w Polsce dwie stacje Lohr Railway System do poziomego rozładunku czterech naczep jednocześnie

Źródło: <https://www.rynekinfrastruktury.pl/wiadomosci/biznes-i-przemysl/w-swarzedzu-powstaje-nowoczesny-system-ladowania-naczep-na-wagony-kolejowe-74242.html>

Clip Group SA w 2020 r. jako pierwszy w Polsce terminal intermodalny zainstalował Lohr Railway System. Uruchomienie dwóch stacji poziomego załadunku czterech standardowych naczep drogowych jednocześnie na wagony kolejowe, oznaczało rozszerzenie sieci transportu kombinowanego w Europie. Połączenie dzięki technologii Modalohr Swarzędza ze szlakami przebiegającymi przez Luksemburg do Francji i dalej do Hiszpanii pozwoli na utworzenie stałych połączeń na najdłuższym szlaku kolejowym dla przewozów kombinowanych na obszarze Europy^{47,48}.

⁴⁷ <https://www.logistyka.net.pl/aktualnosci/transport-i-spedycja/item/91526-pierwszy-w-polsce-lohr-railway-system-w-clip-group>

⁴⁸ <https://clip-group.com/clip-rail-mega-hub-intermodal-uruchomil-pierwszy-w-polsce-lohr-railway-system/>

Przewozy kombinowane metodą NiKRASA

Autorski system transportu kombinowanego opracowała i rozwija niemiecka firma TX LOGISTIK, świadcząca usługi na rynku przewozów kolejowych. Rozpoczęła działalność w 1999 r., a od 2017 r. jest własnością Grupy Mercitalia, spółki zależnej Ferrovie dello Stato Italiane, czyli Włoskich Kolei Państwowych. System transportu nosi nazwę NiKRASA i jest skrótem nazwy w języku niemieckim „Nicht Kranbare Sattelaufleger”, czyli naczepy nie przystosowane do przeładunku dźwigiem. Koncepcja przewozu koleją standardowych w transporcie drogowym naczep jest oparta o wykorzystanie podczas ich załadunku dodatkowej małej platformy o specjalnej konstrukcji⁴⁹.



Rysunek 8. Trzecia generacja systemu przeładunkowego NiKRASA w postaci specjalistycznej platformy, zaprojektowana przez TX Logistik AG (Grupa Mercitalia)

Źródło: https://kurier-kolejowy.pl/img/680_400_1/f8eb6412f6cb502f3d1623a0495c20d7.jpg

Załadunek naczepy rozpoczyna się od wprowadzenia jej przez ciągnik siodłowy na platformę. Następnie dźwig w terminalu podnosi naczepę korzystając z uchwytów rozmieszczonych na końcach platformy (rys. 8). Ten sposób załadunku umożliwia bezpieczne przemieszczenie pionowe naczepy o standardowej konstrukcji na wagon kieszeniowy. Wprowadzona do użytku wersja 3.0 platformy NiKRASA nie wymaga już do wykonania załadunku i rozładunku specjalnej rampy terminalowej, tak jak wcześniejsze rozwiązania. Dużym ułatwieniem jest to, że można przechowywać platformy ułożone w stosy. Ponadto mogą być przewożone w wagonie kieszeniowym niezależnie od tego czy będzie załadowana naczepa ponieważ są tak ułożone, że nie przeszkadzają w załadunku i zamocowaniu standardowego

⁴⁹ <https://kurier-kolejowy.pl/aktualnosci/40873/system-pionowego-ladowania-naczep-samochodowych-nikrasa-trzeciej-generacji.html>

kontenera na wagonie. Obsługa systemu NiKRASA 3.0 jest możliwa praktycznie bez dodatkowych czynności organizacyjnych w każdym terminalu intermodalnym. Specjalne rozwiązania konstrukcyjne pozwoliły zredukować masę własną nowej platformy poniżej trzech ton, co czyni ją najlżejszym rozwiązaniem tego typu na rynku. NiKRASA 3.0 umożliwia załadunek szerokiej gamy pojazdów: naczep, cystern, przyczep oraz podwozi łącznie z kontenerami. Platforma jest kompatybilna z wagonami kieszeniowymi różnych producentów i nie powoduje podwyższenia ich wysokości, dlatego jednostka na nią załadowana zachowuje swoją skrajnię. Należy podkreślić, że system NiKRASA jest zgodny ze wszystkimi profilami tras o skrajni UIC, stąd może być powszechnie eksploatowany w sieci kolejowej w Europie^{50,51}.

Przewozy kombinowane metodą CargoBeamer

CargoBeamer AG to niemiecka firma z Lipska, która w latach 2008-2009 opracowała automatyczny system do przeładunku poziomego naczep bez użycia urządzeń dźwigowych. System CargoBeamer to innowacyjne i ekologiczne rozwiązanie wspierające rozwój transportu kombinowanego. Każdy typ naczepy siodłowej w terminalu intermodalnym może być umieszczony na platformie dzięki specjalnej stacji Cargojet. Załadunek i wyładunek naczep jest w pełni zautomatyzowany i przebiega bardzo szybko, gdyż obsługa całego składu liczącego 36 naczep z pociągu intermodalnego wymaga tylko 20 minut (rys. 9). Należy podkreślić, że konwencjonalny terminal dźwigowy potrzebuje na obsługę takiego pociągu od trzech do czterech godzin.

Po przybyciu ciągnika siodłowego z naczepą na terminal kierowca ustawia naczepę w wyznaczonym miejscu na parkingu. Naczepa odbierana jest przez pojazd terminalowy, który wprowadza ją do kosza załadunkowego przy torach kolejowych. Po kontroli zabezpieczeń pociąg jest gotowy do odjazdu z naczepami. Kierowcy mogą natychmiast opuścić terminal ciągnikiem siodłowym, gdyż nie ma konieczności uczestniczenia w załadunku pociągu. Praktycznie w czasie rzeczywistym mogą być skierowani do realizacji innego zlecenia lub do odbioru naczepy, która wcześniej dotarła już na terminal. Stanowi to ważny atut w podnoszeniu rentowności transportu, gdyż nie istnieje czas oczekiwania, tak charakterystyczny dla przewozów drogowych przy obsłudze magazynowej. System CargoBeamer był dedykowany do obsługi przewozów naczep na długich trasach. Został wprowadzony do eksploatacji na kierunku zachód-wschód i północ-południe. Firma CargoBeamer obsługuje regularne połączenia o wysokiej częstotliwości kursów na terenie Francji, Niemiec, Włoch i Holandii rozbudowując sieć terminali w pozostałych państwach UE. CargoBeamer w 2023 r. uruchomiła w niemieckim mieście Erfurt w Turynii nową fabrykę, gdzie będzie produkować 500 wagonów kieszeniowych rocznie. Zaprojektowane przez firmę wagony umożliwią

⁵⁰ <https://kurier-kolejowy.pl/aktualnosci/40873/system-pionowego-ladowania-naczep-samocho-dowych-nikrasa-trzeciej-generacji.html>.

⁵¹ <https://radziol.pl/2019/11/10/nikrasa/>

poziomy, równoległy i zautomatyzowany załadunek naczep wspierając rozwój transportu kombinowanego^{52,53,54}.



Rysunek 9. Terminal do załadunku naczep siodłowych systemem CargoBeamer

Źródło: <https://intermodalnews.pl/2022/02/14/cargobeamer-planuje-budowe-30-terminali-intermodalnych/>

Przewozy intermodalne metodą Flexiwaggon

Metoda Flexiwaggon jest to system wagonów kolejowych opracowany w Szwecji w 2009 r., służący do realizacji przewozów w transporcie kombinowanym. Firma Flexiwaggon AB zaproponowała kolejne europejskie rozwiązanie do poziomej obsługi jednostek ładunkowych. W odróżnieniu do systemu Modalohr, który umożliwiał przewóz tylko naczep w metodzie Flexiwaggon, możliwy jest załadunek na jeden specjalistyczny wagon całych zestawów: ciągnik siodłowy plus naczepa lub samochód ciężarowy plus przyczepa. Konstrukcja wagonu umożliwia załadunek i rozładunek w każdym terminalu, który posiada przy torze utwardzony plac o szerokości co najmniej 8 metrów. Dzięki temu koszty infrastruktury towarzyszącej są niskie lub praktycznie nie istnieją z uwagi na parametry nowoczesnych terminali. Głównym elementem tej metody jest specjalistyczna platforma, której konstrukcja

⁵² Paliński J., Rola kolei w transporcie intermodalnym, Wyd. Instytut Kolejnictwa, ISBN 978-83-930070-2-8, Warszawa, 2015

⁵³ <https://kurier-kolejowy.pl/aktualnosci/49042/pierwsze-polaczenie-intermodalne-cargobeamer-miedzy-holandia-a-rumunia.html>

⁵⁴ <https://intermodalnews.pl/2022/04/12/cargobeamer-bedzie-produkowal-wagony-do-przewozu-naczep/>

umożliwia jej obrót w odniesieniu do osi wagonu (rys. 10). Przemieszczenie może być realizowane zarówno w lewo, jak i w prawo, aby ułatwić najazd i zjazd zestawu po wymaganej stronie toru. Obrót realizowany jest z użyciem złożonego systemu hydraulicznego, co istotnie wpływa na wysokie koszty produkcji wagonu. Powstały również konstrukcje pozwalające na obrót w odniesieniu do środka platformy, aby umożliwić na terminalach dysponujących szerokimi placami po obu stronach torów przyspieszony proces załadunku i wyładunku. Metoda Flexiwaggon jest uniwersalna i pozwala na przewozy także kontenerów morskich. Parametry konstrukcyjne wagonu umożliwiają przewozy zestawów o masie do 50 ton^{55,56,57}.



Rysunek 10. Wagon ze specjalistycznym wózkiem do załadunku w terminalu naczep siodłowych systemem Flexiwaggon

Źródło: <https://www.intermodal-info.com/horizontale-umschlagsysteme/flexiwaggon-2/>

Przewozy intermodalne metodą Megaswing

Metoda Megaswing to system specjalistycznych wagonów intermodalnych, który umożliwiają transport naczep samochodowych koleją. Dedykowany jest do przewozu naczep, które nie są standardowo przystosowane do załadunku pionowego suwnicami lub wózkami unoszącymi. Idea funkcjonowania jest zbliżona do metody Flexiwaggon. Konstrukcja wagonu Megaswing umożliwia załadunek i rozładunek w każdym terminalu, który posiada przy

⁵⁵ <https://www.intermodal-info.com/horizontale-umschlagsysteme/flexiwaggon-2/>

⁵⁶ Paliński J., Rola kolei w transporcie intermodalnym, Wyd. Instytut Kolejnictwa, ISBN 978-83-930070-2-8, Warszawa, 2015

⁵⁷ <https://zpc.gov.pl/a/technologie-transportu-zewnetrznego/Dc6z4Hp9z>

torze utwardzony plac o szerokości 8-10 metrów. Przygotowanie do załadunku wymaga obrotu głównej konstrukcji nośnej wagonu względem wózka transportowego (rys. 11). W wagonie stosowane są wózki o standardowej średnicy kół. Przemieszczenie platformy może być realizowane tylko w jedną stronę dlatego najazd i zjazd zestawu po obrocie należy zaplanować stosownie do miejsca po wybranej stronie torów. Ciągnik siodłowy z naczepą cofając się musi wjechać na obrocony i opuszczony do poziomu placu pomost. Po odpięciu naczepy pomost jest automatycznie obracany i unoszony aż do sprzęgnięcia z wózkiem transportowym oraz zabezpieczany na czas przewozu. Należy podkreślić, że metoda nie wymaga inwestycji w infrastrukturę terminalu, natomiast koszt samego wagonu jest wysoki z uwagi na złożony system hydrauliczny umożliwiający obracanie, pozycjonowanie oraz ruch pionowy platformy podczas załadunku i rozładunku⁵⁸.



Rysunek 11. Specjalistyczny wagon do załadunku w terminalu naczep siodłowych systemem Megaswing

Źródło: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/wp-content/uploads/2010/11/megaswing.jpg>

⁵⁸ Paliński J., Rola kolei w transporcie intermodalnym, Wyd. Instytut Kolejnictwa, ISBN 978-83-930070-2-8, Warszawa, 2015

Podsumowanie

Przy budowie terminali do lat 90. XX wieku z technicznego i prawnego punktu widzenia utrzymywano szkodliwy podział na inwestycje służące wyłącznie do obsługi kontenerów lub do przyjmowania ciągników siodłowych z naczepami i samochodów ciężarowych z przyczepami. Zmiany polityczne w Europie i związana z tym liberalizacja handlu spowodowała masowy wzrost przewozów w kontenerach, naczepach i przyczepach, dając szerokie możliwości rozwoju transportu intermodalnego. Połączenie zalet i eliminacja wad obu gałęzi transportu to potencjalnie duże możliwości w zakresie optymalizacji łańcucha dostaw.

Zalety transportu kolejowego, to⁵⁹:

- większa pojemność, gdyż na wagonie można przewozić nawet 50 ton towaru, co sprzyja przewozom ładunków masowych i niebezpiecznych,
- zużycie nawet 9 razy mniej energii przez pociąg na jeden tonokilometr niż pojazdy drogowe, a to oznacza redukcję kosztów jednostkowych, które są tym niższe im dłuższa jest obsługiwana trasa,
- udział na poziomie jedynie 0,4% w emisji CO₂ przypadającej na sektor transportu w Europie,
- niski poziom kolizji i wypadków, a jednocześnie zapewnienie wyższego poziomu ochrony ładunków na trasie.

Wadami transportu kolejowego są:

- ograniczony zasięg zależny wprost od dostępności sieci trakcyjnej, terminali, ale także torów i bocznic kolejowych na końcowych odcinkach, co często oznacza konieczność przeładunku w tej fazie dostawy,
- konieczność dostosowania transportu do rozkładów jazdy pociągów towarowych, stąd brak swobodnego dostępu do tras nawet przy regularnych połączeniach i wysokiej przepustowości szlaków oraz konieczność długoterminowego planowania usług przewozowych,
- możliwość przestojów w ruchu towarowym, gdyż priorytetem w poszczególnych krajach są przewozy pasażerskie, szczególnie przy obniżonej przepustowości szlaków (np. podczas remontów i przebudowy torów).

Zalety transportu drogowego, to⁶⁰:

- organizacja usługi w trybie „od drzwi do drzwi”, co w praktyce eliminuje konieczność przeładunku i przyspiesza proces przewozu,
- wysoka elastyczność rozpoczęcia zadania przewozowego,
- możliwość dostosowania się w czasie rzeczywistym do korekt w harmonogramie,
- użytkowanie systemów telematycznych, które pozwalają na bieżące śledzenie przesyłek.

Wady transportu drogowego, to:

- emisja zanieczyszczeń, a w tym CO₂ przez pojazdy z silnikiem spalinowym,
- wysoki udział w zatłoczeniu i/lub przeciążeniu infrastruktury transportowej,
- kongestia w przewozach to podwyższony poziom zagrożeń wypadkami i ryzykiem uszkodzeń ładunków,
- wysokie koszty jednostkowe.

⁵⁹ <https://uniqlogistic.pl/blog/transport-kolejowy-zalety-i-wady-w-porownaniu-z-drogowym>

⁶⁰ J.w.

Hasło „TIR-y na tory” pojawiło się w przestrzeni medialnej w pierwszych latach XXI wieku, jako idea mająca sprawić, aby radykalnie wzrosło wykorzystania transportu kolejowego w przewozach towarów poprzez ograniczenie ilości ciągników siodłowych z naczepami i samochodów ciężarowych na drogach. Wzrost świadomości ekologicznej i presja ekonomiczna spowodowały, że były podejmowane różne działania mające na celu wprowadzenie tych zasad w szerokim zakresie w poszczególnych krajach Unii Europejskiej.

Pomimo wielu atutów wciąż przegrywa rywalizację z transportem ciężarowym w Polsce. Specjalistyczne naczepy przystosowane do załadunku pionowego i transportu kolejają umożliwiają przewóz 29 ton, natomiast tradycyjne tylko 24 ton⁶¹. Wyższa cena zakupu powoduje, że nadal mają one tylko kilku procentowy udział w rynku. Wsparciem programu „TIR-y na tory” było opracowanie i wdrożenie do użytku systemów przeładunku poziomego, dedykowanych do obsługi standardowych naczep: Modalohr, CargoBeamer, Flexiwaggon oraz Megaswing, ale dotychczas nie uzyskały one statusu technologii powszechnie eksploatowanych.

Pośrednim wsparciem dla rozwoju transportu kombinowanego był w 2024 r. wzrost kosztów w branży transportu drogowego. Nastąpiło podwyższenie opłat drogowych, co wynikło wprost z dyrektywy wiążącej ich wysokość z poziomem emisji CO₂. W praktyce w poszczególnych krajach UE stawki wzrosły nawet czterokrotnie. Przyjęcie Pakietu Mobilności oznaczało obowiązek wymiany tachografów na tzw. smart tachografy II generacji, które pozwalają na automatyczne rejestrowanie czasu i miejsca przekroczenia granicy⁶². Firmy w Polsce od 1 grudnia 2025 r. mogą składać wnioski o zwrot części kosztów zakupu inteligentnych tachografów na poziomie 3000 PLN na jeden pojazd. W pierwszej transzy przyjmowane są wnioski tylko na 10 pojazdów z danej firmy realizującej przewozy międzynarodowe, natomiast rynkowy koszt jednostkowy nowego tachografu to nawet 5000 PLN. W Polsce w 2024 r. wzrosła podstawa składek ZUS, płaca minimalna kierowców oraz o 15% wzrosły stawki podatku od środków transportowych. Zgodnie z przepisami UE firmy transportowe muszą przygotować się do stosowania platformy e-FTI (*ang. Electronic Freight Transport Information*) służącej do wystawienia elektronicznego listu przewozowego (E-CMR), który zacznie obowiązywać od 2027 r.⁶³

Należy podkreślić konieczność udziału instytucji państwowych w kształtowaniu rynku przewozów kombinowanych, gdyż powinny być kontynuowane działania w sferze prawnej: ustaw, rozporządzeń i przepisów wykonawczych oraz finansowej, rozumianej, jako wsparcie dla działań publicznych i prywatnych⁶⁴. Na szczeblu rządowym podejmowane są zarówno decyzje o strategicznych inwestycjach, jak też warunkach fiskalnych funkcjonowania przedsiębiorstw z branży transportowej. Niezbędna jest rozbudowa krajowej infrastruktury kolejowej tak, aby transport kombinowany był atrakcyjnym ekonomicznie i organizacyjnie modelem usług przewozowych, a wówczas poprzez jego masowość zostanie uzyskany realny wkład w redukcję emisji CO₂ i obniżenie poziomu kongestii na obszarze UE.

⁶¹ <http://www.pgt.pl/30-lecie-dls-land-und-see>

⁶² Ustawa z dnia 26 stycznia 2022 r. o zmianie ustawy o transporcie drogowym, ustawy o czasie pracy kierowców oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2022 poz. 209)

⁶³ Regulation (EU) 2020/1056 of the European Parliament and of the Council of 15 July 2020 on electronic freight transport information (<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/1056/oj/eng>)

⁶⁴ <https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/opis-terminali>

Bibliografia

- Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J., *Logistyka jako czynnik dobrostanu*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021
- Dyrektywa Rady 92/106/EWG z dnia 7 grudnia 1992 r. w sprawie ustanowienia wspólnych zasad dla niektórych rodzajów transportu kombinowanego towarów między państwami członkowskimi
- Gąsowska M.K., *Zarządzanie procesami logistycznymi we współczesnych przedsiębiorstwach*, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8270-091-6, Warszawa, 2022
- Gołębska E., Gołębski M., *Transport w logistyce*, CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-343-6, Warszawa, 2020
- Juściński S., *Analiza rynku nowoczesnych powierzchni magazynowych w centrach logistycznych*, [w:] Logistyka dla regionu, ISBN 78-83-64377-27-3, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, str. 123-141, 2018
- Juściński S., *Analiza systemów kompleksowego zarządzania logistycznego flotą pojazdów*. [w:] Mechatronika i Telematyka w Logistyce, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.) ISBN 978-83-64377-440, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 81-97, 2019
- Juściński S., *Autonomiczne pojazdy ciężarowe jako innowacyjne wsparcie logistycznych łańcuchów dostaw*, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M.: (red.): Procesy logistyczne w przemyśle. Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, str. 55-83, 2023
- Juściński S., *Platformy internetowe, jako system wspomagania informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka*. [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, str. 125-154, 2021
- Juściński S., *Pojazdy z napędem alternatywnym, jako przykład zrównoważonego rozwoju logistycznych łańcuchów dostaw*, [w:] Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 137-166, 2020
- Kłóska R. (red.), *Infrastruktura transportowa i cyfrowa jako czynnik regionalnego i lokalnego rozwoju gospodarczego*, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: 978-83-7972-412-3, Szczecin, 2020
- Kordel Z. (red.), *Polski transport samochodowy ładunków*, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-283-5, Warszawa, 2019
- Książkiewicz D., *Rozwój transportu, spedycji i logistyki w dobie cyfryzacji i globalnej gospodarki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN: 978-83-8206-379-0, Gdańsk, 2021
- Paliński J., *Rola kolei w transporcie intermodalnym*, Wyd. Instytut Kolejnictwa, ISBN 978-83-930070-2-8, Warszawa, 2015
- Regulation (EU) 2020/1056 of the European Parliament and of the Council of 15 July 2020 on electronic freight transport information (<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/1056/oj/eng>)
- Rokicki T., *Transport intermodalny w łańcuchach dostaw - uwarunkowania organizacyjne, techniczne i ekonomiczne*, Wyd. SGGW, ISBN 978-83-7583-772-8, Warszawa 2018
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1315/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej i uchylające decyzję nr 661/2010/UE, Dz.U. L 348/1, 20 grudnia 2013 r.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 913/2010 z dnia 22 września 2010 r. w sprawie europejskiej sieci kolejowej ukierunkowanej na konkurencyjny transport towarowy, Dz.U. L 276/25, 20 października 2010 r.
- Rydzkowski W. (red.), *Przewozy intermodalne*, Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN 978-83-63186-05-0, Poznań 2015
- Sadowska B., *Rachunek kosztów logistycznych w przedsiębiorstwie*, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-432-7, Warszawa, 2021

- Ustawa z dnia 6 września 2001 r. o transporcie drogowym (Dz. U. 2001 Nr 125 poz. 1371 z późn. zmianami)
- Ustawa z dnia 26 stycznia 2022 r. o zmianie ustawy o transporcie drogowym, ustawy o czasie pracy kierowców oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2022 poz. 209)
- Wiśnicki B., *Terminologia transportu multimodalnego*, Zeszyty Naukowe 58 Akademia Morska w Szczecinie, 335-341, 2000
- Wojewódzka-Król K., Załoga E. (red.), *Transport. Tendencje zmian*, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-22033-4, Warszawa, 2022.
- <http://www.pgt.pl/30-lecie-dls-land-und-see>
- <https://clip-group.com/clip-rail-mega-hub-intermodal-uruchomil-pierwszy-w-polsce-lohr-railway-system/>
- <https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/opis-terminali>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Pocket_wagon
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Roadrailer>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Trailer-on-flatcar>
- <https://intermodalnews.pl/2021/02/18/naczepy-coraz-popularniejsze-w-przewozach-kombinowanych/>
- <https://intermodalnews.pl/2022/04/12/cargobeamer-bedzie-produkowal-wagony-do-przewozu-naczep/>
- <https://kurier-kolejowy.pl/aktualnosci/40873/system-pionowego-ladowania-naczep-samochodowych-nikrasa-trzeciej-generacji.html>
- <https://kurier-kolejowy.pl/aktualnosci/49042/pierwsze-polaczenie-intermodalne-cargobeamer-miedzy-holandia-a-rumunia.html>
- <https://magemarlog.pl/co-to-jest-i-na-czym-polega-transport-kombinowany/>
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Korek_drogowy
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Linia_kolejowa_E_20
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Linia_kolejowa_E_30
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Linia_kolejowa_E_59
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Linia_kolejowa_E_65
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Rail_Baltica
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Umowa_AGTC
- <https://radziol.pl/2019/11/10/nikrasa/>
- <https://uniqlogistic.pl/blog/transport-kolejowy-zalety-i-wady-w-porownaniu-z-drogowym>
- <https://utk.gov.pl/pl/aktualnosci/19344,Przewozy-naczep-i-przyczep-samochodowych-koleja-w-Polsce.html?search=308032823160>
- <https://wielton.com.pl/>
- <https://www.acea.auto/figure/size-distribution-of-the-eu-vehicle-fleet/>
- <https://www.acea.auto/news/incentives-not-knee-jerk-mandates-key-to-boosting-uptake-of-corporate-zero-emission-cars/>
- <https://www.cimc-vehicles.pl/>
- <https://www.gov.pl/web/cepik/norma-emisji-spalin-euro-w-centralnej-ewidencji-pojazdow>
- <https://www.intermodal-info.com/horizontale-umschlagsysteme/flexiwaggon-2/>
- <https://www.logistyka.net.pl/aktualnosci/transport-i-spedycja/item/91526-pierwszy-w-polsce-lohr-railway-system-w-clip-group>
- <https://www.lohr.fr/catalogue/the-lohr-system/>
- <https://zpe.gov.pl/a/technologie-transportu-zewnetrznego/Dc6z4Hp9z>

Adres do korespondencji: e-mail: slawomir.juscinski@up.lublin.pl

ORCID: Sławomir Juściński 0000-0002-2692-9083

ORCID: Anna Stankiewicz 0000-0002-0715-7225

ROZWÓJ TRANSPORTU INTERMODALNEGO JAKO WARUNEK EFEKTYWNEGO ZARZĄDZANIA ŁAŃCUCHEM DOSTAW

Sławomir Juściński¹, Anna Stankiewicz²

¹ Zakład Logistyki i Zarządzania Przedsiębiorstwem, Katedra Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

² Katedra Podstaw Techniki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

Rozwój gospodarki narodowej we wszystkich działach i sektorach uzależniony jest od wielkości, struktury i wydajności rynku świadczącego usługi transportowe¹. Systematyczny rozwój zarówno eurologistyki, jak i logistyki globalnej spowodował dynamiczny wzrost zapotrzebowania na przewozy ładunków, które muszą być realizowane przez poszczególne rodzaje transportu w układzie intermodalnym^{2,3,4}. Od początku XXI wieku krajowa infrastruktura drogowa poddana została gruntownej modernizacji. Budowa autostrad, dróg ekspresowych i obwodnic wokół głównych ośrodków miejskich na terenie Polski sukcesywnie uzupełniała istniejącą sieć połączeń. Zmiany ilościowe i jakościowe były możliwe dzięki wykorzystaniu środków z unijnych programów wspierających tego typu projekty⁵. Firmy

¹ Sadowska B., Rachunek kosztów logistycznych w przedsiębiorstwie, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-432-7, Warszawa, 2021

² Gołębska E., Gołębski M., Transport w logistyce, CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-343-6, Warszawa, 2020

³ Gąsowska M.K., Zarządzanie procesami logistycznymi we współczesnych przedsiębiorstwach, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8270-091-6, Warszawa, 2022

⁴ Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J., Logistyka jako czynnik dobrostanu, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021

⁵ Klóska R. (red.), Infrastruktura transportowa i cyfrowa jako czynnik regionalnego i lokalnego rozwoju gospodarczego, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: 978-83-7972-412-3, Szczecin, 2020

transportowe postawiły na inwestycje w nowoczesny tabor i systemy telematyczne, aby sprostać czasowo i terminowo zleceniom dostaw i odbioru ładunków z centrów logistycznych^{6,7,8}. Równoległym obszarem działań w zakresie wzmocnienia i dywersyfikacji możliwości transportowych były działania mające na celu stopniową zmianę tradycyjnego modelu funkcjonowania firm przewozowych. Poszczególne podmioty rozpoczęły wdrażanie innowacyjnych technologii zasilania pojazdów oraz stopniową budowę łańcuchów dostaw, wykorzystujących autonomiczne pojazdy ciężarowe^{9,10}. Przewozy drogowe dzięki tym wszystkim zmianom uzyskały ponad 80% udział w masie towarów, które są przemieszczane każdego roku w Polsce^{11,12,13}.

Dominacja transportu drogowego na terenie UE w zakresie wykonywanej pracy przewozowej stanowiła potwierdzenie pierwszego z etapów zawartych w programie Trans-European Transport Networks (TEN-T). Parlament Europejski zatwierdził plan, który pełną integrację terytorialną krajów z Europy Wschodniej i Zachodniej uzależniał od kompleksowej rozbudowy sieci transportowych. Transeuropejską sieć transportową docelowo stanowić będą główne szlaki drogowe, kolejowe, lotnicze, morskie oraz rzeczne. Sieć TEN-T powinna zatem stanowić finalnie multimodalną sieć transportową o standaryzowanych, wysokich parametrach technicznych oraz użytkowych dla całego obszaru UE¹⁴.

Korytarze transportowe zaliczane do sieci bazowej TEN-T, zatwierdzone przez Komisję Europejską, to¹⁵:

- Atlantyczny,
- Morze Bałtyckie – Morze Czarne – Morze Egejskie (przebiegający przez Polskę),

⁶ Juściński S., Analiza systemów kompleksowego zarządzania logistycznego flotą pojazdów. [w:] *Mechatronika i Telematyka w Logistyce*, Dzieńiszewski G., Kuboń M. (red.) ISBN 978-83-64377-44-0, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 81-97, 2019

⁷ Juściński S., Analiza rynku nowoczesnych powierzchni magazynowych w centrach logistycznych, [w:] *Logistyka dla regionu*, ISBN 78-83-64377-27-3, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, str. 123-141, 2018

⁸ Juściński S., Platformy internetowe, jako system wspomaganie informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka. [w:] Dzieńiszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): *Systemy Wspomaganie Komputerowe w Transporcie i Logistyce*, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, str. 125-154, 2021

⁹ Juściński S., Pojazdy z napędem alternatywnym, jako przykład zrównoważonego rozwoju logistycznych łańcuchów dostaw, [w:] *Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej*, Dzieńiszewski G., Kuboń M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 137-166, 2020

¹⁰ Juściński S., Autonomiczne pojazdy ciężarowe jako innowacyjne wsparcie logistycznych łańcuchów dostaw, [w:] Dzieńiszewski G., Kuboń M.: (red.): *Procesy logistyczne w przemyśle*. Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, str. 55-83, 2023

¹¹ Książkiewicz D., Rozwój transportu, spedycji i logistyki w dobie cyfryzacji i globalnej gospodarki, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN: 978-83-8206-379-0, Gdańsk, 2021

¹² Kordel Z. (red.), *Polski transport samochodowy ładunków*, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-283-5, Warszawa, 2019

¹³ Kordel Z. (red.), *Polski transport samochodowy ładunków*, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-283-5, Warszawa, 2019

¹⁴ Wojewódzka-Król K., Załoga E. (red.): *Transport. Tendencje zmian*, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-22033-4, Warszawa, 2022

¹⁵ <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/transeuropejska-siec-transportowa--ten-t>

- Morze Bałtyckie – Morze Adriatyckie (przebiegający przez Polskę),
- Śródziemnomorski,
- Morze Północne – Ren – Morze Śródziemne,
- Morze Północne – Morze Bałtyckie (przebiegający przez Polskę),
- Ren – Dunaj,
- Skandynawia – Morze Śródziemne,
- Bałkany Zachodnie – wschodnia część Morza Śródziemnego.

Transeuropejska sieć transportowa zgodnie z planami będzie rozwijana w trzech etapach:

- do końca 2030 r. powinna zostać ukończona sieć bazowa,
- do końca 2040 r., powinno zostać ukończona rozszerzona sieć bazowa,
- do końca 2050 r. powinna powstać sieć kompleksowa.

Ogólne zasady i kierunki rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej zostały określone przez Parlament Europejski w kolejnych rozporządzeniach^{16,17}. W transeuropejskiej sieci transportowej TEN-T wyróżniono część kompleksową oraz bazową. Przyjęto, że sieć kompleksowa TEN-T to podstawowa ogólnoeuropejska sieć transportowa, czyli taka, która powinna zapewniać dostępność i łączność wszystkich regionów w Unii Europejskiej. Sieć bazową TEN-T tworzą z kolei wybrane szlaki w ramach sieci kompleksowej, które odgrywają kluczową rolę dla jej funkcjonowania i rozwoju w długim horyzoncie czasowym. Ponadto, sieć bazowa jest połączona w węzłach, które powinny zapewniać połączenia między państwami członkowskimi poprzez ich narodową infrastrukturę transportową¹⁸.

Rynek usług transportu intermodalnego

Na przestrzeni ostatnich kilku lat wydarzenia bez precedensu w obszarze politycznym i prawnym wywierały istotny wpływ na funkcjonowanie transportu drogowego i kolejowego. Wyzwania organizacyjne i finansowe wynikały między innymi z takich czynników, jak:^{19,20}

- zerwane łańcuchy dostaw podczas pandemii COVID-19,
- wzrost kosztów transportu morskiego kontenera z Chin do Europy o kilkaset procent podczas pandemii COVID-19,
- wydłużenie czasu przewozów morskich podczas pandemii COVID-19,

¹⁶ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 913/2010 z dnia 22 września 2010 r. w sprawie europejskiej sieci kolejowej ukierunkowanej na konkurencyjny transport towarowy, Dz.U. L 276/25, 20 października 2010 r.

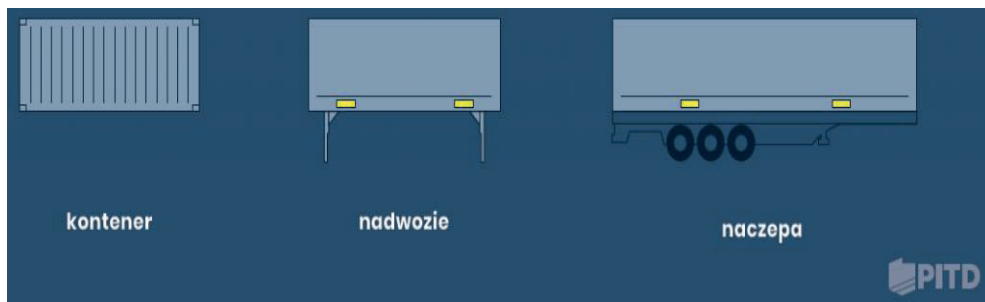
¹⁷ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1315/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej i uchylające decyzję nr 661/2010/UE, Dz.U. L 348/1, 20 grudnia 2013 r.

¹⁸ Martincević I., Dąbrowski A., Układ sieci kolejowych TEN-T/RFC a możliwość utworzenia szybkiego połączenia kolejowego Warszawa – Budapeszt, Prace Instytutu Kolejnictwa, Zeszyt 161, str. 16-27, 2019

¹⁹ Wroński M., Transport drogowy na bardzo ostrym wirażu, Transport i Logistyka, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes, Nr 82 (6247), str. 9, 25 kwietnia 2022 r.

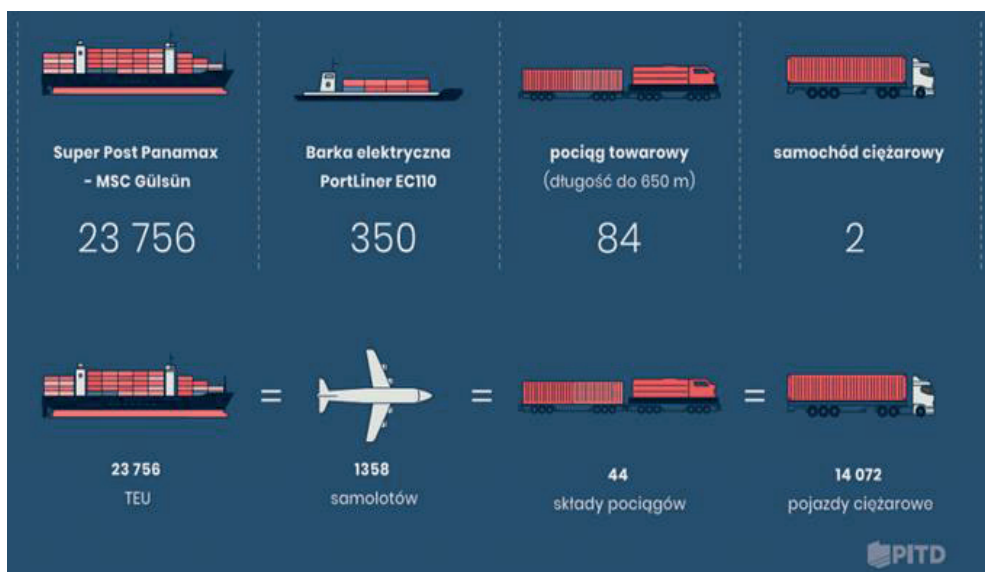
²⁰ Juściński S., Aplikacja systemów informatycznych klasy TMS w obsłudze przesyłek kontenerowych w transporcie morskim, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, str. 97-124, 2021

- ograniczenia w przewozach kolejowych z Chin z powodu wojny w Ukrainie,
- lawinowy odpływ kierowców narodowości ukraińskiej z firm transportowych z powodu agresji Rosji na Ukrainę,
- wzrost obciążeń podatkowych oraz niestabilność przepisów prawnych w tzw. Polskim Ładzie,
- wzrost cen paliw i energii elektrycznej.



Rysunek 1. Zintegrowane jednostki ładunkowe wykorzystywane do przewozu towarów w europejskich korytarzach kolejowych (opracowane przez Polski Instytut Transportu Drogowego)

Źródło: <https://intermodalnews.pl/2021/01/21/dynamiczny-rozwoj-transportu-intermodalnego-po-pandemii-be-dzie-jeszcze-lepiej/>



Rysunek 2. Możliwości przewozowe poszczególnych gałęzi w transporcie intermodalnym (opracowane przez Polski Instytut Transportu Drogowego)

Źródło: <https://intermodalnews.pl/2021/01/21/dynamiczny-rozwoj-transportu-intermodalnego-po-pandemii-be-dzie-jeszcze-lepiej/>

Transport intermodalny to przewóz ładunków wykorzystujący co najmniej dwa rodzaje transportu, z wykorzystaniem tylko jednej jednostki ładunkowej na przykład kontenerów wielkich, nadwozi wymiennych lub specjalistycznych naczep (rys. 1). Tego typu jednostki ładunkowe pozwalają na dostawę towaru bez przeładunku na całej trasie w zmieniających się gałęziach transportu. Zlecenie przewozowe jest realizowane bezpośrednio od nadawcy do odbiorcy zgodnie z regułą „od drzwi do drzwi” (*ang. door-to-door*).

Transport intermodalny może być klasyfikowany ze względu na:

- rodzaj użytych jednostek przewozowych,
- zasięg,
- rodzaj operatora.

W transporcie intermodalnym:

- sporządzana jest tylko jedna umowa o przewóz,
- tylko jeden wykonawca jest odpowiedzialny za przebieg dostawy ładunku.

Transport intermodalny obejmuje:

- przewozy morskie i rzeczne,
- przewozy kolejowe i samochodowe,
- przewozy promowe morskie.

W układzie kontynentalnym strategiczną funkcję odgrywają przewozy, które oprócz drogowego wykorzystują transport kolejowy, który zapewnia istotną redukcję zanieczyszczeń emitowanych do środowiska²¹. Warunkiem efektywnego wykorzystania transportu intermodalnego jest właściwa organizacja przewozów na kolejnych etapach łańcucha logistycznego. Należy podkreślić bardzo duże różnice występujące w poszczególnych gałęziach w zakresie ładowności środków transportu. Największe możliwości przewozowe posiada transport morski (rys. 2). Kontenerowce klasy Super Post Panamax należące do firmy Mediterranean Shipping Company SA wyznaczają obecnie standardy dla transportu globalnego. MSC Gülsün może przewozić 23 756 TEU, a MSC Irina zabiera jednorazowo ponad 24 300 TEU (czyli standardowych kontenerów 20-stopowych). Duże możliwości transportowe istnieją w krajach mających rozwiniętą żeglugę śródlądową, gdyż barka elektryczna umożliwia dostawę 350 TEU, ale w Polsce ten rodzaj usług jest niedostępny. Pociąg towarowy o standardowej długości 650 m przewozi 84 TEU, podczas gdy w transporcie drogowym zestaw ciężarowy to tylko 2 kontenery. Skuteczna obsługa bardzo dużych strumieni dostaw kontenerów realizowana szlakami do portów morskich stawia wysokie wyzwania spedycyjne (rys. 2). Jeden kontenerowiec wymaga zaangażowania ponad 14 000 zestawów drogowych i tylko 44 składów pociągów²².

Możliwości techniczne poszczególnych gałęzi transportu zostały podkreślone już w dyrektywie 92/106/EWG²³. Założono, że główna część przewozu wykonywana za pomocą transportu morskiego lub śródlądowego powinna być przejmowana przez kolej. Transport drogowy to wyłącznie obsługa końcowego etapu przy dostawie ładunku do odbiorcy.

²¹ Tundys B., Rzeczycki A., Drobiazgiewicz J., Decyzje strategiczne w łańcuchach dostaw, Wydawnictwo edu-Libri, ISBN: 978-83-65648-53-2, Kraków-Legionowo, 2018

²² <https://intermodalnews.pl/2021/01/21/dynamiczny-rozwoj-transportu-intermodalnego-po-pan-demii-bedzie-jeszcze-lepiej/>

²³ Dyrektywa Rady 92/106/EWG z dnia 7 grudnia 1992 r. w sprawie ustanowienia wspólnych zasad dla niektórych rodzajów transportu kombinowanego towarów między państwami członkowskimi

Europejskie kolejowe korytarze towarowe

Od lat 80. XX wieku w Europie Zachodniej, a w kolejnej dekadzie także w Europie Środkowo-Wschodniej udział przewozów kolejowych w obsłudze rynku wykazywał trwałą tendencję malejącą przy jednoczesnym wzroście pracy przewozowej wykonywanej przez transport drogowy. Próbą odwrócenia tego trendu była popularyzacja usług intermodalnych, które wzmacniały pozycję transportu kolejowego. W Genewie 1 lutego 1991 r. przyjęta została Umowa Europejska o ważnych międzynarodowych liniach transportu kombinowanego i obiektach towarzyszących (AGTC)²⁴. Termin „sieci ważnych międzynarodowych linii transportu kombinowanego” odnosił się do wszystkich linii kolejowych, które uważane były za niezbędne dla realizacji międzynarodowego transportu kombinowanego. W skład tej sieci zostały wówczas zaliczone:

- linie kolejowe o wymaganych parametrach,
- terminale kolejowe na terenie 28 państw europejskich,
- stacje wymiany grup wagonów,
- 119 przejść granicznych,
- 19 stacji umożliwiających zmianę szerokości torów,
- 29 przystani promowych i portów morskich.

W umowie AGTC podkreślono, że europejskie międzynarodowe linie kolejowe do realizacji transportu kombinowanego muszą charakteryzować się wysoką przepustowością oraz umożliwiać sporządzanie szczegółowych harmonogramów operacji przewozowych. Transport kombinowany to forma transportu intermodalnego. Spełnienie tych dwóch warunków możliwe jest generalnie tylko na liniach mających co najmniej dwa tory, stąd odcinki jednotorowe mogły być dopuszczone do eksploatacji tylko w wyjątkowych sytuacjach²⁵.

Dla linii eksploatowanych na terenie Europy jako wymaganą, zatwierdzono skrajnię UIC B, która umożliwia²⁶:

- transport kontenerów intermodalnych ISO (*ang. Intermodal Standardized Container*) o szerokości 2,44 m i wysokości 2,9 m na specjalistycznych platformach kolejowych o wysokości 1,18 m,
- transport naczeł na specjalistycznych platformach tzw. kieszeniowych,
- transport nadwozi wymiennych o szerokości 2,5 m i wysokości 2,6 m na klasycznych platformach kolejowych o wysokości 1,246 m,
- transport kontenerów oraz nadwozi wymiennych o szerokości 2,6 m i wysokości 2,9 m na specjalistycznych wagonach niskopodwoziowych.

Należy podkreślić, że linie kolejowe na terenie Europy o statusie międzynarodowym posiadają co najmniej skrajnię UIC B. Pewne ograniczenia dla transportu intermodalnego mogą wystąpić na liniach kolejowych poprowadzonych przez pasma górskie, czyli: Pireneje, Alpy, Masyw Centralny, Jurę (na granicy francusko-szwajcarskiej), Apeniny i Karpaty. Wszystkie tunele na tych trasach spełniają wymogi skrajni UIC B, ale jej podwyższenie do skrajni UIC C w praktyce nie jest możliwe do realizacji z uwagi na trudności techniczne i ekonomiczne.

²⁴ <https://web.archive.org/web/20160308073452/http://dokumenty.rcl.gov.pl/M2004003005001.pdf>

²⁵ <https://sip.lex.pl/akty-prawne/mp-monitor-polski/umowa-europejska-o-waznych-miedzynarodowych-liniach-transportu-17070481>

²⁶ J.w.

Dla wszystkich nowo budowanych linii kolejowych o statusie międzynarodowym dedykowana jest skrajnia UIC C, która umożliwia:

- transport samochodów ciężarowych oraz zestawów transportowych: samochód ciężarowy z przyczepą, ciągnik siodłowy z naczepą lub pojazdy przegubowe, które nie przekraczają skrajni drogowej obowiązującej na terenie Unii Europejskiej, czyli 4 m wysokości i 2,5 m szerokości z użyciem specjalistycznych platform o wysokości 60 cm,
- transport kontenerów intermodalnych ISO o szerokości 2,44 m i wysokości 2,9 m na standardowych platformach kolejowych,
- transport standardowych naczep samochodowych o wysokości 4 m i szerokości 2,5 m na platformach kieszeniowych zabudowanych na zwykłych wózkach,
- transport wymiennych nadwozi o szerokości 2,5 m na standardowych platformach kolejowych,
- transport kontenerów oraz nadwozi wymiennych o wysokości 2,9 m oraz szerokości 2,6 m na specjalistycznych wagonach.

Pociągi służące do obsługi międzynarodowego transportu intermodalnego powinny zapewniać: prędkość minimalną na poziomie 100 km/h (docelowo 120 km/h), długość składu 600 m (docelowo 750 m), masa pociągu 1200 ton (docelowo 1500 ton), nacisk na oś wagonu 20 ton (docelowo 22,5 tony, ale przy prędkości do 100 km/h). Sprawna realizacja przewozów obsługujących produkcję i dystrybucję towarów będzie zapewniona przez nadawanie najwyższego priorytetu pociągom transportu kombinowanego. W praktyce ich rozkłady jazdy będą konfigurowane tak, aby zapewniały niezawodność terminową i regularność czasową zleceń transportowych. Należy dążyć do formowania wysyłek bezpośrednich lub redukcji do minimum przeładunku przesyłek na inne pociągi podczas przewozu. Brak zakłóceń eksploatacyjnych na całej trasie (przestojów), przekraczanie granic bez konieczności zatrzymywania się w celu kontroli oraz jednocześnie zapewnienie nominalnej prędkości przejazdu powinny gwarantować krótszy czas przewozu niż transport samochodowy²⁷.

Istotnym warunkiem dla niezawodnego przebiegu przewozów intermodalnych jest sprawna obsługa zleceń na terminalach kolejowych. Odprawy na terminalach włączonych do sieci muszą zapewniać²⁸:

- obsługę w czasie jednej godziny pomiędzy finalnym przyjęciem ładunku a odjazdem pociągów oraz pomiędzy przyjazdem pociągu a jego rozładunkiem,
- minimalny czas postoju środków transportu drogowego czekających na załadunek oraz rozładunek (maksymalnie 20 minut),
- lokalizacja terminala musi zapewniać łatwy dojazd środków transportu drogowego oraz dobre połączenie z dalekobieżnymi liniami kolejowymi.

Stacje pośrednie służące do obsługi przewozów intermodalnych również muszą spełniać minimalne wymagania w zakresie:

- przepustowości dobowej,

²⁷<https://web.archive.org/web/20160308073452/http://dokumenty.rcl.gov.pl/M2004003005001.pdf>

²⁸ <https://sip.lex.pl/akty-prawne/mp-monitor-polski/umowa-europejska-o-waznych-miedzynarodowych-liniach-transportu-17070481>

- przepustowości torów przyjazdowo-odjazdowych, torów zestawienia pociągów, torów ładunkowych, torów rozrządowych i wyciągowych oraz torów dla wymiany zestawów kołowych,
- odpowiedniej długości torów do przyjęcia pociągu z pełnym składem wagonów.



Rysunek 3. Gęstość rozmieszczenia terminali intermodalnych na terenie poszczególnych państw Unii Europejskiej (opracowane przez Europejski Trybunał Obrachunkowy na podstawie sprawozdania Międzynarodowego Związku Kolei pt. „2020 Report on Combined Transport in Europe”).

Źródło: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/intermodal-freight-transport-08-2023/pl/>

W odniesieniu do współpracy z przystaniami promowymi i portami transport kolejowy powinien dążyć do skorelowania dostaw z ich ofertą przewozową. Załadunek statków i/lub rozładunek przy zastosowaniu odpowiedniej infrastruktury nie może być dłuższy niż jedna godzina.

Szlaki kolejowe w Europie

Infrastruktura kolejowa na terenie Unii Europejskiej obejmuje 230 000 kilometrów. Największą pod względem długości szlaków kolejowych sieć posiadają: Niemcy, Polska, Francja, Włochy i Wielka Brytania²⁹.

Korytarze kolejowe RFC (*ang. Railway Freight Corridors*) to wybrane trasy kolejowe na terenie Unii Europejskiej, które tworzą spójną sieć transportową. Zostały opracowane w celu zwiększenia efektywności i konkurencyjności międzynarodowego kolejowego transportu towarowego. Obowiązek wdrożenia korytarzy kolejowych RFC wynika z Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 913/2010 z dnia 22 września 2010 r. w sprawie europejskiej sieci kolejowej ukierunkowanej na konkurencyjny transport towarowy. Zgodnie z rozporządzeniem sieć kolejowa ma usprawnić przepływ towarów w układzie międzynarodowym, zmniejszyć zatłoczenie na drogach oraz promować transport kolejowy, jako bardziej ekologiczny. Organizacyjnie stanowią element transeuropejskiej sieci transportowej (TEN-T)³⁰.

Kluczowym elementem każdej utworzonej trasy są tzw. Korytarzowe Punkty Kompleksowej Obsługi C-OSS (*ang. Corridor One-Stop Shop*). Są to miejsca, gdzie zleceniodawca może złożyć wniosek o przydział trasy. W wybranym C-OSS otrzymuje decyzję o przydziale pociągu towarowego w wybranym korytarzu, gdy przewóz wymaga przekroczenia co najmniej jednej granicy. Punkty C-OSS przyjmują wnioski zarówno dla zleceń pilnych w ramach rezerwowej zdolności przepustowej, jak też dla zleceń zwykłych w ramach cyklicznego ruchu pociągów towarowych. Wszystkie tego typu działania są ukierunkowane na rozwój współpracy międzyregionalnej i transgranicznej tak, aby ułatwić i przyspieszyć transportu towarów w ramach obustronnej wymiany handlowej.

Europejskie Korytarze Transportowe RFC (rys. 4), to:

- RFC1 Corridor Rhine-Alpine (RA) - korytarz Ren-Alpy rozciąga się przez pięć krajów: Holandię, Belgię, Niemcy, Szwajcarię i Włochy, obejmuje 3 900 km linii kolejowych, 5 portów oraz ponad 100 terminali intermodalnych³¹.
- RFC2 Corridor North Sea-Mediterranean (NSM) - korytarz Morze Północne-Morze Śródziemne przebiega przez 6 krajów: Irlandię, Holandię, Belgię, Luksemburg, Francję i Szwajcarię, obejmując 5 465 km linii kolejowych, 6 portów oraz 121 terminali intermodalnych, w 2024 r. nastąpiło połączenie RFC1 i RFC2 w nowo utworzony RFC Morze Północne-Ren-Morze Śródziemne (NSRM), który obejmie 12 150 km linii kolejowych³².
- RFC3 Corridor Scandinavian-Mediterranean (ScanMed) - korytarz Skandynawia-Morze Śródziemne przebiega przez sześć krajów UE: Finlandię, Szwecję, Norwegię, Danię, Niemcy, Austrię i Włochy oraz drogą morską na Maltę, obejmując 7 527 km linii kolejowych, 21 lotnisk, 33 porty i 29 terminali kolejowo-drogowych^{33,34}.

²⁹ <https://enviogroup.com/szlaki-kolejowe-w-europie/>

³⁰ <https://www.plk-sa.pl/klienci-i-kontrahenci/wspolpraca-zarzadcow/wspolpraca-miedzynarodowa/korytarze-towarowe/kolejowe-korytarze-towarowe-rfc>

³¹ <https://www.corridor-rhine-alpine.eu/home.html>

³² <https://www.rfc-northsea-med.eu/>

³³ https://www.scanmedfreight.eu/scanmedrfc/whats_scanmedrfc/european-context/

³⁴ <https://www.scanmedfreight.eu/>

- RFC4 Corridor Atlantic - korytarz Atlantycki łączy cztery kraje UE: Niemcy, Francję, Hiszpanię i Portugalie, obejmując 6 200 km linii kolejowych, 15 portów, 44 terminale kolejowo-drogowe³⁵.
- RFC5 Corridor Baltic-Adriatic (BA) - korytarz utworzony w 2015 r. łączy Morze Bałtyckie i Morze Adriatyckie, przebiega przez sześć państw UE: Polskę, Czechy, Słowację, Austrię, Słowenię i Włochy, obejmuje 5 200 km linii kolejowych, 5 portów, ponad 80 terminali multimodalnych^{36,37}.
- RFC6 Corridor Mediterranean - korytarz Śródziemnomorski utworzony w 2013 r. przebiega przez 6 krajów UE: Hiszpanię, Francję, Włochy, Słowenię, Chorwację i Węgry, oferując możliwość bezpośredniej współpracy pomiędzy kontynentem europejskim oraz Afryką i Azją, obejmuje 7 000 km linii kolejowych, 10 portów, ponad 100 terminali multimodalnych³⁸.
- RFC7 Corridor Orient/East-Mediterranean (OEM) - korytarz Orient/Wschodnia część Morza Śródziemnego przebiega przez 8 krajów UE: Niemcy, Czechy, Słowację, Austrię, Węgry, Rumunię, Bułgarię i Grecję, obejmuje 3 712 km linii kolejowych, łącząc morskie granice Morza Północnego, Bałtyckiego, Czarnego i Śródziemnego, z dniem 1 kwietnia 2025 r., korytarz transportowy RFC Orient/East-Med został w pełni zintegrowany z korytarzem transportowym RFC Ren-Dunaj³⁹.
- RFC8 Corridor North Sea-Baltic (NSB) - korytarz łączący Morze Północne i Bałtyk przebiega przez 8 krajów UE: Belgię, Holandię, Niemcy, Czechy, Polskę, Litwę, Łotwę i Estonię, oferuje możliwość bezpośredniego połączenia pomiędzy najważniejszymi portami Morza Północnego z Europą Środkową i państwami bałtyckimi, obejmuje 3 200 km linii kolejowych, 16 lotnisk, 13 portów morskich, 18 portów śródlądowych oraz 17 terminali kolejowo-drogowych sieci bazowej⁴⁰.
- RFC9 Corridor Rhine-Dunabe (RD) - korytarz Ren-Dunaj przebiega przez 7 krajów UE: Austrię, Czechy, Francję, Niemcy, Węgry, Rumunię i Słowację, obejmuje 6 800 km linii kolejowych, łącząc tereny Europy Środkowej z portem w Konstancy⁴¹.
- RFC10 Corridor Alpine-Western Balkan (AWB) - korytarz łączący Alpy z Zachodnimi Bałkanami przebiega przez 5 krajów UE: Austrię, Słowenię, Chorwację, Serbię i Bułgarię, obejmuje 2 150 km linii kolejowych, 21 terminali intermodalnych i 12 stacji rozrządowych⁴².
- RFC11 Corridor Amber - korytarz Bursztynowy utworzony w 2019 r. przebiega przez 4 kraje UE: Słowenię, Węgry, Słowację i Polskę, obejmuje 3 000 km linii kolejowych, 1 port i 27 terminali, od 1 października 2025 r. RFC Amber zostanie w pełni zintegrowana z korytarzem RFC Bałtyk-Adriatyk.

³⁵ <https://www.atlantic-corridor.eu/>

³⁶ <https://www.rfc5.eu/>

³⁷ <https://www.rfi.it/en/>

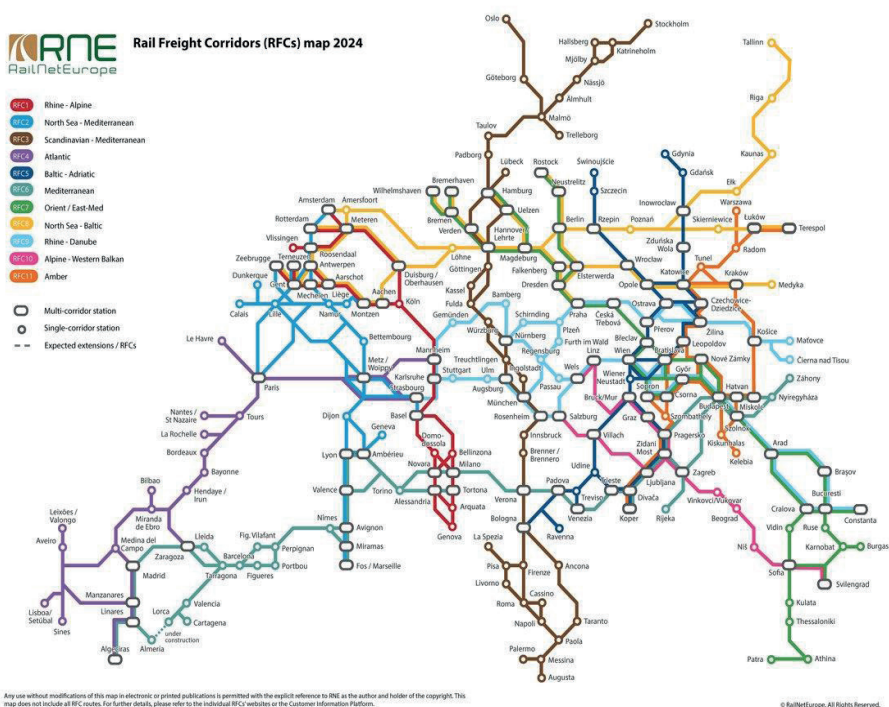
³⁸ <https://www.medrfc.eu/>

³⁹ <https://www.rfc7.eu/>

⁴⁰ <https://rfc8.eu/>

⁴¹ <https://rfc-rhine-danube.eu/>

⁴² <https://www.rfc-awb.eu/organisation/>



Rysunek 4. Sieć jedenastu europejskich kolejowych korytarzy towarowych RFC

Źródło: <https://www.plk-sa.pl/klienci-i-kontrahenci/wspolpraca-zarzadcow/wspolpraca-miedzynarodowa/korytarze-towarowe/kolejowe-korytarze-towarowe-rfc>

Wybrane linie kolejowe na obszarze Polski zostały włączone do sieci RFC (rys. 5), dzięki czemu mogą być efektywnie eksploatowane trzy korytarze transportu towarowego^{43,44}:

- Morze Bałtyckie - Morze Adriatyckie (RFC5),
- Morze Północne - Morze Bałtyckie (RFC8),
- Bursztynowy Korytarz Towarowy (RFC11).

⁴³ <https://www.plk-sa.pl/klienci-i-kontrahenci/wspolpraca-zarzadcow/wspolpraca-miedzynarodowa/korytarze-towarowe/kolejowe-korytarze-towarowe-w-polsce>

⁴⁴ Martincević I., Dąbrowski A., Układ sieci kolejowych TEN-T/RFC a możliwość utworzenia szybkiego połączenia kolejowego Warszawa – Budapeszt, Prace Instytutu Kolejnictwa, Zeszyt 161, str. 16-27, 2019



Rysunek 5. Kolejowe korytarze transportowe (RFC) przebiegające przez Polskę

Źródło: <https://www.plk-sa.pl/klienci-i-kontrahenci/wspolpraca-zaradcow/wspolpraca-miedzynarodowa/korytarze-towarowe/kolejowe-korytarze-towarowe-w-polsce>

Krajowe terminale przeładunkowe

Działania w zakresie popularyzacji transportu intermodalnego były konieczne dla odwrócenia bardzo niekorzystnego trendu w krajowym transporcie kolejowym. Należy podkreślić, że w latach 1990-2015 kolej w Polsce przeżyła prawdziwą zapaść, gdyż jej przewozy spadły w tym okresie prawie o 40%⁴⁵. Przyczyn takiego procesu należy szukać w likwidacji dużej liczby zakładów przemysłowych, zmianie struktury zatrudnienia i bezrobociu, do których PKP próbowało się dostosować poprzez redukcję kosztów operacyjnych. W latach 1991-2017 zlikwidowano łącznie 3 733 km tras kolejowych na terenie całej Polski, uzasadniając takie decyzje brakiem rentowności zarówno w przewozach towarowych, jak i pasażerskich⁴⁶. Liczba bocznic kolejowych w Polsce została również zredukowana o prawie 40% w ciągu ostatnich kilkunastu lat. Największy krajowy przewoźnik PKP Cargo S.A. w 2000 r. dysponował 1930 bocznicami, a w 2019 r. już tylko 990. Problemy rynkowe, które stały się udziałem

⁴⁵ <https://www.obserwatorfinansowy.pl/bez-kategorii/rotator/renesans-kolei/#fullimg1>

⁴⁶ <https://www.nakolei.pl/w-30-lat-zlikwidowano-3-733-km-szlakow-kolejowych/>

łem PKP Cargo S.A. w ostatnich latach spowodowały, że z roku na rok maleje liczba obsługiwanych przez tego przewoźnika bocznic⁴⁷. Pomimo tych trudności Grupa PKP CARGO oferuje zintegrowane rozwiązania logistyczne w zakresie przewozów intermodalnych na poziomie 1 280 000 TEU, dysponując ponad 4 000 platform intermodalnych (rys. 6)⁴⁸. Według danych UTK w 2024 r. na obszarze Polski dopuszczonych było do użytkowania 958 bocznic kolejowych, a w tym 22 szerokotorowe. Do innych ważnych przyczyn należy zaliczyć zbyt niską średnią prędkość pociągów towarowych oraz częste przypadki dużych opóźnień. Wynika to generalnie ze złego stanu infrastruktury kolejowej oraz prowadzonych w wielu miejscach inwestycji na kolei, które do momentu zakończenia destrukcyjnie wpływają na przepustowość poszczególnych szlaków⁴⁹.



Rysunek 6. Grupa PKP CARGO oferuje zintegrowane rozwiązania logistyczne w zakresie przewozów intermodalnych

Źródło: <https://www.pkpcargo.com/segmenty-biznesowe/intermodal/>

Terminale intermodalne obsługują przede wszystkim ładunki w układzie transport morski - transport kolejowy. Terminale morskie realizują również przewozy z przeładunkiem ze statku na transport drogowy, a terminale lądowe z transportu kolejowego na transport drogowy. Największy udział w obrocie intermodalnym mają polskie porty morskie oraz terminale graniczne.

⁴⁷ <https://kza.krakow.pl/bocznice-i-terminale-w-kolejowych-lancuchach-dostaw-cz-5/>

⁴⁸ <https://www.pkpcargo.com/segmenty-biznesowe/intermodal/>

⁴⁹ <https://www.obserwatorfinansowy.pl/bez-kategorii/rotator/unia-europejska-preferuje-kolej-my-tracimy-miliardy-niszczac-drogi/>

Tabela 1. Terminale przeładunkowe o największej przepustowości w Polsce

Lp.	Właściciel/Operator i nazwa terminala	Miejscowość	Powierzchnia całkowita terminalu [ha]	Powierzchnia składowa [TEU]	Roczna przepustowość [TEU]
1.	Baltic Hub Container Terminal sp. z o.o.	Gdańsk	97	64 000	2 950 000
2.	BCT-Bałtycki Terminal Kontenerowy, Sp. z o.o.	Gdynia	60	35 000	1 000 000
3.	Clip Intermodal Container Terminal	Jasin	15	10 000	1 000 000
4.	Gdynia Container Terminal S.A.	Gdynia	21	10 732	636 000
5.	Spedycja Polska Spedcont Sp. z o.o. Terminal Kontenerowy Łódź Olechów	Łódź	12,8	8 000	450 000
6.	Metrans (Polonia) sp. z o.o. Metrans HUB Terminal Gądk	Gądk	17,5	8 000	385 400
7.	PCC Intermodal S.A. Terminal Kutno	Kutno	12	4 000	350 000
8.	Loconi Intermodal S.A. Terminal Loconi w Radomsku	Radomsko	6,61	3 000	300 000
9.	Schavemaker Invest Sp. z o. o. Terminal Kąty Wrocławskie	Kąty Wrocławskie	7	3 800	300 000
10.	Euroterminal Sławków Sp. z o. o.	Sławków	9,33	3 500	284 810

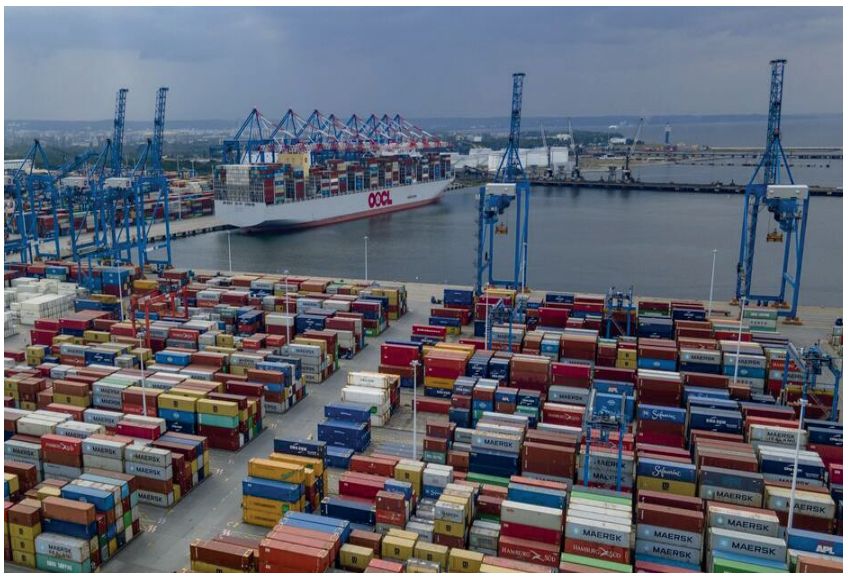
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Transportu Kolejowego (<https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/opis-terminali>)

W Polsce pierwszoplanową rolę odgrywają największe terminale morskie przeznaczone do obsługi ruchu kontenerowego: Baltic Hub Container Terminal Sp. z o.o. (BHCT), Bałtycki Terminal Kontenerowy Sp. z o.o. (BCT) oraz Gdynia Container Terminal Sp. z o.o. (GCT). Największym terminalem lądowym jest Clip Intermodal Container Terminal (Terminal Kontenerowy Swarzędz), który tak, jak BHCT w Gdańsku i BCT w Gdyni ma maksymalną roczną możliwość przeładunkową rzędu co najmniej 1 000 000 TEU (tab. 1)^{50,51}. Do grupy dużych lądowych terminali intermodalnych oprócz Clip Intermodal Container Terminal można zaliczyć kolejne sześć, które są zlokalizowane w: Gdyni, Łodzi, Gądkach, Kutnie, Radomsku, Kątach Wrocławskich i Sławkowie. Terminale lądowe z tej grupy mają maksymalną roczną możliwość przeładunkową na poziomie od 280 000 TEU do ponad 600 000 TEU (tab. 1).

Terminale sklasyfikowane w pierwszej dziesiątce mają bardzo zróżnicowane możliwości w zakresie składowania kontenerów. Terminal BHCT w Gdańsku może magazynować do 64 000 TEU, a BCT w Gdyni dysponuje powierzchnią na 35 000 TEU (rys. 7, 8).

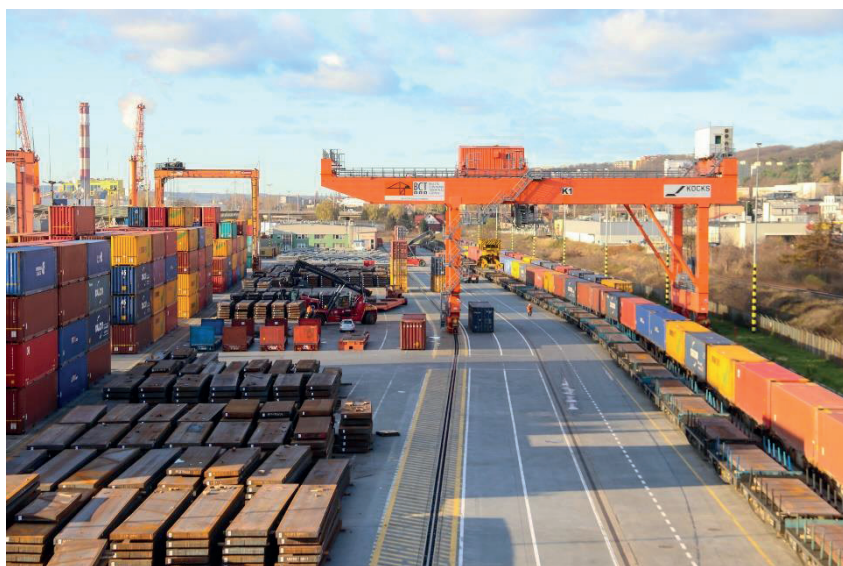
⁵⁰ Uchwała n r 177/ 2022 Rady Ministrów z dnia 26 sierpnia 2022 r. W sprawie przyjęcia dokumentu „kierunki rozwoju transportu intermodalnego do 2030 r. Z perspektywą do 2040 r.”

⁵¹ <https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/opis-terminali>



Rysunek 7. Baltic Hub Container Terminal Sp. z o. o. w Porcie w Gdańsku

Źródło: <https://download.cloudgdansk.pl/gdansk-pl/t/202407233612.jpg>



Rysunek 8. BCT - Bałtycki Terminal Kontenerowy Sp. z o.o. w Porcie w Gdyni

Źródło: https://stage-bct.s3.ap-southeast-1.amazonaws.com/s3fs-public/inline-files/ictsi_bct-1136.jpg

Następne cztery terminale zlokalizowane w Jasinie, Gdyni, Łodzi, Gądkach mogą magazynować od 8 000 do 10 000 TEU. Kolejne cztery w Kutnie, Radomsku, Kątach Wrocławskich i Sławkowie dysponują powierzchnią składowania od 3 500 do 4 000 TEU⁵².

Tabela 2. Terminale przeładunkowe o średniej przepustowości w Polsce

Lp.	Właściciel/Operator i nazwa terminala	Miejscowość	Powierzchnia całkowita terminalu [ha]	Powierzchnia składowa [TEU]	Roczna przepustowość [TEU]
1.	Metrans (Polonia) sp. z o.o. Terminal Dąbrowa Górnicza	Dąbrowa Górnicza	17	2 550	233 600
2.	PKP Cargo Terminale Sp. z o.o. Terminal Kontenerowy w Małaszewiczach	Małaszewicze	14,06	3 650	223 380
3.	Andrex Logistics Sp. z o.o. Terminal Chryzanów	Gruszki	6	3 000	200 000
4.	PUH Agrostop Sp. z o.o. Terminal Agrostop	Kobyłany	16	20 000	200 000
5.	CL Europort Sp. z o.o.	Małaszewicze Duże	19,04	6 000	150 000
6.	DB Port Szczecin Sp. z o.o.	Szczecin	6	5 000	150 000
7.	Laude Smart Intermodal S.A. Centrum Logistyczne w Zamościu	Wysokie	5	2 000	150 000
8.	PCC Intermodal S.A. Terminal Brzeg Dolny	Brzeg Dolny	9	3 000	150 000
9.	PCC Intermodal S.A. Terminal Gliwice	Gliwice	5	3 000	150 000
10.	Loconi Intermodal S.A. Terminal Loconi w Warszawie	Warszawa	8	4 300	140 000
11.	Miratrans Transport Sp. z o.o. Multimodal Terminal Miratrans	Krzewie	6,3	2 700	140 000
12.	PKP Cargo Connect Sp. z o.o. Terminal Gliwice	Gliwice	6,5	1 800	128 000
13.	PKP Cargo Connect Sp. z o.o. Terminal Kontenerowy Poznań	Poznań	2,8	1 500	117 000
14.	Karpień Sp. z o.o. Brzeski Terminal Kontenerowy	Brzesko	10,5	5 000	108 000

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Transportu Kolejowego (<https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/opis-terminali>)

Terminale przeładunkowe o średniej przepustowości to 14 firm, które umożliwiają roczną obsługę od 100 000 do ponad 230 000 TEU. Do największych w tej grupie należy zaliczyć terminale w Dąbrowie Górniczej, Małaszewiczach, Gruszkach i Kobyłanach. Terminal Agrostop Kobyłany wyróżnia się możliwościami w zakresie składowania dla 20 000 TEU (tab. 2). Terminale przeładunkowe o małej przepustowości to 21 firm, które umożliwiają roczną obsługę od 3 000 do ponad 96 000 TEU. Do największych w tej grupie należy zaliczyć terminale w Pruszkowie, Małaszewiczach Małych, Brwinowie, Warszawie, Łodzi, Szamotułach i Świnoujściu. Terminal Adampol SA w Małaszewiczach Małych oferuje największe możliwości w zakresie składowania kontenerów (do 20 000 TEU) (tab. 3).

⁵² <https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/opis-terminali>

Tabela 3. Terminale przeładunkowe o małej przepustowości w Polsce

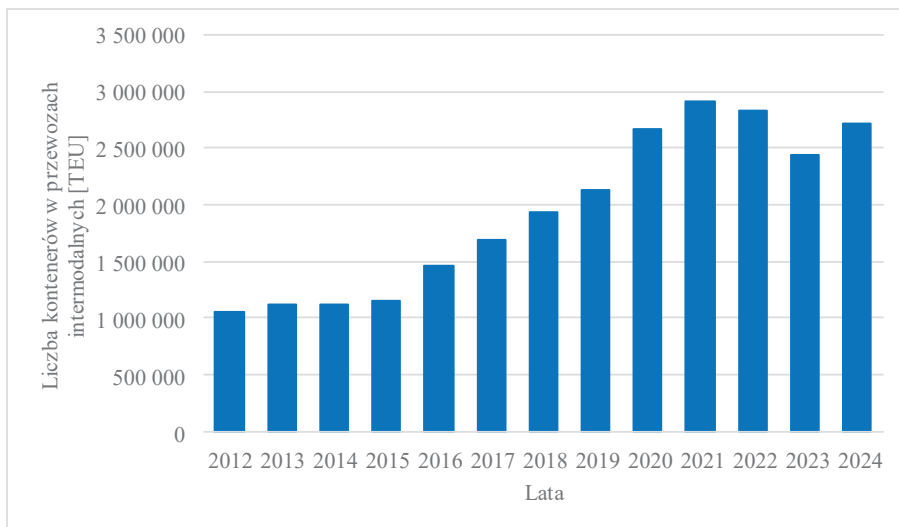
Lp.	Właściciel/Operator i nazwa terminala	Miejscowość	Powierzchnia całkowita terminalu [ha]	Powierzchnia składowa [TEU]	Roczna przepustowość [TEU]
Lp.	Właściciel/Operator i nazwa terminala	Miejscowość	Powierzchnia całkowita terminalu [ha]	Powierzchnia składowa [TEU]	Roczna przepustowość [TEU]
1.	Metrans (Polonia) sp. z o.o. Metrans Terminal Pruszków	Pruszków	4,5	1 500	96 000
2.	Adampol S.A. Terminal przeładunkowy w Małaszewiczach	Małaszewicze Małe	10	20 000	80 000
3.	Hupac Terminal Brwinów Sp. z o.o.	Brwinów	14	550	80 000
4.	PKP Cargo Connect Sp. z o.o. Terminal Kontenerowy Warszawa	Warszawa	3	1 500	77 000
5.	Centrostal Łódź S.A. Terminal Centrostal Łódź	Łódź	6,2	6 000	72 000
6.	OST SPED Intermodal Sp. z o.o., Sp. k. Terminal Intermodalny w Szamotułach	Szamotuły	3,5	1 800	70 000
7.	OT Port Świnoujście S.A.	Świnoujście	70	2 000	70 000
8.	Rail Polska Sp. z o.o. Terminal Kontenerowy Oleśnica - Baltic Rail	Cieśle	3	820	60 000
9.	Kontrast Krzysztof Koc Kontrast Intermodal	Łapy	6,56	1 020	54 750
10.	Laude Smart Intermodal S.A. Terminal Kontenerowy w Sosnowcu	Sosnowiec	1,76	260	50 000
11.	Rail Polska Sp. z o.o. Terminal Kontenerowy Włosienica	Włosienica	1	780	50 000
12.	Rail Terminal Rzepin Sp. z o.o.	Rzepin	2	1 100	50 000
13.	PKP Cargo Terminale Sp. z o.o. Terminal Kontenerowy w Medyce	Medyka	5,65	600	43 800
14.	PKP Cargo Terminale Sp. z o.o. Terminal Kontenerowy w Żurawicy	Żurawica	2	60	43 000
15.	Cargosped Terminal Braniewo sp. z o.o.	Braniewo	13,6	0	40 000
16.	PKP Cargo Terminale Sp. z o.o. Terminal Kontenerowy Zduńska Wola – Karsznice	Zduńska Wola	12	1 500	20 000
17.	Port Gdański Eksploatacja S.A. Nb.Szczecińskie - kontenery	Gdańsk	8,4	4 000	20 000
18.	Erontrans, spółka z ograniczoną odpowiedzialnością	Łódź	1,2	1 400	18 000
19.	LTK-Intermodal Sp. z o. o. Terminal LTK-Intermodal	Drzewce	1	300	10 000
20.	NELPORT Gróbarczyk, Kaniewska, Mieczkowski, Sp.j. Terminal w Elku	Elk	0,58	1 000	6 800
21.	DAR STAL Dariusz Zaława Terminal Intermodalny	Myszków	3,05	40	3180

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Transportu Kolejowego (<https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/opis-terminali>)

Terminale przeładunkowe o małej przepustowości to jednostki dysponujące powierzchnią od kilku do kilkunastu hektarów⁵³.

⁵³ <https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/opis-terminali>

Wielkość transportu intermodalnego obsługowanego w czterdziestu pięciu krajowych terminalach w latach 2012-2024 była zmienna. Generalnie miała trend rosnący od 1 046 982 TEU w 2012 r. do maksymalnego poziomu 2 919 818 TEU w 2021 r. oraz ponownie wzrostu do 2 716 078 TEU w 2024 r. (rys. 9). Krajowy rynek intermodalny obsługiwany jest przez 37 podmiotów, ale trzy największe firmy mają łączny udział na poziomie ponad 50%, czyli PCC Intermodal (19,85%), PKP Cargo (19,14%) i DB Cargo Polska (11,75%).



Rysunek 9. Wielkość transportu intermodalnego obsługowanego w krajowych terminalach w latach 2012-2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie <https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/dane-eksploatacyjne/22544,Przewozy-intermodalne-w-2025-r.html>

Przykładem działań mających na celu podwyższenie możliwości transportowych kolei jest m.in. rozbudowa terminalu intermodalnego PCC Intermodal w Kutnie oraz Clip Intermodal w Jasinie (rys. 10, 11). CLIP Group S.A. zrealizowała rozbudowę torów z 4 do 8 o pełnej długości 750 metrów, a także strefy przeładunkowej, co umożliwiła obsługę 20 pociągów na dobę. Terminal posiada system intermodalnych suwnic (trzech szynowych i dwóch kołowych), które mogą być obsługiwane przez system Remote Operation Station. Kompleksowa optymalizacja procesów jest prowadzona poprzez Terminal Operation System, umożliwiając skrócenie czasu obsługi pociągu na terminalu z 8 do 6 godzin. System trakcyjny „Megahabrail Intermodal” zapewnia przemieszczanie pociągów na terenie bocznicy pod trakcją. Taki model eliminuje odłączanie pociągu z sieci w trakcie wykonywania jego przeładunku oraz wyklucza konieczność stosowania lokomotyw spalinowych^{54,55,56}.

⁵⁴ <https://www.ndi.pl/rozbudowa-terminalu-intermodalnego-clip-w-swarzedzu-zakonczona>

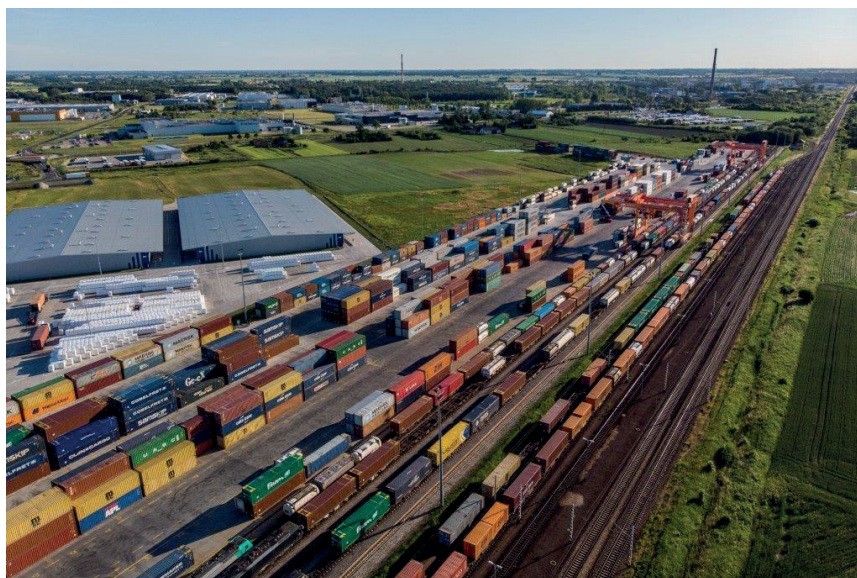
⁵⁵ <https://clip-group.com/>

⁵⁶ <https://logistyka.rp.pl/szynowy/art37124051-rozbudowany-clip-w-swarzedzu-to-jeden-z-najwiekszych-terminal-kolejowych-w-polsce>



Rysunek 10. Terminal kontenerowy CLIP GROUP S.A. Jasen

Źródło: <https://logistyka.rp.pl/szynowy/art37124051-rozbudowany-clip-w-swarzedzu-to-jeden-z-najwiekszych-terminal-kolejowych-w-polsce>



Rysunek 11. Terminal PCC Intermodal w Kutnie posiadający cztery tory przeładunkowe o długości 700 metrów

Źródło: https://www.railweb.ch/wp-content/uploads/2021/01/PCC_Kutno2-1.jpg

Podsumowanie

Transport intermodalny od początku XXI wieku promowany był, jako symbol nowoczesnej i zrównoważonej logistyki w usługach przewozowych. Niższe koszty na długich dystansach i ekologia przewozów kolejną w połączeniu z elastycznością przewozów drogowych stanowiły mocne argumenty w ofercie rynkowej. Kluczową zaletą było także to, że wykluczono ingerencję w ładunek, który został zapakowany do jednostki przewozowej. Brak potrzeby powtarzania czynności przeładunkowych redukowało czas przewozu i koszty transportu. Zarówno kontenery, jak też nadwozia i naczepy dzięki odpowiednim urządzeniom przeładunkowym mogły być sprawnie i bezpiecznie przemieszczane na szlakach kolejowych. Powyższe zalety spowodowały, że transport intermodalny na obszarze Unii Europejskiej na przestrzeni minionej dekady sukcesywnie powiększał swój udział w przewozach ładunków⁵⁷. Tendencję wzrostową zredukowała jednak pandemia COVID-19, a następnie przerwanie łańcuchów dostaw lądowych pomiędzy Azją i Europą⁵⁸.

Do przyczyn regresu w transporcie intermodalnym należy ponadto zaliczyć⁵⁹:

- ogólną stagnację w gospodarce wielu państw na terenie Unii Europejskiej,
- podjęte w ostatnich latach w szerokim zakresie prace modernizacyjne sieci kolejowych szczególnie w Niemczech i w Polsce, ale także ich przebudowa w mniejszym zakresie na terenie innych krajów UE, co powoduje na poszczególnych korytarzach transportowych ograniczenie przepustowości i odwoływanie kursów pociągów tym samym podwyższając koszty operacyjne zleceń,
- rosnące opłaty drogowe obciążają transport kombinowany na tzw. pierwszej i ostatniej mili - absolutnie konieczne są bowiem dojazdy do kolejowych terminali intermodalnych w celu pobrania, a następnie przekazanie towaru z udziałem transportu drogowego z uwagi na brak połączeń kolejowych i bocznic u większości zleceniodawców.

Osiągnięcie celu klimatycznego w zakresie redukcji emisji CO₂ założonego przez Komisję Europejską na 2030 r. wymaga, aby co najmniej 30% transportu towarów na odległość powyżej 300 km było przeniesionych z transportu drogowego na szlaki kolejowe. Gdy malejąca rentowność przewozów intermodalnych będzie postępować powyższe założenia należy uznać za nierealne do osiągnięcia.

Transport intermodalny wymaga podjęcia zdecydowanych działań na poziomie UE w zakresie⁶⁰:

- zwolnienia lub przynajmniej wprowadzenia ulg lub preferencyjnych stawek w zakresie opłat drogowych i portowych,
- zatrzymania rosnących kosztów energii,
- zmniejszenia deficytu kadrowego na kolei szczególnie w grupie zawodowej maszynistów,

⁵⁷ <https://www.obserwatorfinansowy.pl/bez-kategorii/rotator/renesans-kolei/#fullimg1>

⁵⁸ <https://kurier-kolejowy.pl/aktualnosci/49035/kryzys-w-transporcie-intermodalnym-staje-sie-faktem.html>

⁵⁹ <https://kurier-kolejowy.pl/aktualnosci/49035/kryzys-w-transporcie-intermodalnym-staje-sie-faktem.html>

⁶⁰ <https://kurier-kolejowy.pl/aktualnosci/49035/kryzys-w-transporcie-intermodalnym-staje-sie-faktem.html>

- redukcji opóźnień w realizacji modernizacji szlaków kolejowych oraz uproszczenia procedur inwestycyjnych w tym zakresie,
- budowy platform internetowe do wymiany danych pomiędzy firmami realizującymi przewozy drogowe i kolejowe,
- przyspieszenia cyfryzacji procesów logistycznych tak, aby możliwe było automatyczne planowanie slotów terminalowych oraz wystawianie cyfrowych listów przewozowych.

Transport intermodalny musi być konkurencyjny w odniesieniu do klasycznych przewozów drogowych na długich dystansach, aby możliwe było pełne wykorzystanie jego potencjału. Konieczny jest dalszy szybki rozwój infrastruktury i rozbudowa oferty połączeń, aby poprawić rentowność funkcjonowania terminali. Wypracowane dzięki temu fundusze łącznie z systemem dotacji pozwolą na inwestycje, budujące konkurencyjność kolei w długim horyzoncie czasowym.

Bibliografia

- Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J., *Logistyka jako czynnik dobrostanu*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021
- Dyrektywa Rady 92/106/EWG z dnia 7 grudnia 1992 r. w sprawie ustanowienia wspólnych zasad dla niektórych rodzajów transportu kombinowanego towarów między państwami członkowskimi
- Gąsowska M.K., *Zarządzanie procesami logistycznymi we współczesnych przedsiębiorstwach*, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8270-091-6, Warszawa, 2022
- Gołębska E., Gołębski M., *Transport w logistyce*, CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-343-6, Warszawa, 2020
- Juściński S., *Analiza rynku nowoczesnych powierzchni magazynowych w centrach logistycznych*, [w:] Logistyka dla regionu, ISBN 978-83-64377-27-3, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, str. 123-141, 2018
- Juściński S., *Analiza systemów kompleksowego zarządzania logistycznego flotą pojazdów*. [w:] Mechatronika i Telematyka w Logistyce, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.) ISBN 978-83-64377-440, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 81-97, 2019
- Juściński S., *Aplikacja systemów informatycznych klasy TMS w obsłudze przesyłek kontenerowych w transporcie morskim*, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, str. 97-124, 2021
- Juściński S., *Autonomiczne pojazdy ciężarowe jako innowacyjne wsparcie logistycznych łańcuchów dostaw*, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M.: (red.): Procesy logistyczne w przemyśle. Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, str. 55-83, 2023
- Juściński S., *Platformy internetowe, jako system wspomagania informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka*. [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, str. 125-154, 2021
- Juściński S., *Pojazdy z napędem alternatywnym, jako przykład zrównoważonego rozwoju logistycznych łańcuchów dostaw*, [w:] Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 137-166, 2020
- Kłóska R. (red.), *Infrastruktura transportowa i cyfrowa jako czynnik regionalnego i lokalnego rozwoju gospodarczego*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: 978-83-7972-412-3, Szczecin, 2020
- Kordel Z. (red.), *Polski transport samochodowy ładunków*, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-283-5, Warszawa, 2019

- Książkiewicz D., *Rozwój transportu, spedycji i logistyki w dobie cyfryzacji i globalnej gospodarki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN: 978-83-8206-379-0, Gdańsk, 2021
- Martincević I., Dąbrowski A., *Układ sieci kolejowych TEN-T/RFC a możliwość utworzenia szybkiego połączenia kolejowego Warszawa – Budapeszt*, Prace Instytutu Kolejnictwa, Zeszyt 161, str. 16-27, 2019
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1315/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej i uchylające decyzję nr 661/2010/UE, Dz.U. L 348/1, 20 grudnia 2013 r.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 913/2010 z dnia 22 września 2010 r. w sprawie europejskiej sieci kolejowej ukierunkowanej na konkurencyjny transport towarowy, Dz.U. L 276/25, 20 października 2010 r.
- Sadowska B., *Rachunek kosztów logistycznych w przedsiębiorstwie*, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-432-7, Warszawa, 2021
- Tundys B., Rzeczycki A., Drobiazgiewicz J., *Decyzje strategiczne w łańcuchach dostaw*, Wydawnictwo edu-Libri, ISBN: 978-83-65648-53-2, Kraków-Legionowo, 2018
- Uchwała nr 177/2022 Rady Ministrów z dnia 26 sierpnia 2022 r. W sprawie przyjęcia dokumentu „kierunki rozwoju transportu intermodalnego do 2030 r. z perspektywą do 2040 r.”
- Wojewódzka-Król K., Załoga E. (red.), *Transport. Tendencje zmian*, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-22033-4, Warszawa, 2022
- Wroński M., *Transport drogowy na bardzo ostrym wirażu*, Transport i Logistyka, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes, Nr 82 (6247), str. 9, 25 kwietnia 2022 r.
- <https://clip-group.com/>
- <https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/dane-eksploatacyjne/22544,Przewozy-intermodalne-w-2025-r.html>
- <https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/opis-terminali>
- <https://enviogroup.com/szlaki-kolejowe-w-europie/>
- <https://intermodalnews.pl/2021/01/21/dynamiczny-rozwoj-transportu-intermodalnego-po-pandemii-będzie-jeszcze-lepiej/>
- <https://kurier-kolejowy.pl/aktualnosci/49035/kryzys-w-transportcie-intermodalnym-staje-sie-faktem.html>
- <https://kza.krakow.pl/bocznice-i-terminale-w-kolejowych-lancuchach-dostaw-cz-5/>
- <https://logistyka.rp.pl/szynowy/art37124051-rozbudowany-clip-w-swarzedzu-to-jeden-z-najwiekszych-terminal-kolejowych-w-polsce>
- <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/intermodal-freight-transport-08-2023/pl/>
- <https://rfc8.eu/>
- <https://rfc-rhine-danube.eu/>
- <https://sip.lex.pl/akty-prawne/mp-monitor-polski/umowa-europejska-o-waznych-miedzynarodowych-liniach-transportu-17070481>
- https://stage-bct.s3.ap-southeast-1.amazonaws.com/s3fs-public/inline-files/ictsi_bct-1136.jpg
- https://web.archive.org/web/20160308073452/http://dokumenty.rcl.gov.pl/M2004003_005001.pdf
- <https://www.atlantic-corridor.eu/>
- <https://www.corridor-rhine-alpine.eu/home.html>
- <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/transeuropejska-siec-transportowa--ten-t>
- <https://www.medrfc.eu/>
- <https://www.nakolei.pl/w-30-lat-zlikwidowano-3-733-km-szlakow-kolejowych/>
- <https://www.ndi.pl/rozbudowa-terminalu-intermodalnego-clip-w-swarzedzu-zakonczone>
- <https://www.obserwatorfinansowy.pl/bez-kategorii/rotator/renesans-kolei/#fullimg1>
- <https://www.obserwatorfinansowy.pl/bez-kategorii/rotator/unia-europejska-preferuje-kolej-my-tracimy-miliardy-niszczac-drogi/>
- <https://www.pkpcargo.com/segmenty-biznesowe/intermodal/>

<https://www.plk-sa.pl/klienci-i-kontrahenci/wspolpraca-zarzadcow/wspolpraca-miedzynarodowa/korytarze-towarowe/kolejowe-korytarze-towarowe-rfc>
https://www.railweb.ch/wp-content/uploads/2021/01/PCC_Kutno2-1.jpg
<https://www.rfc5.eu/>
<https://www.rfc7.eu/>
<https://www.rfc-awb.eu/organisation/>
<https://www.rfc-northsea-med.eu/>
<https://www.rfi.it/en/>
<https://www.scanmedfreight.eu/>
https://www.scanmedfreight.eu/scanmedrfc/whats_scanmedrfc/european-context/

Adres do korespondencji: e-mail: slawomir.juscinski@up.lublin.pl

ORCID: Sławomir Juściński 0000-0002-2692-9083

ORCID: Anna Stankiewicz 0000-0002-0715-7225

KOSZTOCHŁONNOŚĆ TRANSPORTU WYROBÓW MLECZARSKICH - STUDIUM PRZYPADKU OKRĘGOWEJ SPÓŁDZIELNI MLECZARSKIEJ W RAWICZU

Aleksandra Lis¹, Jacek Myślecki², Kamila Smoleń³

¹ Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

² Okręgowa Spółdzielnia Mleczarska w Rawiczu

³ Dyplomantka w Katedrze Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Wstęp

Transport, stanowiąc obok magazynowania oraz czynności manipulacyjnych jedną z fundamentalnych i pierwotnych działalności logistycznych, jest elementem, który wchodzi w głębokie interakcje ze wszystkimi pozostałymi obszarami działalności logistycznej. Z tego powodu organizacja procesów transportowych w strukturze przedsiębiorstwa jest bezpośrednio warunkowana sposobem powiązania i stopniem integracji z innymi funkcjonalnymi sferami działalności organizacji, co jest kluczowe dla osiągnięcia synergii operacyjnej¹.

System transportowy rozumiany jako kompleksowy zbiór elementów, który jest strukturalnie złożony z kluczowych podsystemów: technicznego, organizacyjnego, ekonomicznego i prawnego ma zasadnicze znaczenie dla sukcesu przedsiębiorstwa. Rola tego systemu w funkcjonowaniu całej gospodarki jest tak znacząca i niezbywalna, że nie jest on możliwy do zastąpienia żadną inną pojedynczą działalnością². Jako jeden z kluczowych działów gospodarki narodowej, transport pełni doniosłą funkcję w stymulowaniu rozwoju gospodarczego zarówno na poziomie regionalnym, jak i państwowym. Chociaż wszystkie składowe systemu transportowego są istotne, za czynniki o kluczowym znaczeniu dla jego efektywności uznaje się zapewnienie odpowiedniej infrastruktury oraz profesjonalną organizację procesów przewozowych³.

W przedsiębiorstwach sektora spożywczego jednym z podstawowych zadań logistyki jest optymalizacja oraz kompleksowe zarządzanie procesami transportu wrażliwych produktów

¹ Kisperska-Moroń, D., Krzyżaniak, S. (red.), Logistyka. Biblioteka Logistyka, Poznań, s. 156-157, 2009

² Łacny, J., Funkcjonowanie międzynarodowego transportu drogowego ładunków w gospodarce globalnej. ITE-PIB, Bydgoszcz-Radom, s. 20-21, 2009

³ Mendyk, E., Ekonomika transportu. Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań, s. 11-14, 2009

żywnościowych. Logistyka produktów żywnościowych obejmuje koordynację przepływu tych produktów oraz informacji towarzyszącej w całym łańcuchu żywnościowym, od zaopatrzenia w surowce i opakowania, poprzez produkcję przetwórczą, magazynowanie, transport, aż po dystrybucję. Ostatnim kluczowym obszarem jest podsystem dystrybucji, który obejmuje magazynowanie wyrobów w fazie obrotu, procesy rynkowe oraz procesy dostawy. Ten obszar, nazywany logistyką dystrybucji, wymaga zastosowania specjalistycznych środków transportu. W sytuacji, gdy dystrybucja jest realizowana za pośrednictwem centrów logistycznych lub dystrybucyjnych, niezbędne staje się wykorzystanie specjalistycznego transportu mniejszymi jednostkami do finalnego rozwożenia artykułów do odbiorców⁴.

W celu osiągnięcia wysokiej efektywności, przedsiębiorstwa branży spożywczej rutynowo podejmują działania optymalizacyjne skoncentrowane na doborze dostawców, organizacji transportu oraz efektywnym sterowaniu poziomem zapasów⁵. Podsumowując, transport pozostaje, obok magazynowania i czynności manipulacyjnych, fundamentalną działalnością logistyczną, a jego organizacja jest ściśle związana z powiązaniem z innymi obszarami funkcjonalnymi przedsiębiorstwa⁶.

Celem pracy jest analiza studium przypadku Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Rawiczu pod kątem kosztów transportu wyrobów gotowych. Opracowanie to, posługując się studium przypadku, ma na celu określenie kosztocłoności procesu transportu wyrobów gotowych. Celem dodatkowym jest wsparcie procesu decyzyjnego w zakresie wyboru optymalnej kosztowo opcji transportu. Szczególnie, określenie czy bardziej korzystne jest korzystanie z własnej floty czy outsourcingu w zakresie transportu gotowych wyrobów mleczarskich do odbiorców.

Transport własny a outsourcing procesów transportowych

W literaturze przyjmuje się, że outsourcing logistyczny jest istotnym czynnikiem kreowania przewagi konkurencyjnej, którą przedsiębiorstwa chcą osiągnąć, przekazując część swych kompetencji wyspecjalizowanemu graczowi na rynku, jakim jest operator logistyczny. Operator logistyczny przejmuje rolę ogniwa, które jest odpowiedzialne za sprawną i szybką organizację dostaw materiałów do wytworzenia danego produktu czy jego późniejszą dystrybucję. Przedsiębiorstwa, powierzając usługi logistyczne firmom zewnętrznym, dążą, jak to już było wspomniane, do poprawy jakości obsługi swojego klienta, dlatego podpisują umowy tylko z najlepszymi, pod względem określonych kryteriów, operatorami logistycznymi. Specyfika outsourcingu logistycznego polega na oddaniu w outsourcing funkcji związanych z logistyką. Tak też należy w szerokim pojęciu definiować outsourcing logistyczny. W węższym znaczeniu jest on rozumiany jako współpraca, będąca przedmiotem umowy,

⁴ Wasilewski, A., Znaczenie centrów dystrybucyjnych i logistycznych na rynku mleczarskim. *Technologie Spożywcze*, 2020

⁵ Baran, J., Metody uzupełniania zapasów w spółdzielni mleczarskiej – studium przypadku. *Roczniki Naukowe SERiA*, t. XI, z. 1, 2009

⁶ Kisperska-Moroń, D., Krzyżaniak, S. (red.), *Logistyka*. Biblioteka Logistyka, Poznań, s. 156-157, 2009

polegająca na przekazaniu przez przedsiębiorstwo realizacji funkcji logistycznych w ręce operatora logistycznego⁷.

Głównym celem współpracy współczesnych przedsiębiorstw z różnymi organizacjami jest dążenie do skuteczniejszego sprostania konkurencji. Outsourcing polega na wydzieleniu z przedsiębiorstwa określonych funkcji i zlecenie ich firmie zewnętrznej. Podstawową przesłanką wdrażania koncepcji outsourcingu jest możliwość obniżenia kosztów przedsiębiorstwa. Outsourcingowi podlegają najczęściej funkcje najmniej dodające wartości, będące kompetencjami wspierającymi kompetencje kluczowe. Jeżeli logistyka nie należy do kluczowych kompetencji przedsiębiorstwa, to powierzenie organizacji i/lub realizacji całości lub części procesów logistycznych wyspecjalizowanym usługodawcom logistycznym może istotnie przyczynić się do wzrostu efektywności procesów logistycznych, co przekłada się na zwiększenie efektywności przedsiębiorstwa. Outsourcing logistyczny polega na wydzielaniu zasobów i korzystaniu z usług logistycznych oferowanych przez wyspecjalizowane podmioty zewnętrzne, które na własne ryzyko i zwykle wykorzystując własne zasoby przejmują nad nimi funkcje zarządcze i wykonawcze. Szeroko interpretowany outsourcing logistyczny obejmuje również zakup 12 różnorodnych usług logistycznych od podmiotów zewnętrznych bez spełniania warunku transformacji zasobów⁸.

Korzyści płynące z zastosowania narzędzi outsourcingowych przyczyniają się do zwiększenia aktywności przedsiębiorstwa na rynku, poprawy jakości własnych usług, zwiększenia środków na inwestycje, a także wzmocnienia pozycji konkurencyjnej przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów wewnętrznych, związanych z obsługą struktur przedsiębiorstwa. Jednak zanim przedsiębiorstwo zdecyduje się na outsourcing powinno ustalić, jaki jest jego cel. Należy zatem przeprowadzić szczegółową analizę potencjalnych korzyści, które prowadzący działalność chcą osiągnąć. Niektóre przedsiębiorstwa poprzez outsourcing chcą osiągnąć oszczędności finansowe, inne poprawić jakość funkcjonowania niektórych obszarów lub zredukować ryzyko na określonej płaszczyźnie. Od samego przedsiębiorstwa zależy, czy będzie dążyło do osiągnięcia tylko jednego celu, czy wszystkich jednocześnie w dużej mierze realizacja celów uzależniona jest od branży, sytuacji ekonomicznej przedsiębiorstwa, struktury wewnętrznej i planowanej strategii rozwoju⁹.

Outsourcing jako metoda zaspokajania potrzeb wewnętrznych przedsiębiorstwa, podobnie jak każda inna – cechuje się określonym zaletami i wadami. W tabeli 1 zostały zebrane obydwa cechy z perspektywy finansowej, strategicznej, technologicznej oraz organizacyjnej.

⁷ Grabowska, J., Outsourcing usług logistycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie, z. 60, 2012

⁸ Witkowski, J., Uwarunkowania i perspektywy rozwoju outsourcingu logistycznego w Europie. [w:] Logistyka międzynarodowa w gospodarce światowej, Wydawnictwo AE Poznań, 2008

⁹ Kocharńska-Mierzejewska, B., Korzyści z outsourcingu. Gazeta MSP, nr 1(58), s. 18-19, 2007

Tabela 1. Zalety i wady outsourcingu w przedsiębiorstwie

Kategoria	Zalety	Wady
Finansowe	- Optymalizacja kosztów przedsiębiorstwa poprzez eliminację kosztów stałych i dostosowanie struktury wydatków do bieżących potrzeb. - Możliwość poprawy jakości i wydajności usług dzięki specjalizacji dostawców.	- Ryzyko ujawnienia informacji finansowych podmiotom zewnętrznym. - Dodatkowe koszty związane z nadzorem i kontrolą outsourcingu.
Strategiczne	- Koncentracja na kluczowych obszarach działalności. - Większa elastyczność w dostosowywaniu się do zmian rynkowych. - Wzmocnienie pozycji konkurencyjnej poprzez korzystanie z zasobów zewnętrznych.	- Wysokie bariery wyjścia oraz uzależnienie od dostawców. - Możliwe zmniejszenie bezpieczeństwa poufnych danych. - Brak elastyczności w przypadku nagłej konieczności zmiany dostawcy.
Technologiczne	- Redukcja kosztów inwestycyjnych na rozwój i wdrożenie nowych technologii.	- Ryzyko wystąpienia problemów technicznych u dostawcy. - Brak kontroli nad nowoczesnością stosowanych rozwiązań technologicznych.
Organizacyjne	- Możliwość redukcji zatrudnienia i obciążenia personelu od zadań operacyjnych. - Dostęp do wyspecjalizowanej wiedzy i doświadczenia ekspertów zewnętrznych. - Możliwość zastosowania rotacji dostawców, co zwiększa konkurencyjność.	- Zależność przedsiębiorstwa od zewnętrznych partnerów. - Ograniczona kontrola nad jakością i efektywnością wykonywanych usług. - Brak zaangażowania dostawcy w długoterminowe cele organizacji.

Źródło: Kłos, 2008

Logistyka kontraktowa jest pojęciem zamiennym dla outsourcingu w logistyce i oznacza rodzaj długoterminowej współpracy, np. pomiędzy przedsiębiorstwem (producentem) a usługodawcą logistycznym, przy czym usługodawca w ramach umowy podejmuje odpowiednie działania logistyczne, łączące wszystkich jego uczestników. Specyfika outsourcingu logistycznego, jak już zostało wspomniane, polega na oddaniu w outsourcing funkcji związanych z logistyką lub kompleksowo zarządzaniem łańcuchem dostaw. W zależności od warunków podpisanej umowy między przedsiębiorstwem a operatorem współpraca między nimi ma charakter jednorazowy bądź długofalowy, oparty na zasadach partnerstwa¹⁰.

Przedsiębiorstwa mogą podjąć współpracę tylko z operatorami logistycznymi, którzy są w stanie dostosować się do potrzeb potencjalnego klienta, jego specyfiki produktowej oraz wszelkich innych procedur, jakie powinny zostać zachowane, aby docelowo produkt trafił do

¹⁰ Grabowska, J., Outsourcing usług logistycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie, z. 60, 2012

odbiorcy. Identyfikacja potrzeb przedsiębiorstwa chcącego korzystać z outsourcingu logistycznego jest istotna z punktu widzenia podjęcia współpracy oraz możliwości dostosowania się do wymagań. Odpowiedni kanał komunikacji pomiędzy przedsiębiorstwami powinien być przygotowany już we wczesnych etapach podjęcia umowy. Określenie potrzeb przedsiębiorstwa delegującego outsourcing powinno wiązać się z konstrukcją odpowiedniej umowy, która musi zawierać wyszczególnione informacje na temat kosztów działania, obszarów działania, odpowiedniej komunikacji, ewentualnych reklamacji, ubezpieczeń, okresu współpracy itd.¹¹.

W wielu pracach oraz prowadzonych badaniach poruszających zagadnienie outsourcingu logistycznego możemy zwrócić uwagę na szereg zalet, ale również na wady, które wiążą się z podjęciem współpracy. Nieodłącznym elementem jest ryzyko podjęcia strategicznych decyzji. W zależności od specyfiki przedsiębiorstwa, od jego produktu oraz delegowanej części procesu ryzyko oraz wady mogą różnić się od siebie. Wielu autorów w swoich pracach jako główną wadę korzystania z outsourcingu logistycznego wymienia wzrost kosztów działalności. Wykwalifikowane przedsiębiorstwa przez swój szeroki zakres działania często są kosztowne, szczególnie prestiżowe przedsiębiorstwa¹².

Do ryzyka wynikającego z podjęcia współpracy należy zaliczyć również utratę posiadanego poziomu jakości oferowanych usług w wyniku tendencji standaryzacji usług według wszystkich klientów zlecających procesy. Często specyfika produktów wymaga szczególnej uwagi i przestrzegania innych procedur, dlatego w momencie, gdy istnieje duży popyt na usługi operatorów logistycznych, może dojść do zerwania współpracy ze zbyt wymagającymi przedsiębiorstwami. Dlatego przedsiębiorstwo zlecające usługi logistyczne powinno pamiętać, że kontrahent to jednak firma zewnętrzna i nie uzależnić się od jednego operatora¹³.

Usługodawca logistyczny bierze aktywny udział w tworzeniu wartości dla klienta. Sektor usług logistycznych zmienia się i rozwija adekwatnie do zmieniających się uwarunkowań rynkowych. Decyzja o zakresie outsourcingu logistycznego jest w dużym stopniu zdeterminowana wysokością cen usług logistycznych, które z kolei decydują o kosztach logistycznych przedsiębiorstwa i cenach wytwarzanych lub/i sprzedawanych wyrobów. Wynikiem współpracy przedsiębiorstwa z operatorem logistycznym może być realizacja takich celów, jak: poprawa jakości obsługi klienta, skrócenie realizacji cyklu zamówienia, poprawa jakości i pewności dostaw, sprawniejszy przepływ oraz większa przejrzystość informacji, lepsze wykorzystanie aktywów. Outsourcing procesów logistycznych powiązany jest także z obszarami strategicznej działalności logistycznej przedsiębiorstwa. Firmy powierzają operatorom logistycznym kreowanie systemu logistycznego, modelowanie procesów logistycznych, tworzenie i realizację strategii logistycznej. Traktowanie usługodawcy logistycznego jako partnera strategicznego może mieć duże znaczenie w osiągnięciu i utrzymywaniu przewagi konkurencyjnej¹⁴.

¹¹ Janas, M., Outsourcing procesów logistycznych w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Wydawnictwo Petrus, 2020

¹² Ibidem

¹³ Ibidem

¹⁴ Jeszka A. M., Sektor usług logistycznych w praktyce i teorii, Wyd. Difin, Warszawa 2009

Ekonomiczne czynniki wspierające decyzje przedsiębiorstw w zakresie transportu

Do podejmowania trafnych decyzji operacyjnych czy rozwojowych w spółdzielniach mleczarskich niezbędna jest zatem dokładna czy wręcz perfekcyjna znajomość kosztów we wszystkich możliwych przekrojach. Coraz więcej zarządzających małymi przedsiębiorstwami, w tym również spółdzielczymi, uświadamia sobie, iż wysoki poziom poznania kosztów może zostać osiągnięty jedynie w oparciu o sprawnie zorganizowany system rachunku kosztów¹⁵.

Spółdzielnie mleczarskie powinny zwiększać swoją efektywność ekonomiczną nie tylko poprzez doskonalenie działalności operacyjnej (wzrost wydajności), ale również w zakresie strategicznym, poprzez poprawę atrakcyjności swoich portfeli asortymentowych i zwiększanie siły przetargowej względem nabywców, doskonaląc techniki analizy i przetwarzania informacji o ponoszonych kosztach¹⁶. Szczególnie małe spółdzielnie mleczarskie powinny dążyć do lepszego, bardziej wydajnego i efektywniejszego zarządzania. Powinny również formalizować swoje działania, jednocześnie stosując procedury umożliwiające wytwarzanie takich wyrobów, aby jakość obsługi każdego z nich oraz jakość oferowanych produktów pozostawały zawsze na jednolitym, wysokim poziomie. Spisanie procedur postępowania oraz zależności między poszczególnymi procesami mogą pomóc w dążeniu do osiągnięcia i poprawy efektywności działalności¹⁷.

Miarą dochodowości działalności gospodarczej jest rentowność, czyli osiągnięcie nadwyżki przychodów nad poniesionymi kosztami. Jest odzwierciedleniem efektywności funkcjonowania. Dochód przewyższający koszty jego uzyskania powinien być nie tylko rezultatem podejmowanych działań, lecz także ich głównym celem. Pojęcie rentowności jednostki gospodarczej określa proporcje między finansowymi nakładami a uzyskanymi efektami finansowymi. Ocena ta odgrywa bardzo ważną rolę, gdyż uzyskane wyniki finansowe umożliwiają potwierdzenie nie tylko trafności podjętych decyzji, ale również kierunku rozwoju przedsiębiorstwa w przyszłości¹⁸.

Istnieje kilka kluczowych wskaźników finansowych, które odgrywają istotną rolę w ocenie rentowności przedsiębiorstwa. Wśród nich można wyróżnić trzy podstawowe: Rentowność sprzedaży netto (ROS), Rentowność kapitałów własnych (ROE) oraz Rentowność aktywów (ROA).

Wskaźnik rentowności sprzedaży netto jest jednym z najczęściej stosowanych wskaźników. Oblicza się go jako stosunek zysku netto do sprzedaży netto. Zysk netto rozumiany tu jest jako różnicę pomiędzy przychodami ogółem a kosztami uzyskania tego przychodu. Sprzedaż netto jest natomiast przychodem za sprzedane wszelkie materiały, wyroby gotowe

¹⁵ Zych, A., Wykorzystanie informacji księgowych w controllingu. Controlling i Rachunkowość Zarządcza, nr 8(95), s. 12, 2007

¹⁶ Pietrzak, M., Efektywność finansowa spółdzielni mleczarskich – koncepcja oceny. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, s. 154, 2006

¹⁷ Wroński, P., Wybrane problemy implementacji nowych systemów rachunku kosztów w przedsiębiorstwach. Prace Naukowe AE Wrocław, Rachunkowość a controlling, nr 1085, Wrocław, s. 382-391, 2005

¹⁸ Grzebyk, M., Filip, P., Rachunek kosztów jako jeden z warunków działalności przedsiębiorstwa i oceny jego rentowności. [w:] Uwarunkowania rozwoju przedsiębiorczości – szanse i zagrożenia, Wydawnictwo Państwowej Szkoły Zawodowej w Tarnobrzegu, Tarnobrzeg, 2003

czy też usługi pomniejszone o podatek VAT. Poprzez wskaźnik rentowności sprzedaży netto dowiadujemy się, jaki procent zysku netto przynosi dana wartość sprzedaży. Wyższa wartość tego wskaźnika oznacza lepszy poziom zarządzania przedsiębiorstwem w zakresie poziomu ryzyka oraz ceny jednostkowej sprzedaży¹⁹.

Drugim wyróżnionym wskaźnikiem jest rentowność kapitałów własnych. Jest to wskaźnik bardzo istotny z punktu widzenia potencjalnego inwestora. Obliczany jest jako stosunek zysku netto do stanu kapitału własnego przedsiębiorstwa. Określa on, jaka jest rentowność kapitału własnego, czyli wyznacza stopę zwrotu. Im wyższa jest wartość wskaźnika, tym oznacza to lepszą zdolność w generowaniu zysku. Nie zaleca się jednak, aby został wykorzystany do porównywania przedsiębiorstw o różnych dźwigniach finansowych²⁰.

Ostatnim podstawowym wskaźnikiem jest rentowność aktywów. Informuje o tym, jaka jest efektywność w gospodarowaniu aktywami. Opisuje się go jako stosunek zysku netto do aktywów ogółem. Wskaźnik ten pokazuje więc wielkość zysku, która przypada na wartość zaangażowania majątku przedsiębiorstwa. Im wyższą wartość przyjmuje wskaźnik, tym lepsza jest kondycja finansowa danego podmiotu. Stanowi to więc ważną informację z punktu widzenia instytucji finansowych²¹.

Metodyka pracy

Główną metodą zastosowaną w prezentowanych badaniach jest studium przypadku. Zarówno badania, jak i niniejszy tekst jest dedykowany jednemu przedsiębiorstwu. Metoda studium przypadku, według Yina²², jest przydatna w badaniach jakościowych, pozwalając na głębokie zrozumienie zjawisk w ich rzeczywistych kontekstach, co jest kluczowe, gdy granice między zjawiskiem a kontekstem nie są wyraźnie określone²³. Wyniki badań przeprowadzonych przy użyciu tej metody mogą być wartościowe, oferując holistyczne spojrzenie na badane organizacje przez zbieranie różnorodnych źródeł dowodów, co wzmacnia wiarygodność oraz ogólność wniosków²⁴. Hartley w swoim przeglądzie akcentuje, że studia przypadków umożliwiają nie tylko testowanie teorii, ale także ich rozwój, co jest szczególnie istotne w kontekście szybko zmieniających się środowisk organizacyjnych²⁵.

W ramach studium przypadku w OSM w Rawiczu posłużono się narzędziami z obszaru rachunku kosztów, takimi jak rachunek kosztów postulowanych oraz porównawczy rachunek kosztów.

¹⁹ Majewska, M., Pacuła, W., Wskaźniki rentowności i ich analiza na przykładzie sektora bankowego. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 2016

²⁰ Ibidem

²¹ Misztal, A., Analiza czynników zewnętrznych determinujących rentowność przedsiębiorstw. Zeszyty Naukowe Ostrołęckiego Towarzystwa Naukowego, Ostrołęka, 2015

²² Yin, R. K., Case study research and applications (Vol. 6). Thousand Oaks, CA: Sage, 2018

²³ Macaulay, C. D., Power asymmetries in inter-organizational relationships: a case study using institutionalism. *Sport, Business and Management: An International Journal*, 15(2), 140-160. 2, 2025

²⁴ Pokharel, K. R., Paudel, S., & Marasini, A., Revisiting the case study method in social research: a reflective and argumentative review for novice researchers. *Educational Journal*, 3(1), 1-14, 2024

²⁵ Hartley, J., What is a case study. *Essential guide to qualitative methods in organizational research*, 323, 2004

Rachunek porównawczy kosztów jest częścią rachunku zysków i strat. Jest to dynamiczne zestawienie kosztów za dany okres sprawozdawczy liczący jeden rok, zawierający sumę kosztów za cały ten okres. W ostatecznym efekcie rachunek porównawczy kosztów służy do decydowania w kwestiach inwestycyjnych i pomaga w wybraniu optymalnej opcji wśród wielu wariantów realnych, charakteryzujących się identycznymi korzyściami lecz odmiennymi kosztami. Pogłębioną analizą struktury kosztów jest analiza porównawcza, której podlegają koszty jednostek należących do pewnego ich zbioru, np. jednostek organizacyjnych przedsiębiorstwa, wybranych przedsiębiorstw branży, produktów, klientów, regionów działalności itp. Porównawcza analiza struktury kosztów może dotyczyć także kolejnych okresów z pewnego przedziału czasowego²⁶.

Rachunek kosztów postulowanych jest pewną odmianą rachunku kosztów o charakterze apriorycznym, w którym wykorzystuje się kategorię kosztów postulowanych²⁷. Koszty postulowane określają wzorcową, niezbędną do poniesienia wysokość kosztów do zrealizowania danego zakresu działalności. Zakłada się przy tym racjonalne wykorzystanie zasobów przedsiębiorstwa w danych warunkach prowadzenia działalności. Koszty postulowane charakteryzują się planowością, dyrektywnością i stymulatywnością, traktowane są jako wielkości indywidualnie i stanowią niezbędne jednostki odniesienia kosztów²⁸. Rachunek kosztów postulowanych jest często jedynym narzędziem wykorzystywanym przez menedżerów przedsiębiorstwa w kontroli kosztów. Poprawnie ustalone i zastosowane koszty postulowane mogą stanowić punkt odniesienia do oceny kosztów działalności przedsiębiorstwa²⁹.

Transport wyrobów gotowych w Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Rawiczu

Badania dotyczą Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Rawiczu z ponad 130 letnią tradycją. Specjalnością firmy jest wytwarzanie produktów mleczarskich opartych na tradycyjnych, staropolskich recepturach. Produkty cieszą się największą popularnością na Dolnym Śląsku i w Wielkopolsce, a także znajdują odbiorców na Śląsku oraz Mazowszu.

W ciągu ostatnich piętnastu lat mleczarnia przeprowadziła kompleksową modernizację zakładu, wykorzystując dotacje unijne. Dzięki temu dostosowano infrastrukturę do standardów wymaganych przez Unię Europejską.

Oferta mleczarni obejmuje głównie świeże produkty, takie jak mleko, jogurty, napoje mleczne, śmietana, twarogi, twarożki, ser smażony i masło. Przedsiębiorstwo współpracuje z sieciami supermarketów oraz hipermarketów, wskazuje to na najwyższe standardy jakości oraz świadczy o postępującym rozwoju.

W tabeli 2 przedstawiono ewidencję kosztów transportu w OSM Rawicz w latach 2022-2023.

²⁶ Nowak, E., Analiza zależności między poziomem a strukturą kosztów przedsiębiorstwa. Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2018

²⁷ Jarugowa, A., Malc, W., Sawicki, K., Rachunek kosztów. PWE, Warszawa, 1983

²⁸ Nowak, E., Wierziński, M., Rachunek kosztów. Modele i zastosowania. PWE, Warszawa, 2010

²⁹ Doyle, D.P., Kontrola kosztów. Element zarządzania strategicznego. Oficyna Ekonomiczna, Kraków, 2006

Tabela 2. Ewidencja kosztów transportu w OSM Rawicz

Rok	Koszty wynagrodzeń kierowców (PLN)	Koszty paliwa (PLN)	Koszty serwisu i napraw (PLN)	Koszty leasingu i amortyzacji (PLN)	Koszty ubezpieczenia (PLN)	Koszty podatków i opłat (PLN)	Całkowite koszty własnego transportu (PLN)
2022	90 735	750 000	320 000	400 000	50 000	60 000	1 924 581
2023	91 637	720 000	290 000	380 000	48 000	57 000	1 659 719

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa OSM Rawicz

Przeprowadzona analiza kosztów bieżących transportu w Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Rawiczu dostarczyła istotnych informacji na temat efektywności ekonomicznej tego procesu w latach 2022–2023. Dokonane obliczenia wskaźników finansowych pozwalają na ocenę struktury kosztów oraz identyfikację kluczowych obszarów wymagających optymalizacji.

Wskaźnik kosztów do przychodów (Wk) wykazał spadek z poziomu 19,44% w 2022 roku do 16,42% w 2023 roku, co oznacza, że udział kosztów transportowych w przychodach przedsiębiorstwa zmniejszył się. Taki wynik wskazuje na poprawę efektywności kosztowej transportu, co może wynikać z lepszego zarządzania flotą oraz skuteczniejszej optymalizacji kosztów operacyjnych.

Analiza rentowności operacyjnej (Wr) ujawniła wzrost z 3,21% w 2022 roku do 3,33% w 2023 roku, co świadczy o poprawie wyniku finansowego działalności operacyjnej, pomimo presji kosztowej. Wskaźnik rentowności netto (Rn) również wykazał wzrost, osiągając w 2023 roku wartość 2,00%, co potwierdza skuteczniejsze zarządzanie kosztami transportowymi i ich pozytywny wpływ na ogólną rentowność spółdzielni.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że punkt rentowności (BEP), czyli poziom, przy którym przychody równoważą koszty, wzrósł w 2023 roku do 4000 jednostek, co wskazuje na konieczność większej skali sprzedaży w celu pokrycia wyższych kosztów stałych. Pomimo tego wzrostu, obniżenie jednostkowych kosztów transportu (Ku) z 56,72 PLN/jednostkę w 2022 roku do 49,25 PLN/jednostkę w 2023 roku sugeruje, że działalność transportowa stała się bardziej wydajna.

Dodatkowo analiza kosztów na kilometr (Kkm) wykazała znaczące obniżenie z 11,34 PLN/km w 2022 roku do 9,85 PLN/km w 2023 roku, co dowodzi zwiększonej efektywności operacyjnej floty transportowej oraz optymalizacji tras przewozowych.

Podsumowując, przeprowadzona analiza kosztów bieżących wskazuje na poprawę efektywności transportu spółdzielni mleczarskiej, głównie poprzez redukcję kosztów jednostkowych oraz wzrost rentowności. Wyniki analizy sugerują jednak konieczność dalszych działań optymalizacyjnych, takich jak modernizacja floty, lepsze planowanie tras oraz możliwość rozważenia outsourcingu usług transportowych w celu dalszej redukcji kosztów operacyjnych.

Rachunek kosztów postulowanych

Rachunek kosztów postulowanych stanowi istotne narzędzie analizy finansowej, umożliwiające porównanie rzeczywistych kosztów ponoszonych przez przedsiębiorstwo z kosztami, które powinny zostać poniesione przy założeniu optymalnych warunków eksploatacyjnych. Celem tej analizy jest identyfikacja odchyleń pomiędzy kosztami rzeczywistymi a teoretycznie określonymi kosztami referencyjnymi, co pozwala na ocenę efektywności zarządzania procesem transportowym oraz wskazanie obszarów wymagających optymalizacji.

W niniejszym podrozdziale dokonano analizy kosztów transportu w Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Rawiczu w latach 2022-2023 (tabela 3). Szczególną uwagę poświęcono kluczowym kategoriom kosztowym, takim jak paliwo, serwis pojazdów, ubezpieczenie floty oraz amortyzacja środków transportu. Porównanie wartości rzeczywistych z postulowanymi pozwoliło na określenie stopnia efektywności ekonomicznej oraz wskazanie potencjalnych obszarów redukcji kosztów.

Analiza ta stanowi podstawę do sformułowania wniosków dotyczących dalszej optymalizacji procesu transportowego oraz podejmowania decyzji związanych z wyborem pomiędzy utrzymaniem własnej floty a outsourcingiem usług transportowych.

Tabela 3. Porównanie kosztów rzeczywistych i postulowanych dla transportu OSM Rawicz w latach 2022-2023

Kategoria kosztu	Koszty rzeczywiste 2023 (PLN)	Koszty postulowane 2023 (PLN)	Odchylenie 2023 (%)	Koszty rzeczywiste 2022 (PLN)	Koszty postulowane 2022 (PLN)	Odchylenie 2022 (%)
Paliwo (Diesel)	1 200 000	1 050 000	14,29%	1 150 000	1 000 000	15,00%
Serwis pojazdów	450 000	400 000	12,50%	430 000	380 000	13,16%
Opony	150 000	130 000	15,38%	140 000	125 000	12,00%
Ubezpieczenie	200 000	180 000	11,11%	190 000	170 000	11,76%
Amortyzacja floty	400 000	350 000	14,29%	380 000	330 000	15,15%
Inne koszty eksploatacyjne	250 000	220 000	13,64%	240 000	210 000	14,29%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa OSM Rawicz

Analiza rachunku kosztów postulowanych dla procesu transportowego w Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Rawiczu pozwoliła na identyfikację istotnych różnic pomiędzy rzeczywistymi kosztami transportu a wartościami postulowanymi. Wyniki wskazują na znaczące odchylenia w poszczególnych kategoriach kosztowych, co podkreśla konieczność wdrożenia działań optymalizacyjnych w celu poprawy efektywności ekonomicznej transportu.

Największe różnice odnotowano w kategorii kosztów paliwa, które w analizowanym okresie były wyższe od zakładanych wartości o 15% w roku 2022 oraz 14,3% w roku 2023. Może to świadczyć o konieczności dokładniejszej analizy zużycia paliwa, optymalizacji tras przewozowych oraz wdrożenia narzędzi monitorujących efektywność pracy kierowców.

W kategorii kosztów serwisowych rzeczywiste wartości przewyższały koszty postulowane o 13,16% w 2022 roku i 12,5% w 2023 roku. Sugeruje to zwiększoną częstotliwość napraw i konserwacji floty, co może wynikać z intensywnej eksploatacji pojazdów lub niedostatecznej prewencji technicznej. W związku z tym zaleca się wdrożenie bardziej szczegółowego harmonogramu przeglądów technicznych oraz rozważenie outsourcingu usług serwisowych w celu ograniczenia kosztów.

Podobne odchylenia zaobserwowano w przypadku kosztów ubezpieczenia floty, które były wyższe o 11,76% w 2022 roku i 11,1% w 2023 roku. Może to wynikać z rosnących stawek ubezpieczeniowych lub zwiększonego ryzyka operacyjnego. W związku z tym zasadne byłoby przeprowadzenie renegotiacji umów ubezpieczeniowych oraz wdrożenie działań zmniejszających ryzyko eksploatacyjne, takich jak dodatkowe szkolenia kierowców z zakresu bezpiecznej jazdy.

Analiza kosztów amortyzacji wskazuje na odchylenie rzeczywistych kosztów od postulowanych na poziomie 15,15% w 2022 roku i 14,3% w 2023 roku. Sugeruje to konieczność weryfikacji polityki amortyzacyjnej przedsiębiorstwa oraz rozważenie alternatywnych modeli finansowania floty, takich jak leasing operacyjny.

Dodatkowo, w kategorii innych kosztów eksploatacyjnych odnotowano różnice na poziomie 14,29% w 2022 roku i 13,64% w 2023 roku, co może wskazywać na nieprzewidziane wydatki operacyjne związane z utrzymaniem floty. W celu ich ograniczenia rekomenduje się wdrożenie systemu monitorowania kosztów operacyjnych oraz dokładniejszą kontrolę wydatków.

Podsumowując, przeprowadzona analiza rachunku kosztów postulowanych wykazała, że rzeczywiste koszty transportu znacząco przewyższają wartości postulowane, co sugeruje potrzebę optymalizacji procesu transportowego.

Rachunek porównawczy kosztów

Celem niniejszego podrozdziału jest przeprowadzenie porównania kosztów transportu w dwóch wariantach: własna flota oraz outsourcing usług transportowych. Analiza opiera się na danych finansowych przedsiębiorstwa z lat 2022-2023 oraz ofertach firm transportowych, takich jak Raben i Nagel. W ramach analizy porównawczej uwzględniono kluczowe kategorie kosztów, takie jak wartość środków transportu, wynagrodzenia kierowców oraz koszty eksploatacyjne.

Charakterystyka firm zewnętrznych świadczących usługi transportowe

W ramach analizy porównawczej kosztów transportu wyrobów gotowych, rozważono możliwość współpracy z firmami specjalizującymi się w outsourcingu usług logistycznych. Do analizy przedsiębiorstwo wybrało Nagel-Group oraz Raben Group, które są uznanymi operatorami logistycznymi działającymi na terenie Europy.

Nagel-Group to jedna z wiodących firm logistycznych w Europie, specjalizująca się w transporcie i magazynowaniu produktów spożywczych, w tym towarów wymagających

kontrolowanej temperatury. Przedsiębiorstwo działa w 30 krajach i posiada około 130 centrów logistycznych, co pozwala na efektywne zarządzanie dostawami na skalę międzynarodową. Zakres usług obejmuje transport całopojazdowy (FTL), częściowy (LTL), dystrybucję krajową oraz logistykę kontraktową. Dzięki nowoczesnym rozwiązaniom i szerokiej sieci operacyjnej, Nagel-Group umożliwia optymalizację kosztów transportu poprzez wykorzystanie efektu skali i dostosowanie tras transportowych do aktualnych potrzeb klientów.³⁰

Raben Group to międzynarodowy operator logistyczny, którego historia sięga ponad 90 lat. Firma świadczy kompleksowe usługi w zakresie transportu drogowego, magazynowania, logistyki kontraktowej oraz frachtu morskiego i lotniczego. Obecnie działa w 15 krajach europejskich, obsługując klientów poprzez ponad 160 oddziałów i zatrudniając około 12 000 pracowników. W ciągu roku firma przetwarza około 17,5 miliona przesyłek, co świadczy o jej dużym doświadczeniu i zdolności do zarządzania łańcuchem dostaw na szeroką skalę. Dzięki nowoczesnym rozwiązaniom technologicznym, Raben Group oferuje elastyczność w zarządzaniu dostawami oraz optymalizację kosztów transportu³¹.

Tabela 4. Zestawienie kosztów transportu własnego i outsourcingu w OSM Rawicz

Kategoria kosztu	Własny transport 2023 (PLN)	Własny transport 2022 (PLN)	Outsourcing Raben (PLN)	Outsourcing Nagel (PLN)
Środki transportu	688371	752981	700000	680000
Koszty wynagrodzeń kierowców	91637	90735	0	0
Koszty utrzymania floty	1659719	1924581	1600000	1580000

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa OSM Rawicz

Analiza wykazała, że outsourcing transportu od firmy Nagel jest najbardziej korzystnym rozwiązaniem pod względem finansowym. Całkowity koszt outsourcingu jest niższy o około 7,3% w porównaniu do kosztów utrzymania własnej floty w 2023 roku. Pozwala to na znaczne obniżenie obciążeń finansowych związanych z transportem.

Decyzja o outsourcingu eliminuje całkowicie koszty wynagrodzeń kierowców, które w przypadku własnej floty stanowiły istotny element kosztów operacyjnych. Przekazanie usług transportowych firmie zewnętrznej umożliwia redukcję wydatków na składki ubezpieczeniowe, szkolenia oraz premie dla pracowników.

Koszty eksploatacyjne floty własnej, obejmujące paliwo, serwis oraz ubezpieczenie, były znacznie wyższe niż w przypadku outsourcingu. Firmy transportowe, takie jak Raben i Nagel, oferują bardziej konkurencyjne stawki, które obejmują wszystkie kluczowe elementy związane z eksploatacją pojazdów, co przyczynia się do lepszego zarządzania kosztami operacyjnymi.

³⁰ <https://www.nagel-group.com/en/> data dostępu 02.2024

³¹ <https://polska.raben-group.com/> data dostępu 02.2024

Podsumowanie

Transport w przemyśle mleczarskim odgrywa kluczową rolę, ponieważ wpływa na ciągłość dostaw surowców, terminowość realizacji zamówień oraz jakość finalnych produktów. Przeprowadzone badania umożliwiły określenie efektywnych rozwiązań logistycznych i finansowych, które mogłyby poprawić efektywność działania spółdzielni mleczarskiej w zakresie transportu wyrobów gotowych oraz zwiększyć jej konkurencyjność na rynku.

Wyniki badań wykazały, że koszty transportu stanowią istotną część całkowitych kosztów operacyjnych spółdzielni mleczarskiej. Zidentyfikowano, że ich poziom w dużej mierze zależy od czynników zewnętrznych, takich jak ceny paliwa, koszty eksploatacyjne oraz zmieniające się regulacje prawne dotyczące transportu produktów spożywczych. Przeprowadzona analiza pozwoliła na wskazanie kilku strategii optymalizacyjnych, które mogą przyczynić się do redukcji kosztów i poprawy efektywności transportu.

Ważnym aspektem jest analiza korzyści i zagrożeń związanych z outsourcingiem transportu. Z jednej strony, korzystanie z usług firm transportowych może pozwolić przedsiębiorstwu na redukcję kosztów stałych i większą elastyczność operacyjną, ale z drugiej strony, niesie ryzyko utraty kontroli nad terminowością i jakością dostaw. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że optymalnym rozwiązaniem dla spółdzielni mleczarskiej mogłoby być zastosowanie modelu hybrydowego, łączącego transport własny z outsourcingiem w sytuacjach zwiększonego zapotrzebowania na usługi transportowe.

Podsumowując, przeprowadzona analiza pozwoliła na lepsze zrozumienie struktury kosztów transportowych w Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Rawiczu. Wnioski płynące z prezentowanych analiz mogą stanowić zarówno bazę dla optymalizacji w badanym przedsiębiorstwie, jak również podstawę do dalszych badań nad efektywnością transportu w sektorze mleczarskim.

Bibliografia

- Baran, J., Metody uzupełniania zapasów w spółdzielni mleczarskiej – stadium przypadku. *Roczniki Naukowe SERiA*, t. XI, z. 1, s. 18, 2009
- Doyle, D.P., Kontrola kosztów. *Element zarządzania strategicznego*. Oficyna Ekonomiczna, Kraków, 2006
- Grabowska, J., Outsourcing usług logistycznych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie*, z. 60, 2012
- Janas, M., Outsourcing procesów logistycznych w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Wydawnictwo Petrus, 2020
- Jarugowa, A., Małc, W., Sawicki, K., *Rachunek kosztów*. PWE, Warszawa, 1983
- Jeszka A. M., Sektor usług logistycznych w praktyce i teorii, Wyd. Difin, Warszawa 2009
- Kłós A., Konsumpcja a perspektywy zrównoważonego rozwoju. Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku. 2008
- Kochańska-Mierzejewska, B., Korzyści z outsourcingu. *Gazeta MSP*, nr 1(58), s. 18-19, 2007
- Kisperska-Moroń, D., Krzyżaniak, S. (red.), *Logistyka*. Biblioteka Logistyka, Poznań, s. 156-157, 2009
- Łacny, J., Funkcjonowanie międzynarodowego transportu drogowego ładunków w gospodarce globalnej. *ITE-PIB, Bydgoszcz-Radom*, s. 20-21, 2009
- Majewska, M., Pacuła, W., *Wskaźniki rentowności i ich analiza na przykładzie sektora bankowego*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 2016

- Mendyk, E., *Ekonomika transportu*. Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań, s. 11-14, 2009
- Misztal, A., *Analiza czynników zewnętrznych determinujących rentowność przedsiębiorstw*. Zeszyty Naukowe Ostrołęckiego Towarzystwa Naukowego, Ostrołęka, 2015
- Nowak, E., *Analiza zależności między poziomem a strukturą kosztów przedsiębiorstwa*. Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2018
- Nowak, E., Wierbiński, M., *Rachunek kosztów. Modele i zastosowania*. PWE, Warszawa, 2010
- Pietrzak, M., *Efektywność finansowa spółdzielni mleczarskich – koncepcja oceny*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, s. 154, 2006
- Wasilewski, A., *Znaczenie centrów dystrybucyjnych i logistycznych na rynku mleczarskim*. Technologie Spożywcze, 2020
- Witkowski, J., *Uwarunkowania i perspektywy rozwoju outsourcingu logistycznego w Europie*. [w:] *Logistyka międzynarodowa w gospodarce światowej*, Wydawnictwo AE Poznań, s. 79, 2008
- Wróński, P., *Wybrane problemy implementacji nowych systemów rachunku kosztów w przedsiębiorstwach*. Prace Naukowe AE Wrocław, *Rachunkowość a controlling*, nr 1085, Wrocław, s. 382-391, 2005
- Zych, A., *Wykorzystanie informacji księgowych w controllingu*. *Controlling i Rachunkowość Zarządzania*, nr 8(95), 2007
- <https://www.nagel-group.com/en/> data dostępu 02.2024
- <https://polska.raben-group.com/> data dostępu 02.2024

Adres do korespondencji: aleksandra.lis@urk.edu.pl

ORCID: Aleksandra Lis 0000-0001-7787-8514

E-EDUKACJA LOGISTYCZNA. WYZWANIA I MOŻLIWOŚCI KSZTAŁCENIA NA ODLEGŁOŚĆ W LOGISTYCE

Dariusz Masłowski¹, Małgorzata Dendera-Gruszka¹, Julia Giera¹

¹ Katedra logistyki, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Politechnika Opolska

Wstęp

Współczesna logistyka, będąca kluczowym ogniwem globalnych systemów gospodarczych, podlega intensywnym przemianom wywołanym postępem technologicznym, internacjonalizacją łańcuchów dostaw oraz rosnącym zapotrzebowaniem na elastyczne i inteligentne systemy zarządzania przepływem towarów, informacji i usług. W obliczu tak dynamicznych zmian rośnie również znaczenie nowoczesnych form kształcenia - dostosowanych do realiów cyfrowej gospodarki oraz oczekiwań nowego pokolenia pracowników sektora TSL (Transport-Spedycja-Logistyka).

Pandemia COVID-19 w sposób nagły i brutalny unaoczniała nieprzygotowanie wielu instytucji edukacyjnych do przejścia na model zdalny. W obszarze logistyki, gdzie tradycyjnie dominowały metody nauczania oparte na praktyce, laboratoriach, projektach zespołowych oraz interakcji z realnymi systemami informatycznymi, potrzeba zmiany była szczególnie paląca. Jednak z drugiej strony, kryzys ten stworzył impuls do szybkiego wdrożenia i testowania narzędzi e-learningowych, które wcześniej były traktowane raczej jako uzupełnienie tradycyjnych metod, niż ich alternatywa.

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę kompleksowego omówienia tematu e-edukacji logistycznej - z uwzględnieniem definicji, modeli, możliwości dydaktycznych oraz barier i wyzwań, jakie towarzyszą jej implementacji. Zwrócono szczególną uwagę na praktyczne aspekty prowadzenia kształcenia zdalnego w logistyce, takie jak wykorzystanie systemów ERP (np. SAP), narzędzi do analizy danych (np. Tableau, Power BI), czy symulatorów procesów magazynowych i transportowych (np. AnyLogic, FlexSim).

Celem opracowania jest także wskazanie trendów przyszłości - w tym roli sztucznej inteligencji, mikropoświadczeń, środowisk immersyjnych VR/AR oraz globalnych platform e-learningowych typu MOOC - w kształtowaniu innowacyjnego, elastycznego i efektywnego modelu kształcenia dla branży logistycznej. Perspektywa ta jest szczególnie istotna w kontekście tzw. czwartej rewolucji przemysłowej (Industry 4.0), która redefiniuje rolę logistyki jako dyscypliny interdyscyplinarnej, wymagającej zarówno twardych kompetencji technicznych, jak i miękkich zdolności analitycznych, komunikacyjnych i adaptacyjnych.

[illegible]

1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 26

² Christopher, M. Logistics & Supply Chain Management (5th ed.). Pearson Education, 2016

1. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1039-1043.

Modele e-edukacji stosowane w logistyce (Tabela 1)

a) Model samodzielnego e-learningu

Jest to najprostszy model, w którym student otrzymuje dostęp do materiałów dydaktycznych (PDF, wideo, quizy) i uczy się w swoim tempie. Model ten sprawdza się w nauczaniu podstaw teoretycznych, np. zasad Incoterms, formułowania strategii SCM czy interpretacji wskaźników KPI³. Jednak jego zastosowanie w praktycznym nauczaniu logistyki jest ograniczone.

b) Model synchroniczny (zdalne wykłady i warsztaty)

Polega na prowadzeniu zajęć w czasie rzeczywistym za pomocą platform takich jak MS Teams, Zoom czy BigBlueButton. W modelu tym możliwa jest interakcja, współpraca w grupach oraz prowadzenie ćwiczeń case study w czasie rzeczywistym. Jest on preferowany w nauczaniu analizy danych logistycznych oraz podejmowania decyzji w zespole⁴.

c) Model hybrydowy (blended learning)

Blended learning łączy elementy tradycyjnego nauczania z komponentami e-learningowymi. W logistyce ten model pozwala na łączenie np. symulacji komputerowych realizowanych online z fizycznymi warsztatami w magazynach dydaktycznych. Jest uznawany za najbardziej efektywny w kształceniu kompetencji technicznych i organizacyjnych⁵.

d) Model symulacyjno-laboratoryjny

Zaawansowany model wykorzystujący wirtualne środowiska (VR/AR), laboratoria zdalne oraz symulacje komputerowe (np. AnyLogic, FlexSim, Simio). Pozwala na realistyczne odwzorowanie procesów logistycznych bez konieczności fizycznej obecności w hali magazynowej czy na linii produkcyjnej⁶. Model ten zyskuje na znaczeniu w edukacji inżynierskiej i zawodowej.

Tabela 1. Porównanie różnych modeli e-edukacji stosowanych w logistyce

Model e-learningu	Samodzielny e-learning	Model synchroniczny	Model hybrydowy (blended learning)	Model symulacyjno-laboratoryjny
Charakterystyka	Uczeń pracuje we własnym tempie z materiałami (PDF, wideo, quizy); brak interakcji na żywo.	Zajęcia prowadzone w czasie rzeczywistym (Zoom, Teams); interakcja, współpraca grupowa.	Łączy nauczanie online z elementami stacjonarnymi (np. warsztaty w magazynach).	Wykorzystuje VR/AR, zdalne laboratoria, symulacje komputerowe; imituje realne procesy logistyczne.

³ Cegielski, C. G., Hazen, B. T., & Rainer, R. K., Teach IT: The importance of information technology competency in supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 33(2), 165-178, 2012

⁴ Sarnat-Ciastko, A., Kształcenie zdalne jako wyzwanie dydaktyczne i społeczne w dobie pandemii. *Zeszyty Naukowe UPH*, 44(1), 89-100, 2020

⁵ Allen, I. E., & Seaman, J., Changing course: Ten years of tracking online education in the United States. Sloan Consortium, 2013

⁶ Pereira, C. R., Silva, A. L., & Sellitto, M. A., A literature review on MOOCs in logistics and supply chain management. *Education for Information*, 36(2), 175-193, 2020

Model e-learningu	Samodzielny e-learning	Model synchroniczny	Model hybrydowy (blended learning)	Model symulacyjno-laboratoryjny
Zastosowanie w logistyce	Teoria: Incoterms, KPI, strategie SCM.	Analiza danych, decyzje zespołowe, case studies.	Kompetencje techniczne i organizacyjne.	Edukacja inżynierska, odtwarzanie procesów wirtualnych.
Zalety	Elastyczność, dostępność 24/7, niskie koszty.	Interaktywność, bezpośredni kontakt z wykładowcą.	Najlepszy balans teorii i praktyki.	Wysoki realizm, nauka przez doświadczenie (experiential learning).
Ograniczenia	Brak praktyki, ryzyko niskiego zaangażowania.	Wymaga obecności w określonym czasie, problemy techniczne.	Wysokie koszty organizacyjne, wymaga logistyki fizycznej.	Wysoki koszt wdrożenia, konieczność specjalistycznego sprzętu.

Zakres merytoryczny e-edukacji logistycznej

Zakres tematyczny e-edukacji logistycznej jest bardzo szeroki i obejmuje m.in. obszary:

- Zarządzanie łańcuchem dostaw (Supply Chain Management) - strategie SCM, zarządzanie zapasami, Lean, Just-in-Time.
- Systemy ERP i SCM - obsługa modułów SAP, Oracle NetSuite, Microsoft Dynamics.
- Transport i spedycja - planowanie tras, optymalizacja kosztów, dokumentacja przewozowa.
- Logistyka magazynowa - zasady rozmieszczania towarów, metody kompletacji, ABC/XYZ.
- Analiza danych logistycznych - Power BI, Tableau, Python w analizie KPI i efektywności.
- Logistyka miejska i zrównoważona - elektromobilność, zarządzanie dostawami ostatniej mili.

W wielu programach edukacyjnych logistyka w formie e-learningu obejmuje także symulacje procesów, projekty zespołowe oraz gry decyzyjne (serious games), które uczą zarządzania ryzykiem, negocjacji oraz współpracy interdyscyplinarnej⁷.

E-edukacja logistyczna to wielowymiarowe podejście do kształcenia specjalistów branży TSL, które uwzględnia specyfikę procesów operacyjnych oraz potrzeby rozwoju kompetencji cyfrowych. Różnorodne modele e-edukacyjne - od klasycznego e-learningu, przez synchroniczne wykłady, aż po symulacje VR - pozwalają dostosować formę nauczania do treści programowych i grupy docelowej. Największym wyzwaniem pozostaje efektywne odwzorowanie praktycznego wymiaru logistyki w środowisku cyfrowym, co wymaga nie tylko inwestycji w narzędzia technologiczne, ale również zmiany podejścia dydaktycznego i systemowego wsparcia edukatorów.

⁷ Kawa, A., Maryniak, A., Wirtualna rzeczywistość w kształceniu logistycznym. Logistyka, 4, 34-41, 2019

Zalety e-edukacji logistycznej

Rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych przyczynił się do istotnych przemian w systemach kształcenia, a jednym z obszarów szczególnie podatnych na transformację cyfrową jest edukacja w dziedzinie logistyki. E-edukacja logistyczna niesie ze sobą liczne korzyści, zarówno dla uczelni i instytucji szkoleniowych, jak i dla samych uczestników procesu dydaktycznego.

Dostępność

Jedną z kluczowych zalet e-edukacji jest zniesienie barier geograficznych i umożliwienie dostępu do treści edukacyjnych z dowolnego miejsca na świecie. Taka forma nauczania jest szczególnie istotna w kontekście logistyki - dyscypliny o silnym wymiarze globalnym - gdzie coraz częściej wymaga się kompetencji międzykulturowych oraz znajomości międzynarodowych standardów zarządzania łańcuchem dostaw⁸. Dzięki nauczaniu online, studenci z regionów peryferyjnych mogą uczestniczyć w kursach prowadzonych przez renomowane uczelnie logistyczne oraz brać udział w projektach międzynarodowych bez konieczności fizycznej mobilności⁹.

Elastyczność

E-edukacja w logistyce umożliwia dostosowanie tempa nauki do indywidualnych preferencji, co zwiększa efektywność przyswajania materiału. W odróżnieniu od sztywnych harmonogramów zajęć stacjonarnych, kursy online pozwalają na naukę w dogodnym czasie, co jest szczególnie istotne dla osób pracujących zawodowo w branży TSL lub posiadających inne zobowiązania czasowe¹⁰. Taka elastyczność sprzyja również uczeniu się w modelu „just-in-time”, co jest zbieżne z dynamiczną naturą współczesnych systemów logistycznych.

Integracja z systemami informatycznymi

Kolejnym atutem e-edukacji logistycznej jest możliwość bezpośredniego wykorzystania narzędzi informatycznych stosowanych w praktyce zawodowej. Studenci mogą uzyskać dostęp do środowisk testowych systemów ERP (Enterprise Resource Planning) czy SCM (Supply Chain Management), takich jak SAP, Oracle, czy Microsoft Dynamics, co sprzyja zdobywaniu praktycznych kompetencji technicznych bez konieczności fizycznej obecności w laboratorium¹¹. Taka integracja pozwala na realistyczne odwzorowanie procesów biznesowych i zarządzania informacją w logistyce cyfrowej, stanowiąc istotny komponent tzw. nauczania eksperymentalnego (experiential learning)¹².

⁸ Pereira, C. R., Silva, A. L., & Sellitto, M. A., A literature review on MOOCs in logistics and supply chain management. *Education for Information*, 36(2), 175-193, 2020

⁹ Allen, I. E., & Seaman, J., *Changing course: Ten years of tracking online education in the United States*. Sloan Consortium, 2013

¹⁰ Garrison, D. R., *E-learning in the 21st century: A framework for research and practice*. Routledge, 2012

¹¹ Cegielski, C. G., Hazen, B. T., & Rainer, R. K., Teach IT: The importance of information technology competency in supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 33(2), 165-178, 2012

¹² Kolb, D. A., *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall, 1984

Redukcja kosztów

Zdalne formy nauczania generują także wymierne oszczędności finansowe. Brak konieczności codziennych dojazdów, wynajmu zakwaterowania, a także ograniczenie zużycia materiałów drukowanych prowadzi do obniżenia całkowitego kosztu uczestnictwa w kursach¹³. Jest to istotne zarówno z punktu widzenia studentów, jak i instytucji edukacyjnych, które mogą optymalizować koszty organizacyjne i zwiększać skalowalność oferty dydaktycznej.

E-edukacja logistyczna, jako odpowiedź na wyzwania współczesnego świata, oferuje szereg korzyści związanych z dostępnością, elastycznością, technologiczną innowacyjnością oraz efektywnością kosztową. Możliwość nauki niezależnie od miejsca i czasu, integracja z rzeczywistymi systemami zarządzania łańcuchem dostaw oraz dostosowanie procesu dydaktycznego do indywidualnych potrzeb czynią z e-edukacji atrakcyjne i przyszłościowe narzędzie rozwoju kompetencji logistycznych. Optymalne wykorzystanie tych zalet wymaga jednak odpowiednio zaprojektowanej infrastruktury, wsparcia kadry dydaktycznej i dostępu do aktualnych zasobów technologicznych.

Wyzwania i ograniczenia

Pomimo licznych korzyści wynikających z wdrażania e-edukacji logistycznej, istnieje szereg istotnych barier i ograniczeń, które należy uwzględnić przy planowaniu i wdrażaniu zdalnych form kształcenia. Wynikają one zarówno ze specyfiki dydaktyki logistyki, jak i uwarunkowań społecznych, technologicznych oraz psychologicznych.

Brak praktyk fizycznych

Jednym z najczęściej wskazywanych ograniczeń e-edukacji logistycznej jest brak możliwości fizycznego uczestnictwa w praktykach zawodowych, warsztatach technicznych oraz zajęciach realizowanych w rzeczywistym środowisku magazynowym, transportowym czy produkcyjnym. Logistyka jako dyscyplina wymaga od studentów nie tylko wiedzy teoretycznej, ale także sprawności w obsłudze sprzętu, systemów magazynowych, pojazdów transportowych oraz zdolności adaptacyjnych w sytuacjach realnych¹⁴. W środowisku wirtualnym trudno jest w pełni odwzorować specyfikę pracy fizycznej, co może prowadzić do niedoboru kompetencji praktycznych u absolwentów¹⁵.

Problemy techniczne i kompetencyjne

Kolejnym znaczącym wyzwaniem są tzw. nierówności cyfrowe, które obejmują ograniczony dostęp części studentów i wykładowców do stabilnych łącz internetowych, nowoczesnego sprzętu komputerowego oraz odpowiednich zasobów edukacyjnych. Dodatkowo, nie wszyscy uczestnicy procesu dydaktycznego posiadają wystarczające kompetencje cyfrowe

¹³ Sarnat-Ciastko, A., Kształcenie zdalne jako wyzwanie dydaktyczne i społeczne w dobie pandemii. Zeszyty Naukowe UPH, 44(1), 89-100, 2020

¹⁴ Nowicka-Skowron, M., Pańkowska, M., Tomski, P., Praktyczne aspekty kształcenia logistycznego - wyzwania dla e-edukacji. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, 34(2), 91-98, 2019

¹⁵ Górecka, D., Wyzwania edukacji zdalnej w logistyce - perspektywa studentów. Przegląd Organizacji, 8(987), 31-37, 2020

do efektywnego korzystania z zaawansowanych narzędzi e-learningowych, w tym platform LMS, systemów ERP w wersji demonstracyjnej czy aplikacji wspierających symulacje logistyczne^{16,17}. Braki w zakresie tzw. cyfrowej gotowości skutkują niskim poziomem zaangażowania i trudnościami w realizacji treści programowych.

Spadek motywacji i samodyscypliny

Edukacja zdalna, w przeciwieństwie do tradycyjnych form nauczania, wymaga od studentów wyższej samodzielności, systematyczności i zdolności do zarządzania własnym czasem. W przypadku logistyki, która często obejmuje zadania zespołowe, projektowe oraz praktyczne, brak bezpośredniego kontaktu z prowadzącym i grupą może prowadzić do obniżenia motywacji oraz trudności w utrzymaniu ciągłości pracy¹⁸. Zjawisko to jest szczególnie widoczne w długoterminowych kursach, gdzie utrzymanie zaangażowania studentów staje się jednym z największych wyzwań dla kadry dydaktycznej¹⁹.

Trudności w ocenie kompetencji praktycznych

Jednym z istotnych problemów związanych z e-edukacją logistyczną jest także ograniczona możliwość rzetelnej oceny kompetencji praktycznych, takich jak praca zespołowa, negocjacje w łańcuchu dostaw, planowanie tras czy reagowanie na sytuacje kryzysowe. W tradycyjnym modelu nauczania możliwe jest bezpośrednie obserwowanie i moderowanie działań studentów, co pozwala na formułowanie trafnych ocen i rekomendacji. W środowisku zdalnym, nawet przy zastosowaniu symulacji czy platform do współpracy grupowej, trudno jest w pełni odwzorować rzeczywiste warunki pracy, co ogranicza skuteczność pomiaru efektów uczenia się^{20,21}.

Pomimo dynamicznego rozwoju technologii edukacyjnych i rosnącej roli e-edukacji w kształceniu logistycznym, istnieje szereg barier, które utrudniają pełne wykorzystanie potencjału tej formy nauczania. Do kluczowych wyzwań należą m.in. brak bezpośrednich praktyk fizycznych, problemy techniczne i kompetencyjne, spadek motywacji studentów oraz trudności w ocenie kompetencji praktycznych. Odpowiedzią na te ograniczenia powinno być rozwijanie modeli hybrydowych, inwestycje w infrastrukturę cyfrową, a także tworzenie bar-

¹⁶ Kopp, M., Gröbinger, O., Adams, S., Five common assumptions that prevent digital transformation at higher education institutions. *International Journal of Management in Education*, 13(2), 114-122, 2019

¹⁷ Sarnat-Ciastko, A., Kształcenie zdalne jako wyzwanie dydaktyczne i społeczne w dobie pandemii. *Zeszyty Naukowe UPH*, 44(1), 89-100, 2020

¹⁸ Garrison, D. R., *E-learning in the 21st century: A framework for research and practice*. Routledge, 2011

¹⁹ Górecka, D., Pudelko, A., Uwarunkowania efektywności e-edukacji w szkołach wyższych - badania studentów logistyki. *Zeszyty Naukowe WSL*, 18(2), 15-27, 2021

²⁰ Bower, M., Dalgarno, B., Kennedy, G., Lee, M. J. W., & Kenney, J., Design and implementation factors in blended synchronous learning environments: Outcomes from a cross-case analysis. *Computers & Education*, 86, 1-17, 2015

²¹ Kolb, D. A., *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall, 1984

dzień zaawansowanych i realistycznych symulacji edukacyjnych. Tylko wtedy e-edukacja logistyczna może spełnić swoje funkcje na poziomie równoważnym lub wyższym niż tradycyjne formy nauczania.

Przykłady narzędzi i rozwiązań

Skuteczność e-edukacji w dziedzinie logistyki zależy w dużej mierze od zastosowania odpowiednio dobranych narzędzi technologicznych, które umożliwiają realistyczne odwzorowanie procesów logistycznych, wspierają aktywność studentów oraz umożliwiają rozwijanie kompetencji analitycznych i systemowych. W poniższym zestawieniu przedstawiono zarówno symulatory i systemy informatyczne, jak i interaktywne platformy wspomagające proces dydaktyczny.

Symulatory procesów logistycznych

Symulacje są kluczowym elementem dydaktyki logistycznej, pozwalającym studentom doświadczać procesów decyzyjnych i operacyjnych w bezpiecznym, kontrolowanym środowisku.

- FlexSim²² - umożliwia tworzenie modeli symulacyjnych dla zakładów produkcyjnych, magazynów oraz systemów transportowych; wykorzystywany jest w projektach inżynierskich oraz badaniach nad optymalizacją przepływów²³.
- AnyLogic²⁴ - umożliwia symulacje dyskretnie i dynamiczne, doskonale nadaje się do odwzorowywania sieci łańcuchów dostaw, logistyki miejskiej oraz interakcji z systemami zewnętrznymi²⁵.
- SimLog²⁶ - specjalizuje się w symulacji operacji pojazdów transportowych i maszyn logistycznych (np. wózków widłowych), co czyni go użytecznym narzędziem w nauczaniu praktyk magazynowych.
- Supply Chain Simulation Game (MIT)²⁷ - interaktywny symulator Bullwhip Effect wykorzystywany na kursach Supply Chain Management.

Zintegrowane systemy informatyczne

Obecność systemów ERP i SCM w edukacji logistycznej odzwierciedla realne warunki pracy w przedsiębiorstwach logistycznych.

- SAP Learning Hub²⁸ - flagowe narzędzie edukacyjne firmy SAP, zawierające środowiska demonstracyjne, kursy wideo oraz wirtualne laboratoria. Umożliwia naukę m.in.

²² <https://flexsim.pl>

²³ Chwesiuk, K., & Wyrwicka, M., Symulacje procesów logistycznych jako narzędzie kształcenia zdalnego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, 52(4), 41-55, 2022

²⁴ <https://www.anylogic.com>

²⁵ Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M., *Discrete-Event System Simulation* (5th ed.). Pearson, 2010

²⁶ <https://simlog.pwr.edu.pl>

²⁷ <https://hbsp.harvard.edu/product/7908-HTM-ENG>

²⁸ <https://www.sap.com/poland/training-certification/learning-hub.html>

modułów MM (Material Management), SD (Sales and Distribution), WM (Warehouse Management)²⁹.

- Oracle NetSuite Education³⁰ - platforma ERP oparta na chmurze, dostępna dla uczelni w ramach inicjatywy Oracle Academy.
- Infor SCM³¹ - środowisko oferujące moduły planowania zapasów, harmonogramowania produkcji oraz zarządzania flotą transportową.
- Microsoft Dynamics 365³² - Talent i Supply Chain - często stosowany w ramach studiów podyplomowych z zakresu logistyki i analityki operacyjnej.

Platformy wspomagające naukę interaktywną

Dla efektywnego angażowania studentów i weryfikacji wiedzy niezbędne są narzędzia wspierające komunikację, aktywizację i ocenę postępów.

- Kahoot!³³ - pozwala na szybkie tworzenie quizów i testów wiedzy w czasie rzeczywistym, przyczynia się do zwiększenia zaangażowania studentów³⁴.
- Mentimeter³⁵ - umożliwia prowadzenie interaktywnych prezentacji, quizów oraz głosowań w czasie rzeczywistym; wykorzystywany także w badaniach preferencji studentów.
- Padlet³⁶ - narzędzie wizualne do wspólnego tworzenia map myśli, tablic projektowych i harmonogramów, przydatne w nauczaniu logistyki projektowej i planowania operacyjnego.
- Miro³⁷ - platforma do interaktywnej współpracy i zarządzania zespołami projektowymi, wykorzystywana np. w symulacjach zarządzania łańcuchem dostaw.
- Trello³⁸ - elastyczne narzędzie do zarządzania pracą, w którym zespoły mogą tworzyć plany, współpracować nad projektami, organizować przepływy pracy i śledzić postępy w wizualny, produktywny i satysfakcjonujący sposób.
- MS Teams³⁹ + Microsoft Forms⁴⁰ - zestaw narzędzi wspierający e-learning korporacyjny oraz dydaktykę akademicką w czasie rzeczywistym, umożliwiający prowadzenie egzaminów i testów.

²⁹ Toka, A., Skowron, R., Wykorzystanie systemów ERP w edukacji logistycznej. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 65(2), 89-99, 2021

³⁰ <https://academy.oracle.com/en/solutions-cloud-netsuite.html>

³¹ <https://www.infor.com/solutions/scm>

³² <https://www.microsoft.com/pl-pl/dynamics-365>

³³ <https://kahoot.com>

³⁴ Licorish, S. A., Owen, H. E., Daniel, B., George, J., Students' perception of Kahoot!'s influence on teaching and learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 13(1), 1-23, 2018

³⁵ <https://www.mentimeter.com>

³⁶ <https://padlet.com>

³⁷ <https://miro.com/pl/>

³⁸ <https://trello.com/home>

³⁹ <https://www.microsoft.com/pl-pl/microsoft-teams/log-in>

⁴⁰ <https://forms.office.com>

MOOC (*Massive Open Online Courses*) i globalne platformy edukacyjne

Dzięki globalnym platformom edukacyjnym studenci mają dostęp do certyfikowanych kursów prowadzonych przez światowej klasy uczelnie⁴¹.

- Coursera⁴² - oferuje kursy takie jak Supply Chain Management Specialization (Rutgers University), Operations Analytics (Wharton School), czy Global Logistics (Kuehne Logistics University).
- NAVOICA to ogólnopolska platforma edukacyjna oferująca bezpłatne kursy on-line typu MOOC (ang. Massive Open Online Courses) realizowane przez uczelnie i instytucje edukacyjne. Jest ona dostępna na stronie <https://navoica.pl/>⁴³.
- edX⁴⁴ - m.in. MicroMasters in SCM z Massachusetts Institute of Technology (MITx), obejmujący modelowanie sieci logistycznych, optymalizację i zarządzanie ryzykiem.
- FutureLearn⁴⁵ - platforma wspierana przez University of Glasgow, Cranfield University czy TU Delft, oferująca m.in. kursy z zakresu zrównoważonej logistyki i zarządzania transportem.
- Open SAP⁴⁶ - autorska platforma firmy SAP oferująca bezpłatne kursy wprowadzające w moduły ERP i technologie cyfrowe w logistyce.

Postęp technologiczny w edukacji umożliwia coraz bardziej zaawansowane i praktyczne formy nauczania logistyki na odległość. Rozbudowany ekosystem narzędzi - od realistycznych symulatorów, przez zintegrowane systemy ERP, aż po globalne kursy online i platformy do współpracy zespołowej - wspiera rozwój kompetencji nie tylko teoretycznych, ale również operacyjnych, systemowych i interpersonalnych. Kluczowe wyzwanie to odpowiednie dopasowanie narzędzi do celów dydaktycznych oraz zapewnienie równych szans technologicznych dla wszystkich uczestników procesu edukacyjnego.

Przykłady rozwiązań w edukacji zdalnej

Wdrażanie skutecznych rozwiązań w edukacji zdalnej, szczególnie w kontekście nauczania logistyki, wymaga nie tylko narzędzi cyfrowych, lecz także odpowiednio zaprojektowanego środowiska dydaktycznego, modelu kształcenia oraz wsparcia instytucjonalnego. W praktyce edukacyjnej na świecie i w Polsce pojawia się coraz więcej konkretnych przykładów zastosowań e-edukacji, które mogą stanowić wzorce dobrych praktyk.

MITx MicroMasters in Supply Chain Management (MIT, USA)

Massachusetts Institute of Technology (MIT) jako pionier kształcenia zdalnego w logistyce opracował program MicroMasters in Supply Chain Management, realizowany na platformie edX. Kurs składa się z pięciu zintegrowanych modułów, takich jak SCM Fundamentals, Analytics, Design, Technology and Systems oraz End-to-End SC Coordination, a kończy się egzaminem praktycznym (Capstone Exam). Studenci pracują na rzeczywistych

⁴¹ Rodriguez, O., The concept of openness behind c and x-MOOCs (Massive Open Online Courses). Open Praxis, vol. 5 issue 1, January-March 2013, pp. 67-73. 2020

⁴² <https://www.coursera.org>

⁴³ <https://navoica.pl/>

⁴⁴ <https://www.edx.org>

⁴⁵ <https://www.futurelearn.com>

⁴⁶ <https://learning.sap.com>

danych, realizują symulacje systemów łańcucha dostaw i korzystają z systemów analitycznych wykorzystywanych w logistyce⁴⁷.

Fizyczny efekt: Uczestnicy programu mogą uzyskać certyfikat uznawany przez firmy takie jak Amazon, DHL czy Maersk, a najlepsi otrzymują zaproszenie do uzupełnienia studiów stacjonarnych w MIT.

Laboratoria SAP Next-Gen (Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach)⁴⁸

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach wdrożył specjalistyczne laboratorium edukacyjne SAP Next-Gen Lab, będące częścią globalnej sieci edukacyjnej SAP. Umożliwia ono realizację zajęć zdalnych w środowisku systemów SAP S/4HANA oraz SAP Fiori, dostępnych poprzez SAP Learning Hub Academic Edition. Studenci uczą się obsługi rzeczywistych procesów takich jak zamówienia, gospodarka magazynowa czy kontroling.

Fizyczny efekt: Uczelnia udostępnia laboratoria również zdalnie, a studenci realizują projekty i egzaminy praktyczne bez konieczności fizycznej obecności na uczelni⁴⁹.

Gra symulacyjna „The Fresh Connection” (Technikum Spedycji i Logistyki, Poznań)⁵⁰

W ramach innowacyjnych praktyk dydaktycznych, szkoły średnie o profilu logistycznym, np. Technikum Spedycji i Logistyki w Poznaniu, wdrażają interaktywną grę symulacyjną The Fresh Connection. Gra ta odwzorowuje działanie łańcucha dostaw w firmie produkującej napoje i żywność. Uczniowie - pełniąc role menedżerów ds. zakupów, logistyki, produkcji i sprzedaży - podejmują decyzje, których wyniki są analizowane w czasie rzeczywistym.

Fizyczny efekt: Uczniowie rywalizują w międzynarodowych ligach edukacyjnych oraz uczestniczą w turniejach takich jak Global Student Challenge.

Zdalne laboratoria VR/AR - Uniwersytet Zielonogórski

Uniwersytet Zielonogórski wdrożył wirtualne laboratoria magazynowe przy użyciu technologii VR. W ramach platformy edukacyjnej, studenci kierunków inżynierskich i logistycznych mają możliwość nauki obsługi systemów regałowych, skanerów kodów, czy zarządzania strefami kompletacyjnymi bez fizycznej obecności w hali magazynowej.

Fizyczny efekt: Uczelnia zakupiła zestawy gogli Oculus Rift oraz opracowała dedykowane środowisko logistyczne do nauki praktycznej na odległość⁵¹.

⁴⁷ Rodriguez, O., The concept of openness behind c and x-MOOCs(Massive Open Online Courses). Open Praxis, vol. 5 issue 1, January-March 2013, pp. 67-73, 2020

⁴⁸https://www.sap.com/about/company/innovation/next-gen-innovation-platform.html?sort=events_upcoming

⁴⁹ Toka, A., & Skowron, R., Wykorzystanie systemów ERP w edukacji logistycznej. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 65(2), 89-99, 2021

⁵⁰ <https://inchainge.com/business-games/tfc/>

⁵¹ Kawa, A., & Maryniak, A., Wirtualna rzeczywistość w kształceniu logistycznym. Logistyka, 4, 34-41, 2019

Kurs „Transport i Logistyka” na platformie Navoica.pl (Polska)⁵²

Polska platforma e-learningowa Navoica.pl, zarządzana przez Ośrodek Przetwarzania Informacji (OPI PIB), oferuje kurs „Transport i Logistyka w praktyce” opracowany przez ekspertów z Politechniki Lubelskiej. Kurs składa się z 8 modułów i zawiera zarówno treści teoretyczne, jak i zadania projektowe, case studies oraz quizy automatyczne.

Fizyczny efekt: Kurs jest bezpłatny i certyfikowany przez MNiSW, a jego uczestnicy mogą wykorzystać uzyskany certyfikat w rekrutacji na studia i do pracy.

Wirtualne Centrum Kompetencji Logistycznych (Wojskowa Akademia Techniczna)

WAT zrealizowała projekt stworzenia Wirtualnego Centrum Kompetencji Logistycznych, w którym - poprzez zdalne łączenie z symulacyjnym oprogramowaniem - studenci mogą uczyć się zarządzania operacjami logistycznymi w czasie wojny, sytuacjach kryzysowych i operacjach NATO. Wykorzystuje się m.in. platformy PTV Route Optimizer oraz symulacje transportu wojskowego.

Fizyczny efekt: Centrum działa w trybie zdalnym i hybrydowym, zapewniając dostęp do specjalistycznych aplikacji również spoza kampusu.

Cisco Networking Academy - logistyka sieciowa

Choć pierwotnie ukierunkowana na IT, Cisco Networking Academy oferuje również kursy z zakresu IoT w logistyce, logistyki sieciowej (network logistics), traceability i wykorzystania danych w zarządzaniu magazynem. Kursy te są realizowane przez uczelnie zawodowe i technika w formule online, z użyciem symulatorów Packet Tracer.

Fizyczny efekt: Studenci uzyskują cyfrowe certyfikaty, które są rozpoznawane przez pracodawców z sektora logistycznego i e-commerce⁵³.

Przykłady wdrożeń edukacji zdalnej w logistyce - zarówno w środowiskach akademickich, jak i średnich szkołach zawodowych - pokazują, że skuteczne nauczanie logistyki na odległość jest możliwe pod warunkiem integracji technologii symulacyjnych, systemów ERP, nauczania problemowego oraz narzędzi VR/AR. Fizyczne efekty tych rozwiązań obejmują nie tylko zdobycie praktycznych umiejętności, ale również uzyskanie certyfikatów zawodowych, udział w projektach międzynarodowych oraz podniesienie atrakcyjności edukacji logistycznej jako ścieżki kariery.

Perspektywy rozwoju

E-edukacja logistyczna, choć wciąż relatywnie nowym nurtem w obszarze dydaktyki techniczno-biznesowej, dynamicznie się rozwija. Jej przyszłość kształtowana jest przez czynniki technologiczne (m.in. rozwój sztucznej inteligencji i rzeczywistości rozszerzonej), społeczne (zmieniające się oczekiwania pokolenia Z i Alfa), jak również przez wymagania rynku pracy (rosnące zapotrzebowanie na kompetencje cyfrowe i systemowe). Perspektywy rozwoju e-edukacji logistycznej są szerokie, ale ich realizacja będzie zależeć od zdolności uczelni, szkół, instytucji zawodowych i samych nauczycieli do skutecznej adaptacji.

⁵² <https://navoica.pl>

⁵³ Cisco, Cisco Networking Academy Program Overview. Retrieved from <https://www.netacad.com> 2020

Rozszerzenie środowisk immersyjnych (VR/AR/MR)

Jednym z najważniejszych kierunków rozwoju e-edukacji logistycznej jest wdrażanie technologii immersyjnych, takich jak wirtualna (VR), rozszerzona (AR) oraz mieszana rzeczywistość (MR). Umożliwiają one odwzorowanie procesów logistycznych w trójwymiarowym środowisku, zbliżonym do rzeczywistego. Przykładowe zastosowania obejmują:

- wirtualne magazyny z funkcją kompletacji towaru,
- symulację załadunku kontenerów,
- szkolenia BHP w środowisku transportowym.

Badania pokazują, że integracja technologii immersyjnych zwiększa efektywność nauczania poprzez aktywizację poznawczą, redukcję błędów szkoleniowych oraz możliwość nauki poprzez doświadczenie (experiential learning)⁵⁴.

Integracja e-edukacji z Internetem Rzeczy (IoT) i Przemysłem 4.0

Nowoczesne łańcuchy dostaw funkcjonują coraz częściej w modelu cyberfizycznym, co oznacza integrację systemów informatycznych z urządzeniami fizycznymi (czujniki, RFID, roboty AMR). W tym kontekście przyszłość e-edukacji logistycznej będzie opierać się na:

- pracy na danych w czasie rzeczywistym z inteligentnych magazynów,
- nauce zdalnej konserwacji i zarządzania flotą,
- integracji z platformami MES i SCADA (Sterowanie Procesami).

Coraz więcej uczelni, jak Politechnika Poznańska czy RWTH Aachen, wdraża laboratoria zdalnego dostępu do infrastruktury fizycznej, co umożliwia studentom przeprowadzanie rzeczywistych testów logistycznych z poziomu platform LMS⁵⁵.

Edukacja oparta na danych (Data-driven education)

Współczesna logistyka opiera się na analizie danych, co wymusza przesunięcie dydaktyki z modelu opartego na „nauczaniu treści” na model analityczny. Przyszłościowym rozwiązaniem w e-edukacji jest wykorzystanie:

- platform analitycznych (Power BI, Tableau, Qlik Sense),
- języków programowania (Python, R) do modelowania procesów,
- uczenia maszynowego do prognozowania popytu, ryzyka, kosztów.

Takie podejście sprzyja rozwijaniu kompetencji „twardych”, ale również metakompetencji, takich jak myślenie systemowe i umiejętność wizualizacji procesów⁵⁶.

Rozwój mikropoświadczeń i ścieżek kompetencyjnych

Coraz większe znaczenie w e-edukacji logistycznej mają tzw. mikropoświadczenia (microcredentials), czyli krótkie certyfikowane moduły kompetencyjne, uznawane przez branżę i możliwe do integracji z pełnym programem studiów lub portfolio zawodowym. Uczelnie takie jak TU Delft, MIT oraz WSB-DSW oferują już zdalne kursy z:

- zarządzania zapasami (*Inventory Management*),

⁵⁴ Kawa, A., Maryniak, A., Wirtualna rzeczywistość w kształceniu logistycznym. *Logistyka*, 4, 34-41, 2019

⁵⁵ Pereira, C. R., Silva, A. L., & Sellitto, M. A., A literature review on MOOCs in logistics and supply chain management. *Education for Information*, 36(2), 175-193, 2020

⁵⁶ Gorecki, A., & Turek, T., Edukacja logistyki oparta na danych - perspektywa przemysłu 4.0. *Logistyka*, 5, 45-58, 2022

- cyfrowej logistyki (*Digital SCM*),
 - zrównoważonego transportu (*Sustainable Logistics*),
 - analizy danych w logistyce (*Logistics Data Analytics*).
- Mikropoświadczenia wspierają model uczenia się przez całe życie (*Lifelong Learning*), co ma kluczowe znaczenie w dynamicznie zmieniającej się branży logistycznej⁵⁷.

Personalizacja nauczania i sztuczna inteligencja (AI)

Systemy oparte na sztucznej inteligencji w edukacji pozwalają na:

- analizę postępów studentów i predykcję problemów edukacyjnych,
- personalizację ścieżki nauczania (np. AI Tutor, chatboty edukacyjne),
- inteligentne planowanie kursów i zadań dostosowanych do tempa użytkownika.

Platformy jak Coursera, edX czy Navoica już implementują mechanizmy adaptacyjnego nauczania, a firmy jak SAP integrują AI w szkoleniach korporacyjnych. Przyszłość to hybryda człowiek-maszyna w roli instruktora - tzw. *intelligent instructor assistant*⁵⁸.

Hybrydyzacja nauczania (blended & hybrid learning)

Trend „hybrydyzacji” oznacza nie tylko połączenie nauki stacjonarnej i zdalnej, ale również tworzenie spersonalizowanych, hybrydowych ścieżek dydaktycznych: od webinarów, przez VR, po projekty grupowe realizowane w chmurze. Dydaktycy przewidują odejście od sztywnych programów nauczania na rzecz elastycznych, adaptacyjnych formatów uczenia się (*agile education*)⁵⁹.

Ekspansja międzynarodowych formatów edukacyjnych

Programy takie jak COIL (*Collaborative Online International Learning*) czy Erasmus+ Virtual Exchange umożliwiają wspólne projekty studentów logistyki z różnych krajów, co sprzyja internacjonalizacji, nauce języków specjalistycznych oraz zrozumieniu różnic kulturowych w logistyce⁶⁰. W przyszłości będzie to fundament dla globalnych kampusów wirtualnych i studiów wielojęzycznych online.

Rozwój e-edukacji logistycznej będzie podążać w kierunku integracji technologii immersyjnych, analizy danych, Internetu Rzeczy oraz personalizacji uczenia się przy wsparciu sztucznej inteligencji. Nowe modele dydaktyczne, takie jak mikropoświadczenia, hybrydowe ścieżki edukacyjne czy międzynarodowe kursy wirtualne, stanowią odpowiedź na potrzeby rynku pracy i oczekiwania młodego pokolenia. Kluczowym czynnikiem sukcesu pozostaje nie tylko wdrażanie nowoczesnych narzędzi, ale też gotowość instytucji edukacyjnych do długofalowej transformacji kultury nauczania w duchu cyfrowej inkluzji, elastyczności i jakości.

⁵⁷ OECD., *Micro-credentialing in higher education: A snapshot of practices and policy approaches*. <https://www.oecd.org>, 2021

⁵⁸ Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C., *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign, 2019

⁵⁹ Garrison, D. R., & Vaughan, N. D., *Blended learning in higher education: Framework, principles, and guidelines*. Jossey-Bass, 2008

⁶⁰ De Wit, H., & Altbach, P. G., *International higher education: Global trends and future directions*. *Journal of International Students*, 11(S2), 4-22, 2021

Podsumowanie

E-edukacja logistyczna stanowi obecnie jedno z najbardziej perspektywicznych, a zarazem najbardziej wymagających pól rozwoju edukacji zawodowej i akademickiej. W obliczu globalnych transformacji cyfrowych oraz coraz bardziej złożonych struktur logistycznych, konieczne staje się projektowanie systemów kształcenia, które umożliwiają zdobywanie i doskonalenie kompetencji nie tylko w wymiarze teoretycznym, ale przede wszystkim w zakresie praktycznego zastosowania wiedzy w złożonym, dynamicznym i nieprzewidywalnym środowisku.

Z przeprowadzonych analiz wynika jednoznacznie, że e-edukacja logistyczna niesie ze sobą szereg niezaprzeczalnych korzyści. Do najważniejszych należą: elastyczność procesu kształcenia, dostępność niezależna od lokalizacji geograficznej, integracja z nowoczesnymi systemami informatycznymi (ERP, TMS, SCM), a także niższe koszty uczestnictwa w kursach i programach edukacyjnych. Równocześnie należy mieć świadomość licznych wyzwań i ograniczeń, wśród których najczęściej wymienia się: brak możliwości realizacji praktyk fizycznych, trudności w ocenie kompetencji miękkich i pracy zespołowej, problemy techniczne i brak kompetencji cyfrowych u części studentów i wykładowców oraz spadek motywacji przy długotrwałym nauczaniu asynchronicznym.

Szczególną wartość wnosi analiza narzędzi edukacyjnych wykorzystywanych w praktyce - takich jak symulatory FlexSim, platformy ERP (SAP, Oracle), quizy (Kahoot), tablice interaktywne (Miro), czy globalne kursy MOOC. Przykłady wdrożeń w takich instytucjach jak MIT, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach czy WAT pokazują, że odpowiednio zaprojektowana e-edukacja logistyczna może nie tylko dorównać tradycyjnym metodom, ale nawet je przewyższyć w zakresie skalowalności, różnorodności form, międzynarodowej współpracy i dostosowania do potrzeb rynku pracy.

Ostateczne wnioski wskazują, że przyszłość edukacji logistycznej będzie nierozdzielnie związana z rozwojem technologii immersyjnych (VR/AR), analityki danych, sztucznej inteligencji oraz środowisk hybrydowych. Wraz z rosnącą popularnością mikropoświadczeń, edukacja logistyczna stanie się bardziej elastyczna, spersonalizowana i zorientowana na uczenie się przez całe życie. Instytucje edukacyjne, które jako pierwsze przyjmą innowacyjne modele dydaktyczne, zyskają przewagę konkurencyjną, a ich absolwenci będą lepiej przygotowani do funkcjonowania w złożonych łańcuchach dostaw przyszłości.

Wymaga to jednak systemowego wsparcia: inwestycji w infrastrukturę, podnoszenia kompetencji kadry, tworzenia otwartych zasobów edukacyjnych oraz rozwijania współpracy między uczelniami, biznesem i platformami technologicznymi. E-edukacja logistyczna nie jest już tylko eksperymentem czy reakcją na kryzys - to trwała zmiana paradygmatu kształcenia, której potencjał należy świadomie rozwijać i optymalizować.

Bibliografia

- Allen, I. E., & Seaman, J., Changing course: Ten years of tracking online education in the United States. Sloan Consortium, 2013
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., Nicol, D. M., Discrete-Event System Simulation (5th ed.). Pearson, 2010
- Bower, M., Dalgarno, B., Kennedy, G., Lee, M. J. W., & Kenney, J., Design and implementation factors in blended synchronous learning environments: Outcomes from a cross-case analysis. *Computers & Education*, 86, 1-17, 2015
- Cegielski, C. G., Hazen, B. T., & Rainer, R. K., Teach IT: The importance of information technology competency in supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 33(2), 165-178. 2012
- Christopher, M., *Logistics & Supply Chain Management* (5th ed.). Pearson Education 2012
- Chwesiuk, K., & Wyrwicka, M., Symulacje procesów logistycznych jako narzędzie kształcenia zdalnego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, 52(4), 41-55, 2022
- Cisco, Cisco Networking Academy Program Overview. Retrieved from <https://www.netacad.com>, 2022
- De Wit, H., Altbach, P. G., International higher education: Global trends and future directions. *Journal of International Students*, 11(S2), 4-22, 2021
- Garrison, D. R., *E-learning in the 21st century: A framework for research and practice*. Routledge, 2021
- Garrison, D. R., Vaughan, N. D., *Blended learning in higher education: Framework, principles, and guidelines*. Jossey-Bass, 2008
- Gorecki, A., & Turek, T., Edukacja logistyki oparta na danych - perspektywa prze-mysłu 4.0. *Logistyka*, 5, 45-58, 2022
- Górecka, D., Wyzwania edukacji zdalnej w logistyce - perspektywa studentów. *Przegląd Organizacji*, 8(987), 31-37, 2020
- Górecka, D., & Pudelko, A., Uwarunkowania efektywności e-edukacji w szkołach wyższych - badania studentów logistyki. *Zeszyty Naukowe WSL*, 18(2), 15-27, 2021
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C., *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign, 2019
- <https://academy.oracle.com/en/solutions-cloud-netsuite.html> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://flexsim.pl> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://forms.office.com> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://hbsp.harvard.edu/product/7908-HTM-ENG> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://inchainge.com/business-games/tfc/> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://kahoot.com> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://learning.sap.com> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://miro.com/pl/> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://navoica.pl> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://padlet.com> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://simlog.pwr.edu.pl> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://trello.com/home> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://anylogic.com> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://coursera.org> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://edx.org> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://futurelearn.com> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://infor.com/solutions/scm> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://mentimeter.com> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://microsoft.com/pl-pl/dynamics-365> (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://microsoft.com/pl-pl/microsoft-teams/log-in> (dostęp 17.08.2025 r)

- https://sap.com/about/company/innovation/next-gen-innovation-platform.html?sort=events_upcoming (dostęp 17.08.2025 r)
- <https://sap.com/poland/training-certification/learning-hub.html> (dostęp 17.08.2025 r)
- Kawa, A., Maryniak, A., Wirtualna rzeczywistość w kształceniu logistycznym. *Logistyka*, 4, 34-41, 2019
- Kolb, D. A., *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall, 1084
- Kopp, M., Gröblinger, O., & Adams, S., Five common assumptions that prevent digital transformation in higher education institutions. *International Journal of Management in Education*, 13(2), 114-122. 2019
- Licorish, S. A., Owen, H. E., Daniel, B., & George, J., Students' perception of Ka-hoot!'s influence on teaching and learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 13(1), 1-23, 2018
- Nowicka-Skowron, M., Pańkowska, M., & Tomski, P., Praktyczne aspekty kształcenia logistycznego - wyzwania dla e-edukacji. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej*, 34(2), 91-98, 2019
- OECD, *Micro-credentialing in higher education: A snapshot of practices and policy approaches*. <https://www.oecd.org> 2021
- Pereira, C. R., Silva, A. L., Sellitto, M. A., A literature review on MOOCs in logistics and supply chain management. *Education for Information*, 36(2), 175-193, 2020
- Rodriguez, O., The concept of openness behind c and x-MOOCs(Massive Open Online Courses). *Open Praxis*, vol. 5 issue 1, January-March 2013, pp. 67-73, 2020
- Sarnat-Ciastko, A., Kształcenie zdalne jako wyzwanie dydaktyczne i społeczne w dobie pandemii. *Zeszyty Naukowe UPH*, 44(1), 89-100, 2020
- Szot-Gabrys, T., Przyszłość edukacji logistycznej w erze cyfrowej. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Logistyki*, 17(1), 25-36, 2021
- Toka, A., & Skowron, R., Wykorzystanie systemów ERP w edukacji logistycznej. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 65(2), 89-99, 2021

Adres do korespondencji: d.maslowski@po.edu.pl

ORCID: Dariusz Masłowski 0000-0002-3964-540X

ORCID: Małgorzata Dendera-Gruszka 0000-0002-3683-5160

ORCID: Julia Giera 0000-0002-7297-458X

LOGISTYKA W BRANŻY MODY. PRZYPADEK MIKROPRZEDSIĘBIORSTW

Joanna Nowicka¹

¹ Wydział Nauk Społecznych i Technicznych, Akademia Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa w Wałbrzychu

Wstęp

Branża mody w Polsce dynamicznie się rozwija, łącząc tradycyjne rzemiosło z nowoczesnymi trendami konsumenckimi. Na tle globalnych graczy i wielkich sieciówek to mikroprzedsiębiorstwa oferują unikatowe produkty, szyte w krótkich seriach, często z lokalnych materiałów i z poszanowaniem zasad zrównoważonego rozwoju. Ich logistyka nie jest procesem technicznym, lecz strategicznym wyzwaniem, które wpływa na konkurencyjność, jakość obsługi klienta oraz możliwości ekspansji. W dobie e-commerce, wysokich oczekiwań konsumenckich i rosnącej roli zrównoważonego łańcucha dostaw, sprawne zarządzanie logistyką staje się kluczowe również dla najmniejszych podmiotów.

Od czasów dominacji niszowych trendów w latach 80-tych lub 90-tych XX wieku branża mody w Polsce przeszła znaczącą transformację. W 2022 roku w Polsce działało 36196 przedsiębiorstw w branży produkcji odzieży i innowacyjnych tekstyliów. Branża zatrudnia około 300 000 osób. Sektor charakteryzuje się dużym rozdrobnieniem - aż 92% przedsiębiorstw to mikrofirmy zatrudniające do 9 osób. Odzieżowe mikroprzedsiębiorstwa to przede wszystkim małe, niezależne marki oraz osoby prowadzące działalność gospodarczą, które projektuje, szyją lub sprzedają odzież, dodatki czy biżuterii¹.

Celem opracowania jest zdefiniowanie obszarów, korzyści i wyzwań logistyki w polskiej branży mody na przykładzie mikroprzedsiębiorstw prowadzących działalność gospodarczą na terenie województwa dolnośląskiego – ich problemów, ograniczeń, ale również możliwości adaptacji, współpracy i rozwoju w warunkach silnej konkurencji ze strony dużych i międzynarodowych marek.

Przedmiotem badań były mikroprzedsiębiorstwa zajmując się projektowaniem, produkcją i sprzedażą ubrań, dodatków, biżuterii itp. z obszaru województwa dolnośląskiego. Te firmy realizują zadania logistyczne takie jak: zaopatrzenie, magazynowanie transport, pakowanie zwroty, logistyka zwrotna.

¹ PARP, Moda nadal modna – PARP publikuje najnowszy raport na temat branży, 2023, Pozyskano z: <https://www.parp.gov.pl/component/content/article/84925:moda-nadal-modna-parp-publikuje-najnowszy-raport-na-temat-branzy>

Metody badawcze, jakie zastosowano w niniejszym opracowaniu obejmowały krytyczną analizę literatury w części teoretycznej, a w części praktycznej – badania ankietowe przeprowadzone wśród 58 mikroprzedsiębiorstw prowadzących działalność gospodarczą w branży mody na terenie południowej Polski.

W efekcie dokonano charakterystyki działalności gospodarczej związanej z produkcją i sprzedażą produktów modowych - ubrań i akcesoriów, definiując przy tym specyficzne właściwości logistyki branżowej. Zwrócono szczególną uwagę na różnice w podejściu logistycznym między mikroprzedsiębiorstwami a dużymi podmiotami, a także omówiono wyniki badań ankietowych, ujawniając kluczowe zależności i dominujące tendencje w logistyce badanych mikrofirm.

Branża mody – charakterystyka działalności

Moda według Mroczkowskiej „...to zmienna forma ekspresji tożsamości w kontekście społecznym i kulturowym...”², według Płonki to „...system produkcji, dystrybucji i konsumpcji oparty na zasadzie zmiany...”³. Moda to praktyka cyrkularna od projektowania po zakup ubrań. Moda współcześnie to praktyka cyrkularna obejmująca projektowanie, konsumpcję i recykling”⁴.

Moda to znacznie więcej niż sam przemysł, który zajmuje się odzieżą, chociaż stanowi istotną część globalnej gospodarki może obejmować kategorie takie jak dobra luksusowe, kosmetyki, woda butelkowana, a także elementy mebli, mieszkań i samochodów, które nie są ściśle ukierunkowane na zaspokajanie rzeczywistych potrzeb fizycznych, lecz na sygnalizowanie społeczne.

Ubrania pełnią nie tylko funkcje praktyczne, także ochronę ciała czy zapewnienie ciepła, ale dzięki modzie zyskują znaczenie społeczne – stają się znakiem i komunikatem. Moda jest „systemem ubioru”, służy komunikacji społecznej: wskazuje, kto nosi ubrania, co komunikuje swoim ubraniem i jego stylem, do jakiej grupy należy lub chce należeć, a także jaki prowadzi styl życia. Według Patrika Aspersa, Frederica Godarta badania nad modą najczęściej podejmują tematykę dyfuzji, naśladownictwa oraz wyróżnienia się społecznego. Moda wykracza jednak poza samą odzież – chociaż zdecydowana większość prac empirycznych skupia się właśnie na ubraniach i strojach. Jest ona zjawiskiem dwukierunkowym: jednocześnie aktywnie wpływa na otoczenie społeczne jak i podlega jego oddziaływaniu⁵.

W obszarze mody funkcjonują podmioty gospodarcze jak i freelancerzy, którzy tworzą przemysł modowy. Projektowanie, produkcja i sprzedaż odzieży, tkanin i akcesoriów, wykorzystujących surowce, które mogą być ludzkie lub modyfikowane przemysłowe to zasadniczy przedmiot działalności podmiotów z branży mody. Sektor tekstylny, odzieżowy, skórzanym i obuwniczym (TCLF Textiles, Clothing, Leather and Footwaer) to jeden z kluczowych europejskich ekosystemów przemysłowych, źródło nowych trendów i innowacji. W Unii

² Moczydłowska J. *Moda. Teoria i praktyka*, Warszawa ASP, s.15, 2011

³ Płonka M. *Moda w ujęciu kulturoznawczym*, Kraków wyd. UJ, s. 23, 2018

⁴ *Zrównoważona moda. Teoria i praktyka*. Łódź. Wyd. PŁ, s.45, 2022

⁵ Aspers P., Godart F. *Sociology of Fashion: Order and Change*. *Annual Review of Sociology*. 39. 171-192. 10.1146/annurev-soc-071811-145526. S.187-188, Pozyskano z: https://www.researchgate.net/publication/234146860_Sociology_of_Fashion_Order_and_Change, 2023

Europejskiej około 2 mln osób w ponad 160 tys. firm (głównie małych i średnich przedsiębiorstwach) generując średnio 160 -200 mld Euro, w Polsce wypracowuje średnioroczny obrót ponad 20 mld złotych, 225000 firm zatrudnia 100-150 tys. osób z czego 66% to kobiety⁶. Jest jednym z największych pracodawców a świecie, a szeroki zasięg sprawia, że moda odgrywa kluczową rolę w globalnym zatrudnieniu (według Ellen Mac Arthur Foundation globalna branża odzieżowa zatrudnia ponad 300 mln osób na całym łańcuch dostaw - od surowców przez produkcję, po dystrybucję i sprzedaż, według Uniform Market wartość światowego rynku odzieżowego wynosi 1,84 biliona dolarów i stanowi 1,6% światowego PKB w 2025 roku, a sposób 3,62 miliarda ludzi na świecie 430 milionów pracuje w branży modowej i tekstylnej)⁷. W Polsce według Raportu Liner w latach 2013-2023 zatrudnienie w sektorze odzieżowym wykazywało zmienną tendencję wahając się pomiędzy 64170 a 838500 etatami. Rynek odzieżowy globalnie w 2024 roku został wyceniony na ok. 1,77 biliona USD i prognozuje się wzrost o ok. 2,26 biliona USD do 2030 r. największy udział w przychodach globalnego rynku odzieżowego w 2024 roku miała damska odzież, skłonność kobiet w inwestowanie w odzież i akcesoria sprawia, że moda damska jest lukratywnym segmentem rynku. Segment dystrybucji offline w 2024 roku i wizyty w sklepach przyniosły największe przychody⁸.

Oprócz bezpośredniego zatrudnienia globalny przemysł modowy wspiera wiele powiązanych sektorów. Opiera się m.in. na sieci dostawców, firmach logistycznych i sprzedawcach - detalistach. Globalny przemysł modowy to złożona sieć obejmująca wiele krajów – niektóre dominują na rynku dzięki znaczącym możliwościom produkcyjnym i niższym kosztom pracy (Chiny z rozległą siecią produkcyjną, Indie z bogatą historią przemysłu tekstylnego i słyną z bawełny, Bangladesz to centrum produkcji niedrogiej odzieży, podobnie Turcja, Pakistan i Indonezja). Do kluczowych cech współczesnej branży mody, na podstawie analizy literatury i materiałów źródłowych zaliczyć można:

- szybkim cyklem zmian: trendów, kolekcji sezonowych, nowych materiałów, technologii, tekstyliów np. Zara czy H&M wypuszcza na rynek nowe kolekcje co 2-3 tygodnie,
- funkcją komunikacyjną: moda wyraża tożsamość, status, przynależność grupową, styl życia – silnie reaguje na zmiany społeczne kulturowe i medialne. Współcześnie nie istnieje bez marketingu internetowego, influencerów czy mediów społecznościowych.
- międzynarodowa produkcja (moda projektowana jest w Europie, produkcja odbywa się w Azji a sprzedaż jest realizowana globalnie),
- wymaga logistyki, koordynacji norm i działań, zarządzania kosztami. Produkcja i łańcuchy dostaw często rozciągają się na wiele krajów, co pozwala na optymalizację kosztów, ale jest wyzwaniem w zakresie logistyki, środowiska pracy, norm środowiskowych,
- coraz częściej jest krytykowana za negatywny wpływ na środowisko (emisje, odpady, zużycie wody) co wskazuje na konieczność przejścia do modeli biznesowych bardziej zrównoważonych, sprawiedliwych i etycznych.

⁶ PolskiPrzemysl.pl, 66% zatrudnionych w przemyśle tekstylnym, odzieżowym, skórzanym i obuwniczym (TCLF) to kobiety, 2019, Pozyskano z: <https://polskiprzemysl.com.pl/przemysl-tekstylny/>

⁷ Uniform Market, Global Apparel Industry Statistics: Market Size and Trends (2025) Pozyskano z: <https://www.uniformmarket.com/statistics/global-apparel-industry-statistics>

⁸ Apparel Market (2025-2030), Pozyskano z: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/apparel-market-report>

- segmenty produkcji i klientów, modele biznesowe i skala produkcji są bardzo zróżnicowane od segmentu masowej mody fast fashion (ready to wear do segmentu mody produkowanej ekologicznie slow fashion czy odzieży luksusowej⁹.

Zatem można przyjąć, że branża mody to globalny system produkcji, dystrybucji i konsumpcji odzieży i dodatków, obejmujący etapy: od surowców, przez projektowanie, wytworzenie i marketing, po sprzedaż oraz jej użytkowanie. Funkcjonujący w warunkach szybkich zmian trendów, globalnych łańcuchów dostaw oraz istotnych wyzwań środowiskowych i społecznych.

W Raporcie Linker z 2024 roku zostały zidentyfikowane trendy, które w znaczący sposób kształtowały rynek mody w ostatnich latach. Są to m.in:

- automatyzacja, robotyzacja i postęp technologiczny, które znacząco ograniczyły zatrudnienie,
- zmiany w polityce handlu światowego np. wojna celna USA – Chiny, wpłynęły m.in. na sprzedaż, trendy, dywersyfikację łańcuchów dostaw,
- regulacje zrównoważonej i etycznej, odpowiedzialnej produkcji odzieży m.in. obowiązek oddzielnej zbiórki odzieży w UE od 01.01.2025 roku i ponoszenie przez producenta kosztów zbiórki, sortowania odzieży,
- „Fast fashion”, zmieniające się zachowania konsumentów typowość i uniwersalność versus oryginalność flow fashion¹⁰.

Branża mody jak wskazuje raport McKinsey (2017-2024) nie rozwija się tak szybko jak we wcześniejszych dekadach, odbiorca jest coraz bardziej świadomy i wymagający oznacza modele biznesowe wielu podmiotów, które muszą się adoptować do nowych wymagań - globalizacja i masowa produkcja, pomimo wzrostu i pojawienia się nowych oryginalnych sektorów nadal dominują, a rosnące napięcia – koszty pracy, regulacji, środowisko powodują zwrot w kierunku transparentności, krótszych łańcuchów dostaw i lokalności¹¹. Przedsiębiorstwa modowe są świadome automatyzacji, robotyzacji i digitalizacji. Wyzwaniem dla odradzającej się krajowej branży odzieżowej jest konkurencja kosztami pracy, presja cenowa, rosnące koszty materiałów oraz wyzwania logistyczne łańcuchów dostaw. Polska branża mody jest w fazie transformacji, obok szwalni dla marek światowych odradzają się tradycje mody- pojawiają się niszowe produkty, ukierunkowane na klasę świadomą ekologicznie premium.

Logistyka branży mody

Logistyka to metoda zarządzania. Według J. Blaika logistyka to współczesna koncepcja i metoda zarządzania, która poprzez integrację przepływów materiałowych i informacyjnych w całym łańcuchu dostaw umożliwia osiąganie przewagi konkurencyjnej oraz wzrost efektywności organizacji¹².

⁹ Uniform Market, Global Apparel Industry Statistics: Market Size and Trends (2025), Pozyskano z: <https://www.uniformmarket.com/statistics/global-apparel-industry-statistics>

¹⁰ Forecast: Employment in Wearing Apparel Sector in Poland, Pozyskano z: <https://www.reportlinker.com/dataset/e537043c69dd72a58afcf4127ffea5408e19f277>

¹¹ McKinsey, State of Fashion report archive (2017-2024), Pozyskano z: <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/state-of-fashion-archive>

¹² Blaik J. Logistyka. Koncepcja zintegrowanego zarządzania, PWE, Warszawa, s. 23, 2001

Jej zakres, złożoność i znaczenie jest podyktowane modelem biznesowym przedsiębiorstwa. Na podstawie treści stron internetowych i wypowiedzi umieszczanych w mediach społecznościowych (głównie X/ Twitter) wybranych firm z branży mody z lat 2024-2025 w pracy zidentyfikowano najczęściej pojawiające się praktyki w zakresie logistyki w przedsiębiorstwach sektora mody co prezentuje tabela 1.

Tabela 1. Logistyka w przedsiębiorstwach mody

Wykaz	Charakterystyka	Logistyka	Marki
Duże korporacje modowe (fast fashion)	– Masowa produkcja, – Fast fashion (szybkie kolekcje 6-12/rok) – Niskie ceny – Globalny łańcuch dostaw – Omnichanel (tysiące sklepów, e-commerce) – Własne marki	– Własne centra dystrybucji – Fullfilment online – Transport międzynarodowy – Automatyzacja magazynów	– np. LPP (Reserved, Cropp, House, Mohito, Sinsay), – CCC Group, – 4F
Średnie i duże marki premium/ sport/ outdoor	– Wyższa jakość, – Własne kolekcje 4-6 /rok – Sklepy własne i mulibrand	– Magazyny centralne, – dostawy do sklepów, e-commerce	– Vistula – Bytom – Solra – Ochnik
Mikrofirmy i marki małe (slow fashion, handmade)	– Produkcja lokalna – Małe serie – Szycie na zamówienie – Eko materiały – Zerow waste	– Wysyłka bezpośrednio z atelier (inPost, DHL), – Opakowanie ekologiczne (papier, reckling) – Brak magazynów – produkcja na zamówienie – Obsługa zwrotów przez e-sklep	– Uniqbasic – Bohema – NAGO – Nastula – Sistu
Producent odzieży B2B (szwalnie, OEM, private label)	– Produkcja dla innych marek – Produkcja dla prywatnych/ indywidualnych klientów	– Transport surowców – Odbiór gotowych partii – Dostawy do magazynów klienta	– PTC (szwalnia dla Reserved, H&M) – Fabryka odzieży Credis (dla polskich i zagranicznych marek) – Małe zakłady dla mikrofirm
Platformy e-commerce i multibrand	– Sprzedają wiele marek, nie produkują	– Fullfilmen własny – Zwroty masowe – Dostawy next- day	– Zalando – Answer

			– MODIVO, Do-modi
Marki (Direct – to – Consumer) małe i średnie	– Sprzedaż tylko online – Bez kslpów stacjonarnych	– Wysyłka z małego magazynu – Integracja z inpost – Zwroty przez paczkomat	– Risk Made in Warsaw – Pan tu nie stał
Marki luksusowe/ projektanci	– Unikatowość – Wysoka cena – Ręczna robota	– Dostawa kurierem premium – Pakowanie ręcznie – Brak masowej produkcji – Brak masowej dystrybucji	– Łukasz Jemioł – Viola Piekut – Gosia Baczyńska
Vintage	– Odbudowa – Przeróbki	– Wysyłka ze sklepu / z domu – Paczki wtórne	– Re_dress – Intu Store – Ubrania do oddania

Źródło: opracowanie własne

Na tle zidentyfikowanych tendencji szczególnie polaryzuje się logistyka dużych i mikro-podmiotów. W dużych przedsiębiorstwach logistyka jest wyspecjalizowana i obejmuje złożone procesy łańcucha dostaw, dedykowane działy logistyczne i zdefiniowane strategie logistyczne podczas gdy w małych podmiotach logistyka wspierająca sprzedaż jest najczęściej intuicyjna, a strategia dostawiana jest do sytuacji rynkowej. W mikrofirmach logistyka jest mniej sformalizowana i skupia się na lokalnej produkcji, minimalnych seriach i bezpośredniej wysyłce - brak działów logistyki, a zadania np. transportu magazynowania integrowane są z produkcją lub zlecane firmom zewnętrznym (tabela 2).

Tabela 2. Kluczowe zadania logistyki ze względu na wielkość przedsiębiorstw w branży mody

Logistyka w dużych przedsiębiorstwach mody	Logistyka a małych lub mikrofirmach w branży mody
– Wsparcie strategii handlowych poprzez obsługę sklepów stacjonarnych i e-commerce (realizacja zamówień online, dystrybucja do sieci sklepów w Europie, zapewnienie ciągłości dostaw np. Logistyka obsługuje zarówno sklepy fizyczne, jak i fullfilment online). – Zarządzanie łańcuchem dostaw i spedycją (planowanie transportami międzynarodowego, koordynacja z dostawcami, redukcja zapasów i optymalizacja struktury magazynowej dla poprawy marż np. CCC przemodelowało logistykę, co pozwoliło na niwelowanie presji na zapasy i adaptacje do wyzwań do e-commerce)	– Pakowanie i wysyłka bezpośrednia (przygotowanie zamówień do klientów, obsługa zwrotów, wysyłka), – Zarządzanie małymi zapasami małymi zapasami lokalną dystrybucją (minimalizacja odpadów, transparentna współpraca z lokalnymi dostawcami dystrybutorami, skupienie się na zrównoważonym transporcie np. ekologiczne opakowania) – Outsourcing transport i zwrotów (korzystanie z usług zewnętrznych dla dostaw krajowych/regionalnych, obsługa zwrotów w e-commerce)

Logistyka w dużych przedsiębiorstwach modowych	Logistyka a małych lub mikrofirmach w branży mody
– Utrzymanie ruchu i bezpieczeństwa operacyjnego w magazynach (minimalizacja przestojów, zapewnienie ciągłości pracy, konserwacja sprzętu) – Obsługa celna i planowanie decyzji logistycznych (zarządzanie procedurami celnymi, organizacja pracy, podejmowanie decyzji pod presją), – Implementacja zrównoważonych praktyk np. eliminacja papieru w procesach fulfillment i biurach logistycznych).	

Źródło: opracowanie własne

Logistyka w branży modowej obsługuje zarówno firmy, jak i bezpośrednio indywidualnych klientów – jej zadaniem jest zapewnienie ciągłości produkcji i sprzedaży. Realizacja transportu, zaopatrzenia, dystrybucji bez logistyki procesowej lub systemowej pozwoli na wypełnienie głównych zadań ale nie gwarantuje zachowania warunków efektywności i skuteczności. Jest to system planowania i zarządzania przepływem rzeczy i informacji. Model 7W dla firm odzieżowych obejmuje następujące elementy prezentowane w tabeli 3.

Tabela 3. Model 7W dla firm odzieżowych

Właściwy	Opis
Produkt	Dopasowanie oferty do klienta obejmujące m.in. trend, rozmiar, trendy, sezonowość i personalizacja. dostarczenie produktu, który spełnia oczekiwania klienta pozwala uniknąć niezadowolonych klienta (rozmiar, fason, materiał, styl) właściwy produkt to nie tylko kwestia fizycznego produktu ale również jego estetyki i jakości wykonania, które stanowią o wizerunku marki
Ilość	Dostarczenie ilości produktu zgodnej z polityką zamówień i planowaniem
Jakość	Surowce, materiały, produkty gotowe muszą być dostarczone w nienaruszonym stanie = bez uszkodzeń, wad czyli spełniać jakościowe normy
Czas	Moda jest branżą sezonową, a terminowość dostaw decyduje o sukcesie w sprzedaży – nowa kolekcja, która dotrze do sklepu po sezonie traci swoją wartość rynkową
Klient	Produkt musi dotrzeć do właściwego klienta (grupa docelowa) jak i logistycznym (adres, zamówienie) a precyzyjne zarządzanie danymi klienta, zamówieniami i fakturami jest niezbędne, zwłaszcza przy sprzedaży online
Miejsce	Kanały sprzedaży obejmować mogą m.in. sklepy, online, w modzie omnichannel; (sklep +aplikacja)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Forecast: Employment in Wearing Apparel Sectorin, Poland, Pozyskano z: <https://www.reportlinker.com/dataset/e537043c69dd72a58afc4127ffea5408e19f277>

Opracowanie modelu 7W nie jest jedynie akademickim ćwiczeniem, jest potrzebnym i strategicznym działaniem, które pomaga wybrać właściwy produkt wraz z jego komponentami, aby zoptymalizować sprzedaż i zwiększyć zyski. Wykorzystanie tej zasady w praktyce

– nie tylko oznacza oszczędności ale także właściwą realizację zadań logistycznych. 7W to niezawodne narzędzie, które pomaga skutecznie zarządzać każdym etapem procesu biznesowego od produkcji po dostarczenie produktu do klienta – to właśnie na tej zasadzie opiera się współczesna logistyka także w branży mody.

Ostatecznie, logistyka w branży mody działa pod presją sezonowości, zależności od gustów jednostek, oscyluje pomiędzy indywidualnością masowością - pokonuje wyzwania takie jak: zmienność trendów, wysokie oczekiwania klientów. Logistyka ta daleko bardziej wykracza poza zwykłą dostawę towarów. Tabela 4 prezentuje podstawowe obszary zadań logistyki mody.

Tabela 4. Logistyka w branży mody

Obszar	Charakterystyka
Logistyczna Obsługa klienta	wpływa bezpośrednio na doświadczenie klienta takie jak skompletowanie zamówień, terminową wysyłkę, system śledzenia paczek i obsługa zwrotów. Zwiększa lojalność i wpływa na wizerunek marki co ma szczególne znaczenie w branży mody
Prognozowanie popytu	Moda charakteryzuje się dużą zmiennością trendów i sezonowością sprzedaży. Analiza zachowania klientów pozwala ograniczyć nadprodukcję i minimalizować odpady.
Przepływ informacji	W branży modowej przepływ informacji między projektantem, działem produkcji, dostawcami i klientami końcowymi musi być szybki i precyzyjny jest to ważne dla stanów magazynowych, realizacji zamówień, planowania transportu.
Kontrola zapasów	Jest to jeden z kluczowych elementów logistyki – nadmierne zapasy oznaczają zamrożony kapitał i utraty wartości towaru np. po zakończeniu sezonu. Z kolei zbyt małe zapasy prowadzą do braków magazynowych i utraty klientów – w modzie, ze względu na sezonowość ważne jest zarządzanie krótkimi seriami.
Czynności mani- pulacyjne	Ważne jest troska o estetykę i jakość produktów- ważne jest stosowanie wieszaków transportowych, pokrowców ochronnych i systemów pakowania.
Realizacja zamówień	W firmach modowych logistyka odpowiada za pełny cykl realizacji zamówienia od momentu jego złożenia do doręczenia.
Zaopatrzenie	Obejmuje m.in. wybór i współpracę z dostawcami tkanin, dodatków i opakowań, system dostaw. Istotne kwestie w zaopatrzeniu to terminowość i jakość
Magazynowanie	składowanie odzieży i akcesoriów wymaga przestrzegania warunków, które zapobiegają zniszczeniu lub deformacji ubrań

Źródło: opracowanie własne

Logistyka w branży mody pełni funkcję relacji między klientem a rynkiem - co zapewnia płynny przepływ materiałów, produktów gotowych, odpadów jak i informacji. Brak logistyki w branży modowej to m.in.:

- chaos w dostawach m.in. brak synchronizacji między projektantami, producentami sieciami detalicznymi, straty sprzedażowe, przeterminowane trendy,
- marnotrawstwo, niedobory, nadprodukcja lub braki towarów,
- wyższe koszty, przestoje, ryzyko utraty klientów, niższa konkurencyjność.

Branża modowa dzięki logistyce może rozwijać się dynamicznie, sprawnie i efektywnie reagować na potrzeby rynku i redukować straty. Należy też pamiętać że logistyka wspiera

green i slow fashion w obszarach takich jak transport niskoemisyjny, recykling ubrań i opakowań. Lokalne centra dystrybucyjne ograniczają ślad węglowy.

Logistyka w mikroprzedsiębiorstwach branży mody – wyniki badań

Badania empiryczne były zrealizowane w okresie od II-V 2025 roku, obejmowały wywiady i ankiety badawcze, dystrybuowane bezpośrednio lub e-mailowo wśród 58 przedsiębiorstw branży mody, mających swoje siedziby w południowej Polsce. Z różnych względów a przede wszystkim w celu zachowania tajemnicy przedsiębiorstw i potencjału konkurencyjności, badani nie wyrazili zgody na ujawnienie danych firm. Ankieta badawcza zawierała metryczkę, która opisuje profil badanych przedsiębiorstw i właściciela.

Celem badań było zdefiniowanie sposobu organizacji procesów logistycznych w mikroprzedsiębiorstwach branży mody, problemów, strategii i planów w zakresie logistyki. Na podstawie przeglądu literatury, charakterystyki sektora mody oraz specyfiki logistyki w branży TCLF sformułowano następujące hipotezy badawcze:

H1: W mikrofirmach branży mody poziom zaawansowań logistycznych ma istotny wpływ na efektywność operacyjną przedsiębiorstw,

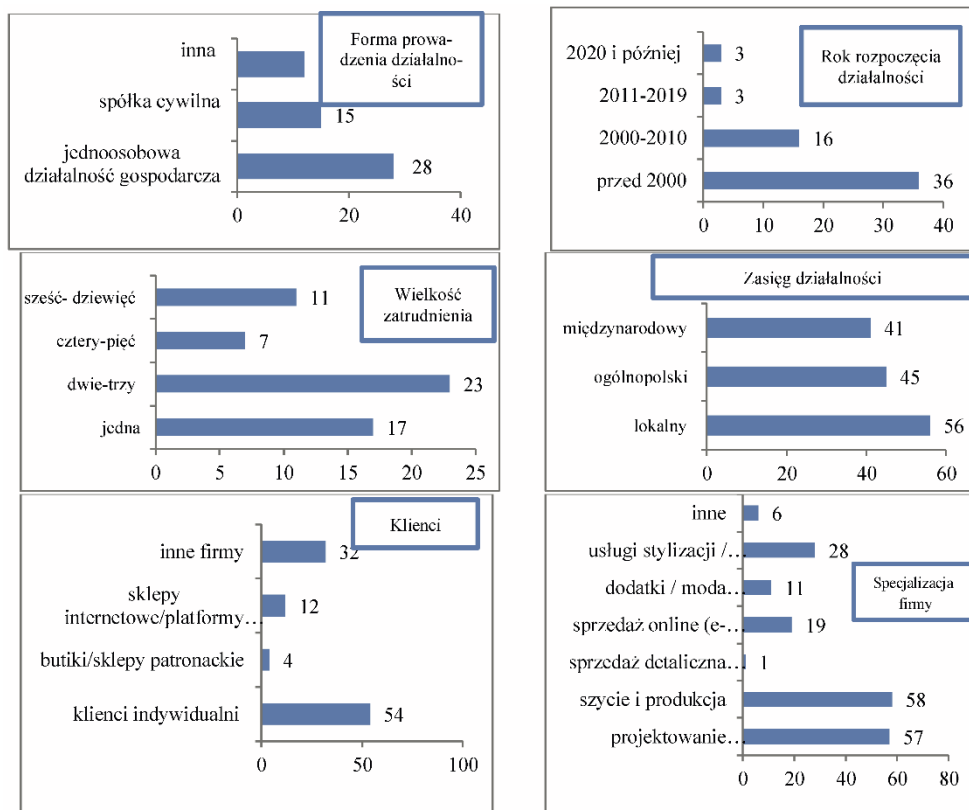
H2: Mikrofirmy branży mody, które wykorzystują narzędzia cyfrowe osiągają wyższy poziom satysfakcji klientów niż firmy, które takich rozwiązań nie stosują,

H3: Głównymi barierami rozwoju logistyki w mikroprzedsiębiorstwach branży mody są ograniczenia finansowe.

Do analizy w opracowaniu zastosowano statystykę opasową (liczby i procenty), testy statystyczne (głównie test chi-kwadrat, V Cramera dla kategorii jednokrotnego wyboru oraz rang Spearmana dla pomiaru relacji między zmiennymi). Trafność badania jest wysoka - pytania bezpośrednio mierzą kluczowe aspekty branży mody i logistyki, podobnie jest wysoka trafność treściowa. Rzetelność badania jest wysoka, odpowiedzi respondentów charakteryzują się wysoką spójnością, spójne sumy 100% odpowiedzi sugerują ich kompletność i brak znaczących luk.

W grupie badanych dominują przedsiębiorstwa prowadzone przez jednoosobowych przedsiębiorców zajmujących się projektowaniem, szyciem i produkcją odzieży, obsługujących klientów indywidualnych i inne firmy, zatrudniających kilka osób, z ponad 20-letnim doświadczeniem (rys. 1).

Analizując udzielone odpowiedzi respondentów warto wskazać, że motywacje wewnętrzne i czynniki pozaekonomiczne takie jak pasja i kreatywność to siła napędowa badanych. Dla badanych moda to sztuka (51 osób), a nie tylko działanie i zarobek. Poza tym wyraźnie wskazywano na rodzinne tradycje a także na wolność tworzenia (21 osób). Wśród działań logistycznych, które najczęściej wskazywali badani były: zakupy i dostawy materiałów (100% badanych firm) a także drugie życie logistyki czyli kosztowna, ale nieunikniona obsługa zwrotów i reklamacji (94%). Najważniejszą zaletą i beneficjentem logistyki jest szybka realizacji zamówień i lepsza obsługa klientów, a nie tylko oszczędności. Niewystarczająca liczba pracowników, e-commerce a także obsługa zwrotów tworzą wąskie gardło stanowią największy problem logistyki badanych przedsiębiorstw. Wśród badanych przedsiębiorstw dominuje outsourcing, Just in Tme (bieżącego planowania dostaw) a także sezonowość mody. E-commerce, ekologistyka i digitalizacja zdominowały plany rozwojowe badanych przedsiębiorstw.



Rysunek 1. Metryczka – profil badanych przedsiębiorstw

Źródło: opracowanie własne

Tabela. 5. Odpowiedzi respondentów

Główna motywacja do prowadzenia działalności w branży mody?	
Pasja i kreatywność	51
Kontynuacja tradycji rodzinnej	19
Możliwość pracy na własnych zasadach	21
Względędy ekonomiczne	27
Inne	11
Jakie działania logistyczne są realizowane Pani/Pana firmie?	
Zakupy i dostawy materiałów do produkcji	58
Magazynowanie tkanin i wyrobów gotowych	41
Transport do klientów lub sklepów	12
Obsługa zwrotów i reklamacji	54
Wysyłka zamówień internetowych	19
Inne	11

Jakie są największe korzyści z dobrze zorganizowanej logistyki w Pana/Pani firmie?	
Szybsza realizacja zamówień	55
Lepsza obsługa klientów i mniejsza liczba błędów	43
Oszczędność czasu i kosztów	21
Większa kontrola nad stanami magazynowymi	18
Możliwość zwiększania sprzedaży online	24
Większa elastyczność wobec zmian w popycie	24
Inne	11
Jakie problemy logistyczne najczęściej występują w Pani/Pana firmie?	
Opóźnienia w dostawach materiałów	12
Brak miejsca do przechowywania towarów	25
Wysokie koszty transportu	28
Trudności w obsłudze zamówień internetowych	35
Niewystarczająca liczba pracowników	38
Problemy z organizacją zwrotów i reklamacji	33
Brak odpowiedniego oprogramowania, ludzi, narzędzi, IT	21
Inne	11
Jakie strategie logistyczne stosuje Pani/Pana firma?	
Współpraca a firmami kurierskimi lub logistycznymi	56
Samodzielny transport i dostawy	11
Planowanie dostaw na bieżąco	32
Tworzenie zapasów sezonowych	23
Wykorzystanie systemów informatycznych np. ERP, CRM	18
Korzystanie z magazynów zewnętrznych	19
Brak specjalizowanej strategii logistycznej	11
Inne	8
Jakie zmiany w logistyce planuje Pan/Pani wprowadzać w najbliższych latach?	
Automatyzacja procesów (np. systemy do śledzenia przesyłek, magazynowanie)	31
Skrócenie czasu dostaw i lepsza współpraca z dostawcami	14
Wprowadzenie rozwiązań proekologicznych np. opakowania z recyklingu	38
Wzrost sprzedaży online i rozwój logistyki e-commerce	38
Szkolenia	21
Brak planów zmian w tym zakresie	8
Inne	7

Źródło: opracowanie własne

Zadania logistyczne w badanych mikroprzedsiębiorstwach obejmowały:

- magazynowanie, ze względu na ograniczone zasoby przestrzenne i finansowe utrudniając efektywne zarządzanie magazynem,
- zarządzanie zwrotami, ich wysoki odsetek ze zwrotów e-commerce wymaga sprawnych procesów logistycznych co stanowi wyzwanie dla małych firm,
- dystrybucja, która jest związana z korzystaniem obcych flot, brak własnej floty zmusza do korzystania z usług firm zewnętrznych co może zwiększać koszty.

Krótki cykl życia produktów i fakt, że fasony ubrań szybko wychodzą z mody, konieczność szybkiej reakcji na trendy, niesprzedane produkty to problemy badanych przedsiębiorstw. Wymuszają one m.in. błyskawiczne procesy projektowania, produkcji i dostaw

a także problemy z nadprodukcją i niesprzedanym towarem. Innym problemem jest zarządzanie zapasami i trudności z dokładnym prognozowaniem popytu, kiedy zależy od zmiennych upodobań i gustu klienta, ryzyko zalegania towaru w magazynie lub jego braku w kluczowym momencie a także brak miejsca magazynowanego. Wysoki odsetek zwrotów w e-commerce nawet 30-50% w modzie to koszty związane z odbiorem, przyjęciem i ponownym wprowadzeniem do sprzedaży to źródło problemów organizacyjnych w małych firmach, które nie posiadają własnych systemów obsługi zwrotów. Innym problemem jest zrównoważony rozwój i stale rosnące i kosztowne oczekiwania na ekologiczne opakowania, krótkie łańcuchy dostaw i przejrzystość a także konieczność wdrażania rozwiązań green logistics, które generują dodatkowe koszty.

W toku przeprowadzonych badań hipotezy badawcze H1 i H2 zostały zweryfikowane pozytywnie a H3 negatywnie. Wąskie gardło w badanych firmach powstaje przede wszystkim na skutek braków kadrowych. Uwzględniając miary asocjacji testy statystyczne ujawniły następujące relacje między zmiennymi, które prowadzą do następujących wniosków:

- Starsze firmy z doświadczeniem rynkowym powyżej 10 lat doświadczenia częściej mają zasięg międzynarodowy podczas gdy firmy młodsze mają doświadczenie lokalne (potwierdzają to test chi-kwadrat $X^2 = .18,42$; $df = 6$, $p = 0,005$; V Cramera = 0,40 pokazują umiarkowanie silną zależność),
- Jednoosobowe firmy z 1-3 osób zatrudnionych mają większą skalę operacyjną (test chi-kwadrat $X^2 = .22,11$; $df = 6$, $p = 0,001$; V Cramera = 0,44 pokazują silną zależność),
- E-commerce mikroprzedsiębiorstw branży mody jest siłą napędową ich logistyki (test chi-kwadrat $X^2 = .12,04$; $df = 1$, $p < 0,001$; V Cramera = 0,39 pokazują umiarkowaną zależność),
- Produkcja odzieży wykazuje wąskie gardło kadrowe (test proporcji $p = 0,002$),
- Ekoświadomość wśród badanych przedsiębiorstw wzrasta przy czym wdrożenie versus deklaracje wymaga podejmowania bardziej śmiałych działań (test chi-kwadrat $X^2 = .8,91$; $df = 2$, $p = 0,012$; V Cramera = 0,39 pokazują umiarkowaną zależność).

Podsumowując uzyskane wyniki wskazują że pasja tworzenia to siła napędowa mikroprzedsiębiorstw branży mody, wąskim gardłem jest personel, a logistyka ma służyć klientowi a nie oszczędności. Logistyka zaś wymaga doinwestowania w zakresie: gospodarki zwrotami, e-commerce, ekologistyki i automatyzacji.

Podsumowanie

Polskie mikroprzedsiębiorstwa z branży mody funkcjonują w bardzo konkurencyjnym środowisku – zarówno lokalnym, jak i globalnym. Ich pozycja wobec zagranicznych podmiotów jest osłabiona pod względem skali działania, budżetów marketingowych i wydajności logistyki, ale wyróżniają się w obszarze jakości, autentyczności i wartości etycznych. Są elastyczne i często działają bliżej klienta, ale ich logistyka jest chaotyczna, chociaż coraz częściej zautomatyzowana, a koszty zoptymalizowane.

Założony cel opracowania został osiągnięty a zidentyfikowanymi cechami charakteryzującymi mikropodmioty jest chęć tworzenia, budowanie rodzinnych przedsiębiorstw a podstawowe wyzwania definiuje klient. Logistyka jest skupiona wokół zaopatrzenia, produkcji i obsługi klienta i obsługi sprzedaży e-commerce.

Aby pokonać wyzwania wynikające z logistyki w badanych mikrofirmach branży mody zaleca się wdrożenie prostych systemów zarządzania magazynem wspomagane narzędziami takie jak np. darmowe lub tanie narzędzia WMS a także oznaczenie produktów i lokalizacji magazynowych etykiety, kody QR, prosty system regałowy. Platformy e-commerce i integracja logistyki, arkusze Google z automatyzacją do śledzenia zamówień, kontrolowania stanów a także automatycznego powiadamiania klientów.

Model pre-order i szycie na zamówienie, partnerstwa logistyczne z np. Apaczką, Furgo-netką, poprzez współpracę z lokalnymi krawcowymi i pracownikami pozwoli na szybka reakcję na popyt i niskie koszty magazynami. Wspólne magazyny z innymi mikrofirmami, kooperatywy zakupowe (wspólne zamawianie materiałów, obniżenie kosztów transportu i dostaw) a także ekologiczne opakowania z minimalną logistyką np. koperty kartonowe bez używania plastiku. Uczestnictwo w targach mody i inicjatywach międzynarodowych, wykorzystanie platform e-commerce z eksportem, współpraca z polskimi influencerami i ambasadorkami marki to możliwość budowania storytellingu opartego na historii i wartościach firmy. Zarówno rozszerzenie próby badawczej, jak i zakresu badań pokazują zależność procesów personalnych z logistycznymi dlatego należy uznać jako pożądany kierunek kontynuacji badań.

Bibliografia

- Apparel Market (2025 - 2030), Pozyskano z: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/apparel-market-report>
- Aspers P. , Godart F. (2013). Sociology of Fashion: Order and Change. Annual Review of Sociology. 39. 171-192. 10.1146/annurev-soc-071811-145526. Pozyskano z: https://www.researchgate.net/publication/234146860_Sociology_of_Fashion_Order_and_Change
- Blaik J., Logistyka. Koncepcja zintegrowanego zarządzania, PWE, Warszawa, 2001
- Fashion Industry, Pozyskano z: <https://www.ebsco.com/research-starters/social-sciences-and-humanities/fashion-industry>
- Forecast: Employment in Wearing Apparel Sector in Poland, Pozyskano z: <https://www.reportlinker.com/dataset/e537043c69dd72a58afcf4127ffea5408e19f277>
- Harriet M., How Fashion and Beauty Shape Our Social Identity: A Deep Dive into Cultural Sociology Pozyskano z: <https://sociologyinc.com/how-fashion-and-beauty-shape-our-social-identity-a-deep-dive-into-cultural-sociology/>
- Julian, J. (1969). Some Determinants of Dissensus on Role Prescriptions Within and Between Four Organizational Positions. The Sociological Quarterly, 10(2), 177–189. Pozyskano z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1533-8525.1969.tb01283.x>
- Mckinsey, State of Fashion report archive (2017-2024), Pozyskano z: <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/state-of-fashion-archive>
- Moczydłowska J., Moda. Teoria i praktyka, Warszawa ASP 2011
- Pan Y., Roedl, D., Thomas, J. C., & Blevis, E. (2015). Fashion thinking: Fashion practices and sustainable interaction design. International Journal of Design, 9(1), 53-66. Pozyskano z: <https://www.ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/1372/675>

- PARP, Moda nadal modna – PARP publikuje najnowszy raport na temat branży, 2023, Pozyskano z: <https://www.parp.gov.pl/component/content/article/84925:moda-nadal-modna-parp-publikuje-najnowszy-raport-na-temat-branzy>
- Płonka M., Moda w ujęciu kulturoznawczy, Kraków wyd. UJ 2018
- PolskiPrzemysl.pl, 66% zatrudnionych w przemyśle tekstylnym, odzieżowym, skórzanym i obuwniczym (TCLF) to kobiety, 2019, Pozyskano z: <https://polskiprzemysl.com.pl/przemysl-tekstylny/>
- Sellerberg A.M., Aspers, Patrik. (2015). Fashion, Sociology of. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. 10.1016/B978-0-08-097086-8.32059-1. Pozyskano z: https://www.researchgate.net/publication/304183558_Fashion_Sociology_of
- Simmel G., Fashion, American Journal of Sociology 1957 62:6, 541-558 Pozyskano z: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/222102>
- Sociology of Fashion, Pozyskano z: https://www.sociologyguide.com/sociology_of_fashion/index.php
- Uniform Market, Global Apparel Industry Statistics: Market Size and Trends (2025), Pozyskano z: <https://www.uniformmarket.com/statistics/global-apparel-industry-statistics>
- Zrównoważona moda. Teoria i praktyka. Łódź. Wyd. PŁ 2022

Adres do korespondencji: jnowicka@ans.edu.pl

ORCID: Joanna Nowicka 0000-0002-2826-6244

MODELOWANIE EMISJI CO₂ W SYSTEMACH KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ W MIEŚCIE OLSZTYN

Piotr Szczygłak¹, Piotr Markowski¹, Dariusz Choszcz¹

¹ Katedra Pojazdów i Maszyn, Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wstęp

Działania na rzecz ochrony środowiska naturalnego jakie podjęła Komisja Europejska pn. „Europejski Zielony Ład” zakładają, że do roku 2050 gospodarka europejska ma osiągnąć neutralność klimatyczną. Jednym z kluczowych sektorów gospodarki, który będzie musiał zmierzyć się z tym wyzwaniem jest sektor transportowy. W sektorze transportowym w Polsce w latach 2005-2017 zaobserwowano wzrost emisji dwutlenku węgla (CO₂) o 76% i zakłada się, że ta tendencja może jeszcze potrwać wiele lat. W tym samym okresie w UE odnotowano spadek emisji o 3%. W prognozach dla krajowego sektora transportowego zakłada się, że redukcja CO₂ w roku 2050, w stosunku do emisji z roku 2005, wyniesie od 2 do 12% (scenariusze TechPro i ProETSeq). Natomiast według scenariusza ETSeq w 2050 roku emisja CO₂ w sektorze transportowym w Polsce osiągnie poziom 46% w porównaniu do roku 2005¹. Można uznać, że przedstawione prognozy nie są optymistyczne.

Jednym ze sposobów obniżenia emisji CO₂ jaki zaleca KE jest korzystanie z transportu zbiorowego². Zakłada się, że w 2050 roku 70% eksploatowanych pojazdów będzie poruszać się w środowisku miejskim, a liczba wszystkich użytkowanych pojazdów wzrośnie dwukrotnie³. Dlatego działania mające na celu redukcję emisji CO₂ przez pojazdy komunikacji zbiorowej są szczególnie ważne.

Komunikacja zbiorowa w mieście Olsztyn oparta jest na 2 rodzajach środków transportowych jakim są autobusy wyposażone w silniki spalinowe głównie z zapłonem samoczynnym i tramwaje o napędzie elektrycznym. Sposób emisji CO₂ przez te pojazdy różni się. Tramwaje globalnie emitują CO₂, ale nie przyczyniają się do wzrostu zanieczyszczeń na terenach zurbanizowanych. W przypadku autobusów mamy do czynienia z emisją bezpośrednią (Tank-to-Wheel), która występuje w miejscu użytkowania pojazdu. Emisja bezpośrednia

¹ Rabiega W. P., Sikora P., Ścieżki redukcji emisji CO₂ w sektorze transportu w Polsce w kontekście „EUROPEJSKIEGO ZIELONEGO ŁADU”, Centrum Analiz Klimatyczno-Energetycznych, Warszawa 2020

² Komisja Europejska, Ambitniejszy cel klimatyczny Europy do 2030 r. Inwestowanie w przyszłość neutralną dla klimatu z korzyścią dla obywateli, Bruksela 2020

³ Biszko K., Oskarbski J., Modelowanie emisji z wykorzystaniem symulacji mikroskopowych, Transport miejski i regionalny 05/2022, s. 18-25, 2022

w przypadku tramwajów jest zerowa, ponieważ należą one do grupy pojazdów bezemisyjnych (*Zero-Emission Vehicle*). Podejście to jest nieobiektywne, ponieważ faworyzuje pojazdy z napędem elektrycznym, nie uwzględniając śladu węglowego generowanego podczas produkcji energii. W celu porównania emisji CO₂ tych dwóch środków transportu należy określić emisję w cyklu życia (*Well-to-Wheel*). W tym przypadku dodatkowo dla autobusów uwzględnia się emisję powstałą w czasie wydobywania ropy naftowej, produkcji paliwa oraz jego transportu do miejsca tankowania. Dla tramwajów wyznacza się emisję związaną z wytworzeniem i przesyłem energii elektrycznej⁴.

Emisja CO₂ generowana przez autobusy komunikacji miejskiej jest proporcjonalna do ilości zużytego paliwa. Do czynników wpływających na wielkość tej emisji zaliczyć można:

- technologię zastosowaną przy budowie pojazdu (pojazdy spełniające wyższe normy emisji spalin są bardziej efektywne energetycznie i emitują mniej zanieczyszczeń)⁵,
- warunki drogowe (częste postoje w korkach oraz poruszanie się po nawierzchni o wyższych oporach toczenia powodują znaczący wzrost emitowanych zanieczyszczeń),
- styl jazdy (ekonomiczny styl jazdy może spowodować spadek zużycia paliwa nawet o 10% i proporcjonalnie zmniejszyć emisję zanieczyszczeń)⁶,
- topografia terenu i obciążenie pojazdu (ruch w terenie górzystym przy dużej liczbie pasażerów zwiększa emisję zanieczyszczeń),
- wykorzystanie systemów pokładowych (funkcjonująca klimatyzacja i ogrzewanie mogą zwiększyć zużycie paliwa, co przekłada się na zwiększoną emisję zanieczyszczeń nawet o kilkanaście procent)⁷.

Emisja CO₂ generowana przez tramwaje jest proporcjonalna do zużytej energii. Do czynników wpływających na wielkość tej emisji zaliczyć można:

- technologię wytwarzania energii elektrycznej (jeśli energia pozyskiwana jest z paliw kopalnych to ślad węglowy jest duży, a jeśli pochodzi z odnawialnych źródeł energii może być bliski zeru)⁸,
- sprawność pojazdu i infrastruktury (wysokosprawne układy napędowe tramwaju i stacji zasilających przyczyniają się do spadku emisji zanieczyszczeń)⁹,
- systemy odzyskiwania energii (zastosowanie skutecznej rekuperacji może obniżyć całkowite zużycie energii nawet do 30%)¹⁰.

⁴ Chester M. V., Horvath A., Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains, *Environmental Research Letters* (4), s. 1-8, 2009

⁵ Merkisz J., Radzimirski S., Nowe przepisy unii europejskiej o emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych, *Transport Samochodowy*, s. 41-10, 2011

⁶ Barkenbus J. N., Eco-driving: An overlooked climate change initiative, *Energy Policy* 38(2), s. 762-769, 2010

⁷ Bajerlein M., Rymanik Ł., Michalak D., Wpływ zastosowania różnych rozwiązań układów klimatyzacji na energochłonność autobusu miejskiego, *Combustion Engines*, 154(3), s. 722-727, 2013

⁸ Gołębiowski P. i in., Optymalny miks energetyczny dla Polski do roku 2060 — model DAS, Warszawa 2013

⁹ Bartłomiejczyk M., Połom M., Wpływ przestrzennego zróżnicowania systemu zasilania sieci trakcyjnej na energochłonność komunikacji trolejbusowej, *Aspekty planistyczno-ekonomiczne, Logistyka* 6, s. 1735-1744, 2014

¹⁰ Solarek T., Badania efektów energetycznych hamowania rekuperacyjnego w trakcji tramwajowej, *TTS Technika Transportu Szynowego* 3, s. 57-59, 2006

Efektywną redukcję emisji CO_2 w przypadku pojazdów komunikacji miejskiej można osiągnąć:

- modernizując lub odnawiając flotę pojazdów,
- modernizując infrastrukturę drogową lub tramwajową,
- organizując szkolenia z eco-drivingu i zarządzania eksploatacją pojazdów,
- optymalizując trasy przejazdów i efektywnie zarządzając ruchem w mieście,
- stosując biopaliwa,
- dekarbonizując miks energetyczny,
- stosując efektywniejsze systemy rekuperacji energii.

Celem pracy jest budowa modelu emisji CO_2 przez autobusy i tramwaje komunikacji miejskiej. Obliczenia z użyciem modelu pozwolą pozyskać wiedzę do oceny systemu transportowego w mieście Olsztyn opartego na autobusach z silnikami wysokoprężnymi i tramwajach elektrycznych. Wiedza ta pozwoli na podejmowanie decyzji związanych ze świadomym modyfikowaniem systemów transportowych w mieście Olsztyn zorientowanych na redukcję emisji zanieczyszczeń. Dodatkowo model zostanie wykorzystany w procesie kształcenia kadry odpowiedzialnej za rozwój systemów transportowych.

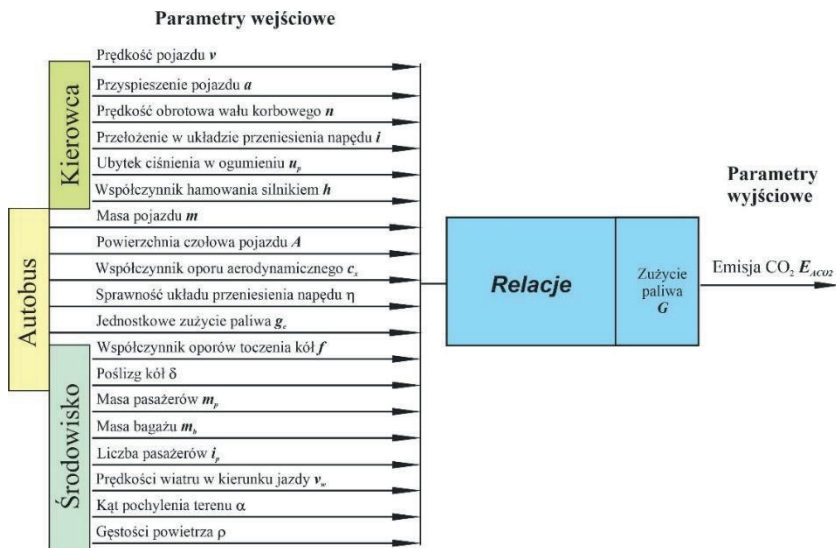
Model emisji CO_2 w systemach komunikacji zbiorowej w mieście Olsztyn

Model emisji CO_2 w systemach komunikacji zbiorowej opracowano przy założeniach:

- model jest rozwinięciem modelu zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej zaprezentowanym w pracy Szczygłak i inni¹¹,
- model pozwala oszacować całkowitą emisję CO_2 dla zadania transportowego realizowanego przez autobusy E_{ACO_2} i tramwaje E_{TCO_2} użytkowane w warunkach miejskich,
- emisję CO_2 dla zadania transportowego z użyciem autobusu wyznaczono w oparciu o zużycie paliwa G ,
- emisję CO_2 dla zadania transportowego z użyciem tramwaju wyznaczono w oparciu o zużycie energii pobranej z elektrowni E_g ,
- zużycie energii elektrycznej i paliwa dla zadania transportowego oszacowano w oparciu o chwilową moc obciążającą wały silników napędowych $P(t, t+\Delta t)$,
- emisja CO_2 została oszacowana na podstawie parametrów charakteryzujących konstrukcję pojazdów, warunki środowiska roboczego i styl prowadzenia pojazdów przez kierowcę oraz cechy infrastruktury przesyłowej energii elektrycznej,
- model da się zapisać cyfrowo, co pozwoli na wykonywanie efektywnych obliczeń z jego użyciem.

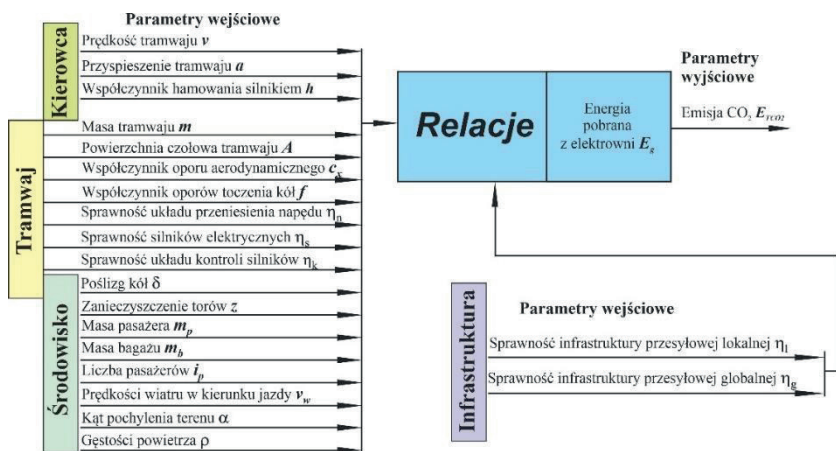
Na rysunku 1 przedstawiono strukturę modelu do szacowania emisji CO_2 przez autobusy wyposażone w silniki spalinowe z zapłonem samoczynnym, a na rysunku 2 przez tramwaje.

¹¹ Szczygłak P., Markowski P., Choszcz D., Modelowanie zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej, Monografia Naukowa, Technika i ekonomia w procesach transportowych, Przemysł, s. 381-406, 2024



Rysunek 1. Struktura modelu do szacowania emisji CO₂ przez autobus z silnikiem wysokoprężnym użytkowany w warunkach miejskich

Źródło: opracowanie własne na podstawie¹²



Rysunek 2. Struktura modelu do szacowania emisji CO₂ przez tramwaj użytkowany w warunkach miejskich

Źródło: opracowanie własne

¹² Szczygłak P., Markowski P., Choszcz D., Modelowanie zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej, Monografia Naukowa, Technika i ekonomia w procesach transportowych, Przemysł, s. 381-406, 2024

Równania (1-8) na moc obciążającą wały korbowe silników wyprowadzono na podstawie równań zamieszczonych w pracach autorów Dajniak¹³, Domek¹⁴ oraz Szczygłak i inni¹⁵.

Równanie na moc obciążającą wały korbowe silników P w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P(t, t + \Delta t) = \frac{\sum_{i=1}^5 P_i(t, t + \Delta t)}{\eta_n} \text{ (kW)} \quad (1)$$

gdzie:

- η_n – sprawność układu przeniesienia napędu,
 $P_i(t, t+\Delta t)$ – i-ta składowa mocy obciążającej wały korbowe silników, (kW)

Równanie na moc zużywaną na pokonanie oporów toczenia P_1 w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_1(t, t + \Delta t) = \frac{k \cdot \overline{f(t, t + \Delta t)} \cdot g \cdot (m + (m_p + m_b) \cdot i_p) \cdot \overline{v(t, t + \Delta t)}}{3600} \text{ (kW)} \quad (2)$$

gdzie:

- k – współczynnik wzrostu oporów toczenia kół spowodowany zanieczyszczeniem torów (tramwaj) lub obniżeniem ciśnienia w oponach (autobus),
 $f(t, t+\Delta t)$ – współczynnik oporów toczenia kół w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$,
 g – przyspieszenie ziemskie, ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
 m – masa tramwaju, (kg)
 m_p – masa pasażera, (kg)
 m_b – masa bagażu, (kg)
 i_p – liczba pasażerów, (szt.)
 $v(t, t+\Delta t)$ – prędkość tramwaju lub autobusu w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$. ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)

Współczynnik wzrostu oporów toczenia kół autobusu k opisano równaniem (równanie wyznaczono na podstawie wyników badań Szczygłak i inni^{15, 16}):

$$k = 0,00411 \cdot u_p + 1 \quad (3)$$

gdzie:

- u_p – procentowy ubytek ciśnienia w ogumieniu pneumatycznym, (%)

¹³ Dajniak H., Ciągniki. Teoria ruchu i konstruowanie, WKiŁ, Warszawa, 1985

¹⁴ Domek M., Opory ruchu pojazdu oraz minimalizacja oporów toczenia, Napędy i sterowanie, R. 19 Nr 12, s. 96-100, 2017

¹⁵ Szczygłak P., Markowski P., Choszcz D., Modelowanie zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej, Monografia Naukowa, Technika i ekonomia w procesach transportowych, Przemysł, s. 381-406, 2024

¹⁶ Szczygłak P., Napiórkowski J., Rykowski K., Wpływ ciśnienia w ogumieniu na opory toczenia kół pojazdów, Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 6, s. 1161-1165, 2016

Współczynnik wzrostu oporów toczenia kół tramwaju k opisano równaniem (równanie wyznaczono na podstawie wyników badań Wrzecioniarz P. A. i inni¹⁷):

$$k = 0,04 \cdot z + 1 \quad (4)$$

gdzie:

z – zanieczyszczenie torów, (%)

W tabeli 1 przedstawiono wartości współczynnika oporów toczenia kół tramwaju po szynach.

Tabela 1. Wartości współczynnika oporów toczenia kół stalowych po szynach

Para kinematyczna	Współczynnik oporu toczenia
Stalowe koła – szyny stalowe	0,001-0,002
Koła tramwajowe – zabrudzone szyny stalowe	0,005

Źródło: (opracowanie własne na podstawie: Wrzecioniarz P. A. i inni¹⁷)

Równanie na moc zużywaną na przyspieszenie P_2 w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_2(t, t + \Delta t) = \begin{cases} \frac{v(t+\Delta t) - v(t)}{\Delta t} \geq 0 \leftrightarrow \frac{(m + (m_p + m_b) \cdot i_p) \cdot \frac{v(t+\Delta t) - v(t)}{\Delta t} \cdot \overline{v(t, t + \Delta t)}}{3600} \\ \frac{v(t+\Delta t) - v(t)}{\Delta t} < 0 \leftrightarrow \frac{h \cdot (m + (m_p + m_b) \cdot i_p) \cdot \frac{v(t+\Delta t) - v(t)}{\Delta t} \cdot \overline{v(t, t + \Delta t)}}{36000} \end{cases} \text{ (kW)} \quad (5)$$

gdzie:

- m – masa pojazdu, (kg)
- m_p – masa pasażera, (kg)
- m_b – masa bagażu, (kg)
- i_p – liczba pasażerów, (szt)
- $v(t, t+\Delta t)$ – prędkość pojazdu w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, (km·h⁻¹)
- $v(t)$ – prędkość pojazdu w chwili czasu t , (km·h⁻¹)
- Δt – przedział czasu, (s)
- h – współczynnik hamowania silnikiem, (%)

Równanie na moc zużywaną na wjazd na wzniesienie P_3 w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_3(t, t + \Delta t) = \frac{(m + (m_p + m_b) \cdot i_p) \cdot g \cdot \overline{v(t, t + \Delta t)} \cdot \sin \alpha(t, t + \Delta t)}{3600} \text{ (kW)} \quad (6)$$

¹⁷ Wrzecioniarz P. A., Ambroszko W., Pindel A., Granice oporów ruchu w pojazdach. Opór toczenia, Autobusy 12, s. 256-259, 2018

gdzie:

- m – masa pojazdu, (kg)
- m_p – masa pasażera, (kg)
- m_b – masa bagażu, (kg)
- i_p – liczba pasażerów, (szt)
- g – przyspieszenie ziemskie, ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
- $v(t, t+\Delta t)$ – prędkość pojazdu w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
- $\alpha(t, t+\Delta t)$ – kąt pochylenia drogi w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, ($^\circ$)

Równanie na moc zużywaną na pokonanie oporów aerodynamicznych P_4 w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_4(t, t + \Delta t) = \frac{c_x \cdot \rho_p \cdot A \cdot \left(\overline{v(t, t+\Delta t)} + v_w(t, t+\Delta t) \right)^2 \cdot \overline{v(t, t+\Delta t)}}{93312} \text{ (kW)} \quad (7)$$

gdzie:

- c_x – współczynnik oporu aerodynamicznego,
- ρ_p – gęstość powietrza, ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- A – powierzchnia czołowa pojazdu, (m^2)
- g – przyspieszenie ziemskie, ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
- $v(t, t+\Delta t)$ – prędkość pojazdu w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
- $v_w(t, t+\Delta t)$ – prędkość wiatru w kierunku jazdy w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)

Równanie na moc zużywaną na poślizg kół P_5 w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_5(t, t + \Delta t) = \delta \cdot \sum_{i=1}^4 P_i(t, t + \Delta t) \text{ (kW)} \quad (8)$$

gdzie:

- δ – poślizg kół,
- $P_i(t, t+\Delta t)$ – i -ta składowa mocy obciążającej wał korbowy silnika, (kW)

Równanie na zużycie paliwa G przez autobus ma postać (wyprowadzono na podstawie równań zamieszczonych w pracy Szczygłak i inni¹⁸):

$$G = \sum_{t=0}^{t=n \cdot \Delta t} \frac{g_{en} \cdot \left(a - \frac{n(t, t+\Delta t)}{n_{nom}} + b \cdot \frac{n(t, t+\Delta t)^2}{n_{nom}^2} \right) \cdot \left(P(t, t+\Delta t) + \frac{1000 \cdot (a_1 \cdot n(t, t+\Delta t)^2 + a_2 \cdot n(t, t+\Delta t) + a_3) \cdot \rho_{pa}}{g_{en} \cdot \left(a - \frac{n(t, t+\Delta t)}{n_{nom}} + b \cdot \frac{n(t, t+\Delta t)^2}{n_{nom}^2} \right)} \right) \cdot \Delta t}{3600000 \cdot \rho_{pa}} \text{ (dm}^3\text{)} \quad (9)$$

gdzie:

- g_{en} – jednostkowe zużycie paliwa, ($\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}$)
- a, a_1, a_2, a_3, b – współczynniki w równaniu,
- $n(t, t+\Delta t)$ – prędkość obrotowa wału korbowego silnika w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, ($\text{obr} \cdot \text{min}^{-1}$)

¹⁸ Szczygłak P., Markowski P., Choszcz D., Modelowanie zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej, Monografia Naukowa, Technika i ekonomia w procesach transportowych, Przemysł, s. 381-406, 2024

- n_{nom} – nominalna prędkość obrotowa wału korbowego silnika, (obr·min⁻¹)
 $P(t, t+\Delta t)$ – moc obciążająca wał silnika autobusu w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, (kW)
 ρ_{pa} – gęstość paliwa, (kg·dm⁻³)
 Δt – przedział czasu, (s)

Równanie na prędkość obrotową wału korbowego silnika autobusu n w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać¹⁹:

$$n(t, t + \Delta t) = \frac{30 \cdot v(t, t + \Delta t)}{3,6 \cdot \pi \cdot r_d \cdot i(t, t + \Delta t)} \text{ (obr} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (10)$$

gdzie:

- $v(t, t+\Delta t)$ – prędkość pojazdu w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, (km·h⁻¹)
 r_d – promień dynamiczny koła napędowego, (m)
 $i(t, t+\Delta t)$ – przełożenie w układzie napędowym w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, (km·h⁻¹)

Równanie na energię zużywaną na pokonanie oporów ruchu przez tramwaj E_o w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$E_o(t, t + \Delta t) = \frac{P(t, t + \Delta t) \cdot \Delta t}{3600} \text{ (kWh)} \quad (11)$$

gdzie:

- $P(t, t+\Delta t)$ – moc obciążająca silniki tramwaju w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, (kW)
 Δt – przedział czasu, (s)

Równanie na energię zużyty na pokonanie oporów ruchu E_o :

$$E_o = \sum_{t=0}^{t=n \cdot \Delta t} E_o(t, t + \Delta t) \text{ (kWh)} \quad (12)$$

gdzie:

- $E_o(t, t+\Delta t)$ – energia oporów ruchu tramwaju w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, (kWh)
 n – liczba przedziałów czasowych,
 Δt – przedział czasu, (s)

Równanie na energię zużyty przez silniki napędowe tramwaju E_s :

$$E_s = \frac{E_o}{\eta_s} \text{ (kWh)} \quad (13)$$

gdzie:

- E_o – energia zużyta na pokonanie oporów ruchu tramwaju, (kWh)
 η_s – sprawność silników elektrycznych tramwaju

Równanie na energię zużyty przez tramwaj wykorzystaną na przemieszczenie E_r :

¹⁹ Szczygłak P., Markowski P., Choszcz D., Modelowanie zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej, Monografia Naukowa, Technika i ekonomia w procesach transportowych, Przemysł, s. 381-406, 2024

$$E_t = \frac{E_s}{\eta_k} \text{ (kWh)} \quad (14)$$

gdzie:

- E_s – energia zużyta przez silniki napędowe tramwaju, (kWh)
- η_k – sprawność układu kontrolującego silniki napędowe tramwaju

Równanie na energię pobraną przez lokalną infrastrukturę przesyłową dostarczającą prąd do tramwaju E_l :

$$E_l = \frac{E_t}{\eta_l} \text{ (kWh)} \quad (15)$$

gdzie:

- E_t – energia zużyta przez tramwaj wykorzystana na przemieszczenie, (kWh)
- η_l – sprawność lokalnej infrastruktury przesyłowej (stacja trakcyjna i lokalne linie przesyłowe).

Równanie na energię pobraną z elektrowni E_g :

$$E_g = \frac{E_l}{\eta_g} \text{ (kWh)} \quad (16)$$

gdzie:

- E_l – energia zużyta przez lokalną infrastrukturę dostarczającą prąd do tramwaju, (kWh)
- η_g – sprawność infrastruktury przesyłającej energię elektryczną z elektrowni do odbiorcy.

Emisja CO_2 wywołana realizacją zadania transportowego z użyciem tramwaju:

$$E_{TCO_2} = E_g \cdot W_{em} \text{ (kg)} \quad (17)$$

gdzie:

- E_g – energia pobrana z elektrowni, (kWh)
- W_{em} – wskaźnik emisyjności CO_2 dla energii elektrycznej, (kg $CO_2 \cdot kWh^{-1}$)

Emisja CO_2 wywołana realizacją zadania transportowego przez autobus:

$$E_{ACO_2} = G \cdot W_{ep} \text{ (kg)} \quad (18)$$

gdzie:

- G – zużycie paliwa (oleju napędowego) przez autobus, (dm³)
- W_{ep} – wskaźnik emisyjności CO_2 dla spalonego paliwa. (kg $CO_2 \cdot dm^{-3}$ NO)

Energia skumulowana w zużytym paliwie:

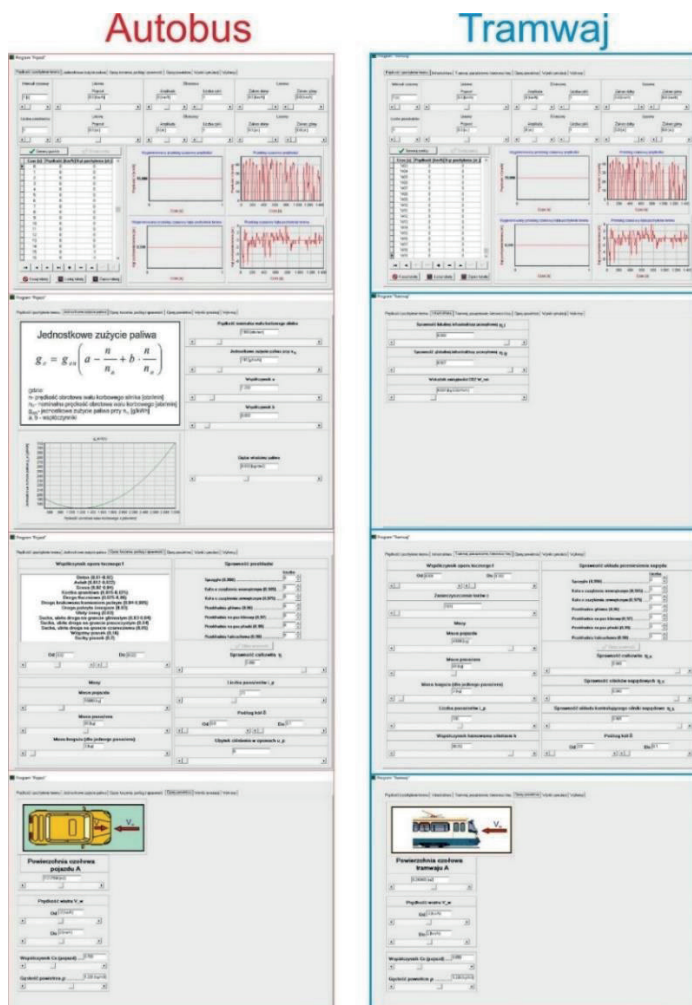
$$E_{ON} = 0,277778 \cdot G \cdot W_{ON} \text{ (kWh)} \quad (19)$$

gdzie:

- G – zużycie paliwa (oleju napędowego) przez autobus, (dm³)
- W_{ON} – wartość opałowa oleju napędowego, (MJ $\cdot dm^{-3}$)

Modele emisji CO₂ jaką generują autobusy i tramwaje zapisano cyfrowo w języku Pascal jako dwie odrębne aplikacje. W cyfrowych modelach zmienne wejściowe są deklarowane za pomocą interfejsów programów. W przypadku prędkości jazdy v i kąta pochylenia drogi α istnieje możliwość importu przebiegów czasowych tych parametrów z zewnętrznych źródeł. Dzięki temu rozwiązaniu obliczenia emisji CO₂ są wykonywane dla wartości parametrów, które zostały zarejestrowane w warunkach eksploatacyjnych. W cyfrowym modelu wyniki obliczeń są zapisywane do macierzy wynikowej, a także są wizualizowane w postaci wykresów.

Na rysunku 3 przedstawiono interfejsy graficzne deklaracji parametrów wejściowych w cyfrowych modelach emisji CO₂ przez autobusy i tramwaje.



Rysunek 3. Interfejsy graficzne cyfrowych modeli emisji CO₂ – karty deklaracji parametrów wejściowych

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 4 przedstawiono interfejsy graficzne z wynikami obliczeń i ich wizualizacją w cyfrowych modelach emisji CO_2 przez autobusy i tramwaje.

W rzeczywistych warunkach autobusy komunikacji miejskiej i tramwaje nie poruszają się po tych samych drogach. Autobusy prowadzone są po szosie, a tramwaje po torowisku. Celem jaki sobie postawiono jest porównanie emisji CO_2 generowanej przez autobusy i tramwaje realizujące takie same zadanie transportowe. W tym przypadku jedyną możliwością realizacji tak postawionego celu są badania z użyciem modeli. Przyjęto, że autobus i tramwaj będą poruszać się po takim samym torze, z taką samą dynamiką. Parametry te muszą odpowiadać rzeczywistym warunkom eksploatacji. Z tego powodu zdecydowano się na wykonanie obliczeń w oparciu o zarejestrowane w warunkach rzeczywistych przebiegi czasowe prędkości v i pochylenia drogi α . Przyjęto, że będą one zarejestrowane w czasie przejazdu autobusu komunikacji miejskiej w Olsztynie na jednej z miejskich tras. Zacerpnięto je z pracy Szczylgłak i inni²⁰ dotyczącej modelowania zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej. Przebiegi czasowe prędkości v i pochylenia drogi α zostały zarejestrowane w czasie eksperymentu biernego (w czasie przejazdu kierowca autobusu realizował zadanie transportowe zgodnie z rozkładem jazdy wymuszając odpowiedni kierunek jazdy i prędkość pojazdu).

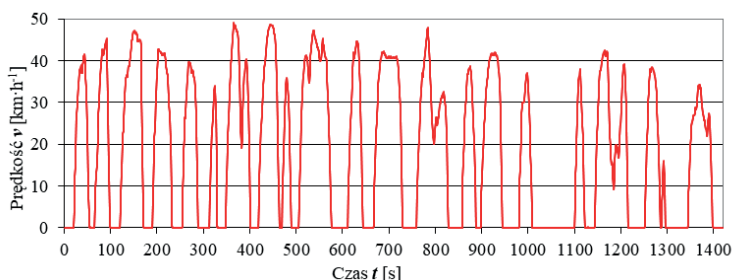


Rysunek 4. Interfejsy graficzne cyfrowych modeli emisji CO_2 – karty wynikowe

Źródło: opracowanie własne

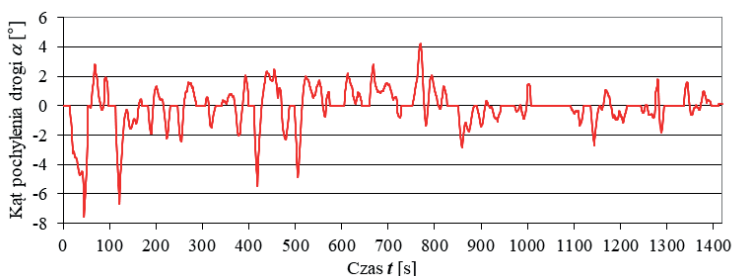
²⁰ Szczylgłak P., Markowski P., Choszcz D., Modelowanie zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej, Monografia Naukowa, Technika i ekonomia w procesach transportowych, Przemysł, s. 381-406, 2024

Przejazd w czasie rejestracji parametrów był wykonany przez autobus SOLARIS Urbino 12 poruszający się trasą przebiegającą przez ulice Olsztyna: Słoneczna – Aleja Warszawska – Tuwima – Synów Pułku – Kardynała Stefana Wyszyńskiego – Towarowa. Do rejestracji obserwowanych zmiennych użyto autorskiego systemu pomiarowego wykorzystującego sygnał z modułu GPS FGPMOPA4 (protokół NMEA0183 sekwencje: GGA, VTG i RMC). Dane były rejestrowane do pliku tekstowego z częstotliwością 1 Hz. Zarejestrowane przebiegi czasowe prędkości jazdy v i kąta pochylenia drogi α w funkcji czasu t przedstawiono na rysunkach 5-6. W czasie przejazdu autobus zatrzymał się 21 razy (czternaście razy pojazd zatrzymał się na przystanku autobusowym i siedem razy na drodze w oczekiwaniu na możliwość ruchu).



Rysunek 5. Zarejestrowany przebieg czasowy prędkości jazdy v autobusu

Źródło: Szczygłak i inni²¹



Rysunek 6. Zarejestrowany przebieg czasowy kąta pochylenia drogi α po którym poruszał się autobus

Źródło: Szczygłak i inni²²

²¹ Szczygłak P., Markowski P., Choszcz D., Modelowanie zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej, Monografia Naukowa, Technika i ekonomia w procesach transportowych, Przemysł, s. 381-406, 2024

²² Szczygłak P., Markowski P., Choszcz D., Modelowanie zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej, Monografia Naukowa, Technika i ekonomia w procesach transportowych, Przemysł, s. 381-406, 2024

Modelowanie emisji CO_2 w systemach komunikacji zbiorowej w mieście Olsztyn

W czasie modelowania przyjęto założenie, że zostaną wykonane obliczenia z użyciem modeli emisji CO_2 dla 3 zadań transportowych (przewóz 50, 100 i 200 pasażerów). Dlatego przyjęto 6 zbiorów parametrów wejściowych (3 dla autobusu i 3 dla tramwaju). W tabeli 2 przedstawiono przyjęte wartości parametrów wejściowych użytych w czasie obliczeń.

Tabela 2. Wartości parametrów wejściowych użyte w czasie obliczeń emisji CO_2

Lp.	Parametr wejściowy	Autobus SOLARIS Urbino 12	Tramwaj SOLARIS Tramino S111o
1	Prędkość jazdy $v(t, t+\Delta t)$	Przyjęto przebieg czasowy z rysunku 5	
2	Kąt pochylenia drogi $\alpha(t, t+\Delta t)$	Przyjęto przebieg czasowy z rysunku 6	
3	Masa pojazdu m	10800 (kg)	43000 (kg)
4	Masa ciała pasażera m_p i bagażu m_b	65 i 3 (kg) ²³	
5	Liczba pasażerów i_p	Zadanie nr 1 - 50, Zadanie nr 2 - 100, Zadanie nr - 200	
6	Dopuszczalna liczba pasażerów	29 siedzących i 75 stojących	43 siedzących i 157 stojących
7	Prędkość wiatru w kierunku jazdy $v_w(t, t+\Delta t)$	-2÷2 (km·h ⁻¹) (wartości z generatora liczb losowych)	
8	Współczynnik oporów toczenia kół $f(t, t+\Delta t)$	0,02÷0,022 droga asfaltowa (wartości z generatora liczb losowych)	0,001÷0,002 (wartości generowane z użyciem generatora liczb losowych)
9	Współczynnik oporów aerodynamicznych c_x	0,7	0,65
10	Gęstość powietrza ρ_p	1,226 (15°C) (kg·m ⁻³) ²⁴	
11	Gęstość paliwa ρ_{pa}	0,83 (kg·dm ⁻³) ²⁵	-
12	Sprawność układu przeniesienia napędu η	0,890	0,949
13	Poślizg kół $\delta(t, t+\Delta t)$	0÷0,1% (wartości z generatora liczb losowych)	
14	Przyspieszenie ziemskie g	9,80665 (m·s ⁻²)	
15	Powierzchnia czołowa pojazdu A	7,2175 (m ²)	8,2404 (m ²)
16	Procentowy ubytek ciśnienia w ogumieniu pneumatycznym u_p	0 (%)	-
17	Zanieczyszczenie torów z	-	0 (%)

²³ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia

²⁴ Kondratiuk M., Badania symulacyjne charakterystyk aerodynamicznych bezałogowego mikrosamolotu typu delta z barierami mechanicznymi umieszczonymi przy krawędziach natarcia, Acta Mechanica et Automatica, vol.4 no.3, s. 54-57, 2010

²⁵ PN-EN 590:2022-08 Paliwa do pojazdów samochodowych. Oleje napędowe. Wymagania i metody badań

Lp.	Parametr wejściowy	Autobus SOLARIS Urbino 12	Tramwaj SOLARIS Tramino S111o
18	Jednostkowe zużycie paliwa przy prędkości nominalnej wału korbowego silnika g_{en}	193 (g·kWh ⁻¹) (MAN D2066 LUH 48)	-
19	Nominalna prędkość obrotowa wału korbowego silnika n_{nom}	1900 (obr·min ⁻¹) (MAN D2066 LUH 48)	-
20	Godzinowe zużycie paliwa dla silnika nieobciążonego $G_{ef}(t, t+\Delta t)$	$a_1 = 0,0000014$, $a_2 = 0,0021$, $a_3 = 0,3$ (MAN D2066 LUH 48)	-
21	Współczynnik hamowania silnikiem h	70 (%)	86 (%)
22	Sprawność silników elektrycznych η_s	-	0,94 (dla silników Siemens 1FT7 wg producenta)
23	Sprawność układu kontrolującego silniki napędowe η_k	-	0,965 (dla Siemens SINAMICS G120 wg producenta)
24	Sprawność lokalnej infrastruktury przesyłowej η_l	-	0,9 ²⁶
25	Sprawność globalnej infrastruktury przesyłowej η_g	-	0,927 (średnia wartość w Polsce 7,3% strat) ²⁷
26	Wskaźnik emisyjności CO ₂ W_{em}	2,68 (kg CO ₂ ·dm ⁻³ ON) emisyjność TTW 3,17 (kg CO ₂ ·dm ⁻³ ON) emisyjność WTW ²⁸	0,597 (kg CO ₂ ·kWh ⁻³) ²⁹
27	Wartość opałowa oleju napędowego W_{on}	35,69 (MJ·dm ⁻³) ³⁰	-
28	Droga s	7,29 (km)	

Źródło: opracowanie własne

Wyniki obliczeń dla przyjętych zadań transportowych (przewóz 50, 100 i 200 pasażerów) przedstawiono w tabelach 3-7.

Zadanie transportowe nr 1 polegające na przewozie grupy 50 pasażerów na dystansie 7,29 km zostało wykonane jednoetapowo. Możliwości przewozowe autobusu zostały wykorzystane w 48%, a tramwaju w 25%. Zapotrzebowanie na energię dla zadania było zbliżone, tramwaj zużył o 8,1% energii mniej od autobusu, ale z elektrowni pobrane zostało o 10,13% więcej energii elektrycznej, z powodu strat w czasie jej przesyłu. Niższe zużycie energii przez tramwaj wynika z mniejszych oporów toczenia kół stalowych po szynach, mimo pra-

²⁶ Bartłomiejczyk M., Połom M., Wpływ przestrzennego zróżnicowania systemu zasilania sieci trakcyjnej na energochłonność komunikacji trolejbusowej, Aspekty planistyczno-ekonomiczne, Logistyka 6, s. 1735-1744, 2014

²⁷ BBN, Analiza nt. wielkości strat w przesyłach energii elektrycznej w Polsce. Warszawa 2012

²⁸ <https://magazyn.cartrack.pl/redukcja-sladu-weglowego-we-flocie-cartrack/>

²⁹ Zespół Zarządzania Krajową Bazą KOBiZE: Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2023 rok, Warszawa, grudzień 2024

³⁰ GUS, Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2022-2023, Rzeszów 2024

wie czterokrotnie wyższej masy własnej w porównaniu z autobusem. Znaczące różnice odnotowano w przypadku emisji CO_2 . Tramwaj wyemitował, aż o 125,46% więcej dwutlenku węgla bez uwzględnienia emisji powstałej podczas produkcji oleju napędowego, a po uwzględnieniu tej emisji różnica ta spadła do 90,61%. Tak duże różnice wynikają z miksu energetycznego jaki jest stosowany w naszym kraju, ponieważ jest on oparty głównie na paliwach kopalnych.

Zadanie transportowe nr 2 polegające na przewozie grupy 100 pasażerów na dystansie 7,29 km zostało wykonane jednoetapowo. Możliwości przewozowe autobusu zostały wykorzystane w 96%, a tramwaju w 50%. W przypadku autobusu zaobserwowano większy wzrost zapotrzebowania na energię w porównaniu do tramwaju. Różnica między tymi środkami transportowymi wzrosła do 17,4%, ale po uwzględnieniu strat przesyłowych spadła ona do 1,09%. Wynika to z mniejszego wzrostu oporów toczenia tramwaju spowodowanego zwiększeniem obciążenia (liczbą pasażerów i bagażu). Znaczące różnice odnotowano w przypadku emisji CO_2 , choć nie tak duże jak w przypadku zadania przewozowego nr 1. Tramwaj wyemitował aż o 102,48% więcej dwutlenku węgla niż autobus, bez uwzględnienia emisji powstałej podczas produkcji oleju napędowego. Po jej uwzględnieniu różnica ta spadła do 71,18%.

Zadanie transportowe nr 3 polegające na przewozie grupy 200 pasażerów na dystansie 7,29 km zostało wykonane jednoetapowo w przypadku tramwaju i 2 etapowo w przypadku autobusu (obliczenia wykonano dla 2 przejazdów). Możliwości przewozowe autobusu zostały wykorzystane w 96% dla każdego z przejazdów, a tramwaju na 100%. Zapotrzebowanie na energię dla zadania znacząco się różniło, tramwaj zużył o 52,55% energii mniej od autobusu i pobrał też mniej energii z elektrowni o 43,6%. Niższe zużycie energii przez tramwaj wynika z faktu, że zadanie zostało wykonane jednoetapowo, autobus wykonał dwa przejazdy. Niewielkie różnice zaobserwowano w przypadku emisji CO_2 . Tramwaj wyemitował o 15,47% więcej dwutlenku węgla bez uwzględnienia emisji powstałej podczas produkcji oleju napędowego i o 2,38% mniej po uwzględnieniu tej emisji. To jedyny zaobserwowany przypadek, gdy tramwaj wyemitował mniej CO_2 od autobusu.

Tabela 3. Wyniki obliczeń dla zadania transportowego nr 1 (przewóz 50 pasażerów) – zużycie energii

Parametr	Autobus	Tramwaj
Energia elektryczna pobrana przez tramwaj E_t	-	21,215 (kWh)
Energia elektryczna pobrana przez infrastrukturę lokalną E_l	-	23,572 (kWh)
Energia elektryczna pobrana z elektrowni E_g	-	25,429 (kWh)
Zużycie paliwa przez autobus G	2,329 (dm ³)	-
Energia skumulowana w zużytym paliwie E_{ON}	23,089 (kWh)	-
Różnica względna zużycia energii (E_{ON} i E_g)	-10,13%	

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4. Wyniki obliczeń dla zadania transportowego nr 1 (przewóz 50 pasażerów) – emisja CO₂

Parametr	Autobus		Tramwaj
Emisja CO ₂	6,242 (kg)	7,382 (kg)	14,073 (kg)
Względna różnica emisji CO ₂	-125,46 (%) spalanie ON		
	-90,61 (%) spalanie i produkcja ON		

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5. Wyniki obliczeń dla zadania transportowego nr 2 (przewóz 100 pasażerów) – zużycie energii

Parametr	Autobus	Tramwaj
Energia elektryczna pobrana przez tramwaj E_t	-	22,947 (kWh)
Energia elektryczna pobrana przez infrastrukturę lokalną E_l	-	25,497 (kWh)
Energia elektryczna pobrana z elektrowni E_g	-	27,504 (kWh)
Zużycie paliwa przez autobus G	2,805 (dm ³)	-
Energia skumulowana w zużytym paliwie E_{ON}	27,808 (kWh)	-
Różnica względna zużycia energii (E_{ON} i E_g)	1,09 (%)	

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6. Wyniki obliczeń dla zadania transportowego nr 2 (przewóz 100 pasażerów) – emisja CO₂

Parametr	Autobus		Tramwaj
Emisja CO ₂	7,517 (kg)	8,891 (kg)	15,222 (kg)
Względna różnica emisji CO ₂	-102,48 (%) spalanie ON		
	-71,18 (%) spalanie i produkcja ON		

Źródło: opracowanie własne

Tabela 7. Wyniki obliczeń dla zadania transportowego nr 3 (przewóz 200 pasażerów) – zużycie energii

Parametr	Autobus	Tramwaj
Energia elektryczna pobrana przez tramwaj E_t	-	26,172 (kWh)
Energia elektryczna pobrana przez infrastrukturę lokalną E_l	-	29,08 (kWh)
Energia elektryczna pobrana z elektrowni E_g	-	31,37 (kWh)
Zużycie paliwa przez autobus G	5,61 (dm ³)	-
Energia skumulowana w zużytym paliwie E_{ON}	55,617 (kWh)	-
Różnica względna zużycia energii (E_{ON} i E_g)	43,6 (%)	

Źródło: opracowanie własne

Tabela 7. Wyniki obliczeń dla zadania transportowego nr 3 (przewóz 200 pasażerów) – emisja CO₂

Parametr	Autobus		Tramwaj
Emisja CO ₂	15,035 (kg)	17,784 (kg)	17,361 (kg)
Względna różnica emisji CO ₂	-15,47 (%) spalanie ON		
	2,38 (%) spalanie i produkcja ON		

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Opracowany model emisji CO_2 przez autobusy i tramwaje eksploatowane w warunkach miejskich umożliwia szacowanie tego parametru z uwzględnieniem ubytku ciśnienia w ogumieniu pneumatycznym, stopnia zanieczyszczenia torów, poślizgu kół napędowych i wpływu hamowania silnikiem. Możliwość importu przebiegów czasowych prędkości jazdy v i kąta pochylenia drogi α zarejestrowanych w czasie użytkowania autobusu lub tramwaju ma wpływ na dokładność obliczeń i zapewnia lepsze odwzorowanie warunków panujących w środowisku roboczym przedmiotowych środków transportowych.

Zapotrzebowanie na energię dla jednoetapowych zadań transportowych (przewóz 50 i 100 pasażerów) było zbliżone dla obu pojazdów, a różnica mieściła się w przedziale od 1,09 do 10,13%.

Wyniki obliczeń wskazują na znacznie mniejszą emisję CO_2 generowaną przez autobus w porównaniu do tramwaju dla zadań przewozowych, gdzie liczba pasażerów nie przekracza możliwości przewozowych tego środka transportowego (104 pasażerów).

Podobny poziom emisji dwutlenku węgla obliczono dla zadań transportowych polegających na przewozie pasażerów w liczbie zbliżonej do maksymalnych możliwości transportowych tramwaju (200 pasażerów). Jest to spowodowane koniecznością wykonania 2 przejazdów przez autobus, żeby zrealizować zadanie przewozowe jakie jest w stanie wykonać tramwaj w czasie jednego przejazdu.

Duża emisja CO_2 w procesie transportowym realizowanym przez tramwaj wynika z miksu energetycznego w Polsce, który opiera się głównie na produkcji energii elektrycznej z paliw kopalnych. Wpływa to na wartość wskaźnika emisyjności, który w 2024 roku wyniósł $0,597 \text{ (kg } CO_2 \cdot \text{kWh}^{-1})$. Aby emisja dwutlenku węgla przez tramwaj przy przewozie 100 pasażerów była taka sama, jak w przypadku przewozu autobusem wskaźnik emisyjności powinien wynosić $0,348 \text{ (kg } CO_2 \cdot \text{kWh}^{-1})$. Można to osiągnąć zwiększając liczbę odnawialnych źródeł energii w krajowym miksie energetycznym.

Zapis cyfrowy modelu pozwolił na stworzenie narzędzia do wydajnego obliczania jego parametrów wyjściowych. Dzięki temu można go używać w procesie kształcenia przyszłych konstruktorów i osób nadzorujących proces eksploatacji pojazdów komunikacji miejskiej.

W dalszych etapach rozbudowy modelu emisji CO_2 należałoby uwzględnić pobór energii przez dodatkowe odbiorniki, takie jak klimatyzacja, sprzęt multimedialny.

Bibliografia

- Bajerlein M., Rymaniak Ł., Michalak D., Wpływ zastosowania różnych rozwiązań układów klimatyzacji na energochłonność autobusu miejskiego, *Combustion Engines*, 154(3), s. 722-727, 2013
- Barkenbus J. N., Eco-driving: An overlooked climate change initiative, *Energy Policy* 38(2), s. 762-769, 2010
- Bartłomiejczyk M., Połom M., Wpływ przestrzennego zróżnicowania systemu zasilania sieci trakcyjnej na energochłonność komunikacji trolejbusowej, *Aspekty planistyczno-ekonomiczne*, *Logistyka* 6, s. 1735-1744, 2014
- BBN, Analiza nt. wielkości strat w przesyłach energii elektrycznej w Polsce. Warszawa 2012

- Biszko K., Oskarbski J., Modelowanie emisji z wykorzystaniem symulacji mikroskopowych, *Transport miejski i regionalny* 05, s. 18-25, 2022
- Chester M. V., Horvath A., Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains, *Environmental Research Letters* (4), s. 1-8, 2009
- Dajniak H., Ciągniki. Teoria ruchu i konstruowanie, WKiŁ, Warszawa, 1985
- Domek M., Opory ruchu pojazdu oraz minimalizacja oporów toczenia, Napędy i sterowanie, R. 19 Nr 12, s. 96-100, 2017
- Gołębiowski P. i in., Optymalny miks energetyczny dla Polski do roku 2060 — model DAS, Warszawa 2013
- GUS: Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2022-2023, Rzeszów 2024
- Komisja Europejska, Ambitniejszy cel klimatyczny Europy do 2030 r. Inwestowanie w przyszłość neutralną dla klimatu z korzyścią dla obywateli, Bruksela 2020
- Kondratiuk M., Badania symulacyjne charakterystyk aerodynamicznych bezzałogowego mikrosamolotu typu delta z barierami mechanicznymi umieszczonymi przy krawędziach natarcia, *Acta Mechanica et Automatica*, vol.4 no.3, s. 54-57, 2010
- Merkisz J., Radzimirski S., Nowe przepisy unii europejskiej o emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych, *Transport Samochodowy* 2, s. 41-10, 2011
- PN-EN 590:2022-08 Paliwa do pojazdów samochodowych. Oleje napędowe. Wymagania i metody badań
- Rabiega W. P., Sikora P., Ścieżki redukcji emisji CO₂ w sektorze transportu w Polsce w kontekście „EUROPEJSKIEGO ZIELONEGO ŁADU”, Centrum Analiz Klimatyczno-Energetycznych, Warszawa 2020
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia
- Solarek T., Badania efektów energetycznych hamowania rekuperacyjnego w trakcji tramwajowej, *TTS Technika Transportu Szynowego* 3, s. 57–59, 2006
- Szczygłak P., Markowski P., Choszcz D., Modelowanie zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej, *Monografia Naukowa, Technika i ekonomia w procesach transportowych*, Przemysł, s. 381-406, 2024
- Szczygłak P., Napiórkowski J., Rykowski K., Wpływ ciśnienia w ogumieniu na opory toczenia kół pojazdów, *Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 6, s. 1161-1165, 2016
- Wrzecioniarz P. A., Ambroszko W., Pindel A., Granice oporów ruchu w pojazdach. Opór toczenia, *Autobusy* 12, s. 256-259, 2018
- Zespół Zarządzania Krajową Bazą KOBiZE, Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2023 rok, Warszawa, grudzień 2024
- <https://magazyn.cartrack.pl/redukcja-sladu-weglowego-we-flocie-cartrack/>

Adres do korespondencji: piotr.markowski@uwm.edu.pl

Piotr Szczygłak numer ORCID - 0000-0002-8218-1540
Piotr Markowski numer ORCID - 0000-0002-4390-788X
Dariusz Choszcz numer ORCID - 0000-0002-3119-9038

LOGISTYKA ODPADÓW Z RZEŻNI – ICH PRZETWARZANIE, UTYLIZACJA I POWTÓRNE ZAGOSPODAROWANIE

Katarzyna Wojtkowiak¹, Ewelina Kolankowska¹, Agnieszka Markowska-Mendik¹,
Dariusz J. Choszcz¹

¹ Katedra Pojazdów i Maszyn, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wstęp

Gospodarowanie odpadami stanowi przedmiot zainteresowania nauk przyrodniczych, ochrony środowiska i nauk technicznych związanych z zarządzaniem i logistyką oraz z naukami prawnymi. Zagospodarowanie odpadów łączy szereg procesów powiązanych ze zbieraniem, transportem i ich przetwarzaniem łącznie z nadzorem i działaniami dotyczącymi obrotu odpadami.

Ubojnie i przemysł drobiarski to prawdopodobnie jeden z najszybciej rozwijających się sektorów, napędzany rosnącym zapotrzebowaniem na żywność. W związku z tym powstają ogromne ilości odpadów wytwarzanych w rzeźniach (od 37% do 49% niejadalnych części zwierząt hodowlanych, poddawanych ubojowi)¹. Odpady niejadalne z rzeźni mają ogromny potencjał w zakresie zastosowań generujących wartość dodaną. Część tych odpadów jest przetwarzana przez przemysł utylizacyjny na paszę dla zwierząt, mączkę mięsno – kostną i tłuszcze zwierzęce. Ostatnio produkty uboczne z rzeźni są wykorzystywane do kilku zastosowań, takich jak fermentacja beztlenowa, synteza hydrolizatu białka, lipidów, enzymów, bioaktywnych peptydów i synteza preparatów klejących na bazie białek². Innowacyjnością jest przekształcanie tych odpadów w produkty o wysokiej wartości, takie jak materiały kompozytowe, włókna regenerowane, narzędzia biomedyczne (inżynieria tkankowa, nośniki le-

¹ Walsh C., The use of Animal By-Products—AHDB Beef & Lamb. EBLEX 130514:1–73. 2014

² Mozhiarasi V., Natarajan T.S., Slaughterhouse and poultry wastes: management practices, feedstocks for renewable energy production, and recovery of value added products. Biomass Convers. Bior. 15(2), 1705–1728. 2025

ków), elektronika (opakowania elektroniczne, elektronika noszona, ogniwa paliwowe) i chemikalia które mogą znaleźć zastosowanie w różnych zastosowaniach przemysłowych^{3,4,5}. Tego typu zastosowania mogą doprowadzić do zużycia większej ilości produktów ubocznych wytwarzanych przez przemysł przetwórstwa mięsnego. Potencjalne wykorzystanie tak ogromnych ilości odpadów z rzeźni i ubojni drobiu kształtuje drogę do zrównoważonej gospodarki odpadami, co zwiększy rozwój przemysłu. Dlatego istnieje potrzeba skupienia się na zrównoważonych technologiach gospodarowania odpadami w celu ich przetwarzania.

W niniejszym opracowaniu przeanalizowano ilość wytwarzanych odpadów z rzeźni, ich potencjał i wyzwania związane z efektywnym zarządzaniem tymi odpadami. Przedstawiono także podstawowe technologie ich przetwarzania wykorzystując ich potencjał.

Przegląd branży przetwórstwa odpadów zwierzęcych

Szacunkowa roczna światowa produkcja odpadów kostnych z rzeźni przekracza 150 miliardów kg rocznie⁵, co czyni je jednym z najważniejszych źródeł odpadów pochodzenia zwierzęcego. Liczbę tę odzwierciedla szacowana populacja zwierząt gospodarskich, na którą składa się 4,9 miliarda bydła, kóz i owiec oraz trzody chlewnej i 27,9 miliarda drobiu⁶. Wśród krajów Unii Europejskiej największym producentem odpadów rzeźnych w sektorze bydła jest Francja, w sektorach trzody chlewnej i owiec Hiszpania, a Polska w sektorze drobiu⁷.

Według dyrektywy europejskiej 2009/1069/WE⁸ produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego definiowane są jako całe ciała lub części zwierząt lub produkty pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczone do spożycia przez ludzi, które należy zagospodarować. Według Głównego Inspektoratu Weterynarii⁹ w krajach Unii Europejskiej łącznie powstaje rocznie około 20 milionów ton ubocznych produktów pochodzenia zwierzęcego, a Polska wytwarza z tego 10%, czyli około 2 miliony ton rocznie. Ilość ubocznych produktów pochodzenia zwierzęcego, które są odpadami z rzeźni i innych procesów związanych z produkcją mięsa stanowi około jednej trzeciej całości produkcji¹⁰. Ogólnie rzecz biorąc, ubojnie produkują znaczną ilość odpadów organicznych o stosunkowo wysokim poziomie zawiesiny stałej,

³ Bhaskar N., Modi V.K., Govindaraju K., Radha C., Lalitha, R.G., Utilization of meat industry by-products: Protein hydrolysate from sheep visceral mass. *Bioresour. Technol.* 98, 388–394. 2007

⁴ Irshad A., Sharma B.D., Abattoir by-product utilization for sustainable meat industry: A review. *J. Anim. Prod. Adv.* 5, 681–696. 2015

⁵ Limeneh D.Y., Tesfaye T., Ayele M., Husien N.M., Ferede E., Haile A., Kong F., A comprehensive review on utilization of slaughterhouse by-product: Current status and prospect. *Sustainability.* 14(11), 6469. 2022

⁶ Kadawarage R.W., Dunislawski A., Siwek M., Ecological footprint of poultry production and effect of environment on poultry genes. *Phys. Sci. Rev.* 9(2), 567–589. 2024

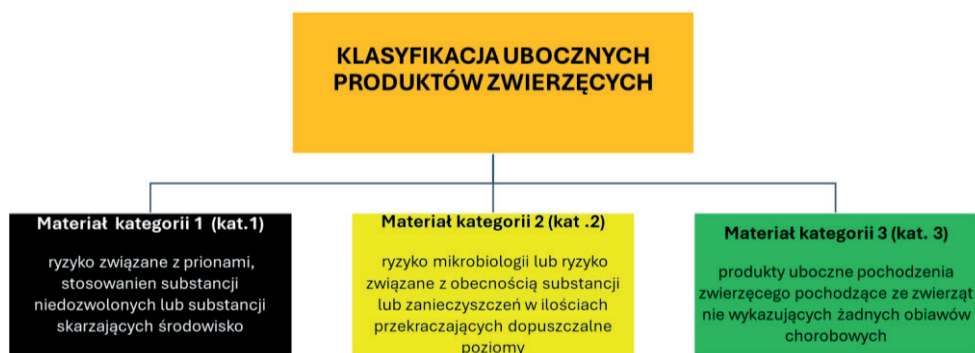
⁷ Guisado J.M., Becerra J.A., Chacartegui, R., Scenarios for Energy Recovery from Slaughterhouse Wastes in Europe. *iScience.* 2025

⁸ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r. określające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 (rozporządzenie o produktach ubocznych pochodzenia zwierzęcego)

⁹ Główny Inspektorat Weterynarii, <https://www.wetgiw.gov.pl/>

¹⁰ Adhikari B.B., Chae M., Bressler D.C. Utilization of slaughterhouse waste in value-added applications: Recent advances in the development of wood adhesives. *Polymers*, 10(2), 176. 2018

cieczy i tłuszczu. Szacuje się, że około 50–54% każdej krowy, 52% każdej owcy lub kozy, 60–62% każdej świni, 68–72% każdego kurczaka i 78% każdego indyka jest wykorzystywane na mięso, a pozostała część jest usuwana jako odpad¹¹. W Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r.⁸ określono przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi. W dokumencie tym odpady tego typu zostały sklasyfikowane do trzech kategorii w zależności od zagrożenia, jakie stwarzają dla ludzi i środowiska (rys. 1). Produkty te obejmują między innymi: elementy zwierząt lub ich części pochodzące z uboju zwierząt lub ich przetwórstwa, padłe zwierzęta, skóry, skórki, kopyta, rogi, szczecina, sierść, włosie i żywność pochodzenia zwierzęcego oraz odpady cateringowe.



Rysunek 1. Klasyfikacja ubocznych produktów zwierzęcych

Źródło: Główny Inspektorat Weterynarii

Uboczne produkty pochodzenia zwierzęcego są bogatym źródłem składników organicznych (np. białka, lipidy) i związków nieorganicznych (np. fosforan wapnia)¹². O jakości produktu końcowego pochodzącego z odzysku (np. mączka mięsno-kostna) decydują grupy odpadów utylizowanych. Na przykład odpady kostne zawiera 53% wapnia, 24% fosforu, 8% boru, 6% krzemu, 3% sodu i chloru, 1,7% siarki, 1,6% potasu i 1,4% magnezu, natomiast glin, żelazo, cynk, mangan i miedź występują w ilości poniżej 0,4%¹³. Większość badań dotyczących wartości produktów ubocznych z rzeźni dotyczy ich przekształcania w pasze dla zwierząt, nawozy organiczne i ulepszcze glebowe oraz różne przemysłowe produkty techniczne^{5,14}.

¹¹ The Animal By-Products (Scotland) Regulations 2003. <https://www.legislation.gov.uk/ssi/2003/411/contents/made>

¹² Macavei M.G., Gheorghe V.C., Ionescu G., Volceanov A., Pătrașcu R., Mărculescu C., Magdziarz A., Thermochemical conversion of animal-derived waste: a mini-review with a focus on chicken bone waste. *Processes*. 12(2), 358. 2024

¹³ Genisel M., Erdal S., Turk H., Dumlupinar R., The availability of bone powder as inorganic element source on growth and development in wheat seedlings. *Toxicol. Ind. Health*. 28, 458–462. 2012

¹⁴ Stępień A., Wojtkowiak K., Grzywińska-Rapca M., Pawluczuk J., Meat processing waste as a source of nutrients and its effect on the physicochemical properties of soil. *Sustainability*, 14(3), 1341. 2022

Wykorzystanie odpadów z rzeźni/ubojni jako dodatek do pasz jest możliwe pod warunkiem przestrzegania ścisłych zasad i regulacji, aby zagwarantować bezpieczeństwo żywności i zdrowia zwierząt. W żywieniu zwierząt wykorzystane mogą być odpowiednio przetworzone i sklasyfikowane odpady kategorii 3. Odpady tego typu, zanim zostaną wykorzystane jako pasza, muszą być poddane różnym procesom, takim jak gotowanie, suszenie i mielenie w celu zminimalizowania ryzyka związanego z patogenami. Mączka mięsno – kostna była stosowana jako wysokobiałkowa pasza dla zwierząt¹⁵, dopóki Unia Europejska nie wprowadziła zakazu stosowania przetworzonego białka zwierzęcego w celu zwalczania gąbczastej encefalopatii bydła (BSE).

Zgodnie z rozporządzeniem (WE) nr 1069/2009 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 października 2009 r.⁸ mączka mięsno-kostna pochodząca z produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego kategorii 2 i 3 może być stosowana jako dodatek do gleby, natomiast materiał kategorii 1 musi być bezpośrednio utylizowany poprzez spalanie. Nawozy organiczne na bazie produktów poubojowych, takie jak mączka mięsno – kostna są cennym źródłem składników odżywczych (tab. 1). Skład chemiczny mączki mięsno-kostnej wskazuje, że może być realną alternatywą dla naturalnych, organicznych i mineralnych nawozów azotowych (N) i fosforowych (P)^{14,16}. Liczne badania wykazały, że nawóz organiczny w postaci mączki mięsno – kostnej przyczynia się do poprawienia żyzności gleby, uzyskania wyższych plonów i lepszej jakości produktów rolnych. Według Ariyaratne i in. (2011)¹⁷ mączka mięsno-kostna może być wykorzystywana też jako odnawialne źródło energii zastępująca pył węglowy w palnikach pieców obrotowych, zmniejszając roczną emisję CO₂ do 40%.

Tabela 1. Skład chemiczny mączki mięsno-kostnej

Sucha masa (%)	Makroskładniki (g·kg ⁻¹)						Mikroskładniki (mg·g ⁻¹)			
	Cog	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn
90.0	66.9	6.1	3.1	0.4	8.9	0.3	0.8	1189.0	86.5	29.0

Źródło: Stępień i in.¹⁴

Tłuszcz zwierzęcy, będący produktem ubocznym z rzeźni, może być dodawany do pasz jako źródło niezbędnych kwasów tłuszczowych i energii. Biorąc pod uwagę wyłącznie produkty tłuszczowe zawartość energii waha się do 6600 kWh na tonę odpadów w zależności od składu pozostałości. Natomiast produkty stałe wykazują potencjał energetyczny w zakresie od 365 do 2395 kWh na tonę odpadów⁷. Odpady poubojowe pochodzenia zwierzęcego są więc odpowiednimi substratami do produkcji czystej energii, takiej jak biodiesel i biogaz. Średnio 40–50% żywych zwierząt to odpady (tj. tłuszcz i mączka), a ich potencjalna

¹⁵ Cascarosa E., Gea G., Arauzo J., Thermochemical processing of meat and bone meal: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16(1), 942–957. 2012

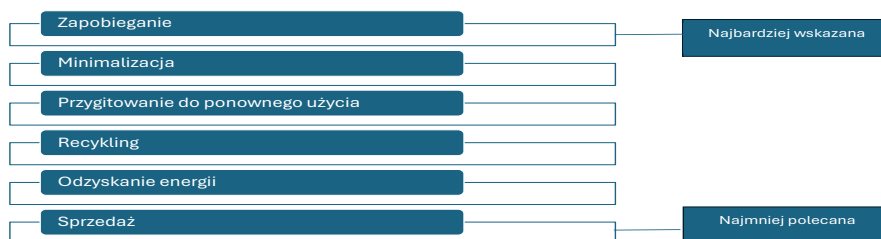
¹⁶ Stępień A., Wojtkowiak K., Kolankowska E., Pietrzak-Fiećko R., Corn Grain Fatty Acid Contents in Response to Organic Fertilisers from Meat Industry Waste. *Sustainability*, 16(3), 952. 2024

¹⁷ Ariyaratne W.K.H., Melaen M.C., Eine K., Tokheim L.A., Meat and bone meal as a renewable energy source in cement kilns: Investigation of optimum feeding rate. *Renew. Energy Power Qual.* 1(9), 1244–1249. 2011

zawartość energetyczna jest zbliżona do oleju napędowego¹⁸. Według Guisado i in. (2025)⁷ krajem o największym potencjale w zakresie produkcji energii z wykorzystaniem tych odpadów jest Hiszpania, której potencjał energetyczny wynosi około 7 milionów MWh/rok, co odpowiada 18% całkowitej energii, jaką można uzyskać w Europie z tych odpadów, a następnie Niemcy, których produkcja wynosi około 6,5 miliona MWh/rok, co odpowiada 17% wytworzonej energii. Przetwarzanie odpadów zwierzęcych z rzeźni i ich późniejsze przekształcanie w energię elektryczną przedstawiono w wielu pracach^{19,20,21,22}.

Zarządzanie odpadami z rzeźni

Produkty uboczne przemysłu mięsnego to wszelkiego rodzaju produkty wtórne, które powstają w rzeźniach i ubojniach. Zalecane jest ich ponowne wykorzystanie, poddawanie recyklingowi oraz odzyskiwanie lub redukcjonowanie, głównie w zależności od ich przeznaczenia²³. Sposoby zarządzania produktami ubocznymi wytwarzanymi w rzeźniach i ubojniach przedstawiono na rysunku 2²⁰. Wśród tych technik unieszkodliwiania odpadów nie są zalecane te, które wpływają na znaczne zanieczyszczenie środowiska. Hierarchia postępowania z odpadami wskazuje na maksymalne korzyści wynikające z gospodarowania niejadalnymi pozostałościami przemysłu przetwórstwa mięsnego.



Rysunek 2. Hierarchia gospodarowania odpadami z uboju

Źródło: Ali et al. 2010

¹⁸ Chakraborty R., Sahu H., Intensification of biodiesel production from waste goat tallow using infrared radiation: Process evaluation through response surface methodology and artificial neural network. *Applied Energy*. 114, 827–836. 2014

¹⁹ Koryś K.A., Latawiec A.E., Grotkiewicz K., Kuboń M., The review of biomass potential for agricultural biogas production in Poland. *Sustainability*. 11(22), 6515. 2019

²⁰ Ali A., Hashmi H.N., Akber H., The Slaughter House Waste Management. *Hydro Nepal, J. Water Energy Environ*. 7, 48–53. 2010

²¹ Otero A., Mendoza M., Carreras R., Fernández B., Biogas production from slaughterhouse waste: Effect of blood content and fat saponification. *Waste Management*, 133, 119–126. 2021

²² Kabeyi M., Olanrewaju O., Slaughterhouse waste to energy in the energy transition with performance analysis and design of slaughterhouse biodigester. *J. energy manag. Techno*. 6(3), 188–208. 2022

²³ Bandaw T., Herago T., Review on abattoir waste management. *Global Veterinaria*, 19(2), 517–524. 2017

Gospodarowanie odpadami stałymi obejmuje głównie elementy funkcjonalne, takie jak wytwarzanie odpadów, przetwarzanie na miejscu, przechowywanie i przetwarzanie, zbieranie, sortowanie, przetwarzanie i transformacja, transfer i transport, przetwarzanie i odzyskiwanie, ponowne wykorzystanie i recykling oraz usuwanie²⁴. Sposób postępowania z odpadami zależy od kategorii produktów. Istnieją konkretne wymagania dotyczące transportu, przechowywania i przetwarzania tych odpadów, a związane to jest z zapobieganiem ich zanieczyszczeniu oraz ryzykiem rozprzestrzeniania się chorób. Odpady z rzeźni/ubojni muszą być przewożone w sposób zabezpieczający je przed ich rozprzestrzenianiem (wysypywaniem, pyleniem, wyciekami) poza środek transportu. W Polsce nadzór nad ubocznymi produktami przemysłu zwierzęcego sprawuje Inspekcja Weterynaryjna⁹. Przedsiębiorstwa zajmujące się transportem odpadów tego typu muszą być zarejestrowane i spełniać określone wymagania. Firmy przewozowe powinny zadbać o właściwe oznakowanie pojazdów przeznaczonych do transportu produktów pochodzenia zwierzęcego i samych pojemników, w których będą one przechowywane w czasie transportu. Przepisy sanitarne dotyczące pojazdów przewożących produkty poubojowe, nieprzeznaczone do spożycia przez ludzi wymagają oznakowania tablicami informacyjnymi w odpowiednim kolorze (rys. 3).



Rysunek 3. Oznakowanie środków transportu produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego według kategorii

Źródło: Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r. oraz Rozporządzenie wykonawcze (UE) 142/2011

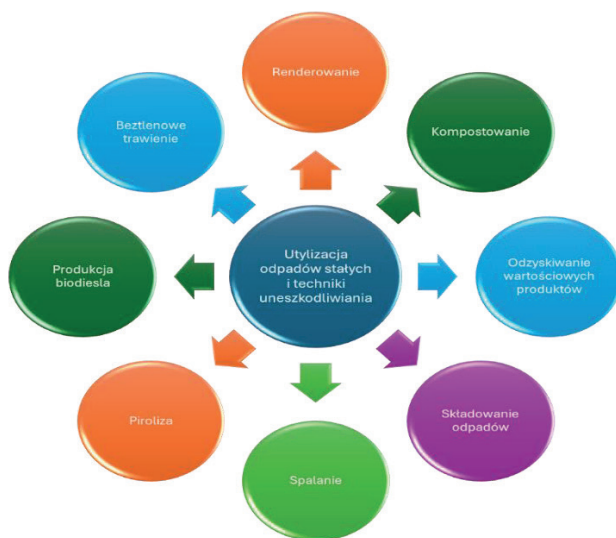
Każdy transport produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego musi potwierdzać dokument handlowy. Wzór dokumentu dla przewozu materiałów poubojowych określa Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 czerwca 2020 r. (Dz.U. 2020 poz. 1090)²⁵.

²⁴ Demirbas A., Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. *Energy Convers. Manag.* 52(2), 1280–1287. 2011

²⁵ Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 czerwca 2020 r. (Dz.U. 2020 poz. 1090)

Techniki utylizacji produktów ubocznych z rzeźni

Zarządzanie odpadami stałymi jest najważniejszym procesem, biorąc pod uwagę rosnący trend wytwarzania odpadów stałych. Dostępnych jest kilka technologii przetwarzania i usuwania stałych odpadów organicznych (rys. 4). Do najbardziej popularnych należy spalanie, fermentacja metanowa i przetwarzanie na energię.



Rysunek 4. Przetwarzanie odpadów stałych i technika ich utylizacji

Źródło: Mozhiarasi and Natarajan 2025

Spalarnia to zaawansowana technologicznie instalacja służąca do przetwarzania różnorodnych typów odpadów. Spalanie jest jednym z głównych typów termicznego niszczenia produktów ubocznych w kontrolowanych warunkach. Głównym celem tego procesu jest redukcja objętości i masy odpadów oraz minimalizacji przestrzeni wymaganej do składowania. Według Mozhiaras i in. (2020)²⁶ objętość odpadów stałych zmniejsza się powyżej 90%. Spalanie mieszanych odpadów z rzeźni (odpady piór, ściółka drobiowa, mączka mięsna i kostna) obejmuje rozkład odpadów w zakresie temperatur od 600 do 900°C w czasie od 20 do 25 minut²⁷. Podczas termicznej degradacji odpadów stałych są one przekształcane w ciepło, gaz, popiół i parę. Wykazano, że popiół powstały w wyniku spalania mięsa zawiera wapń (17-30%), fosfor (4-17%) i potas (0,6-3,6%) oraz wiele mikroelementów takich jak miedź, żelazo, mangan i cynk.

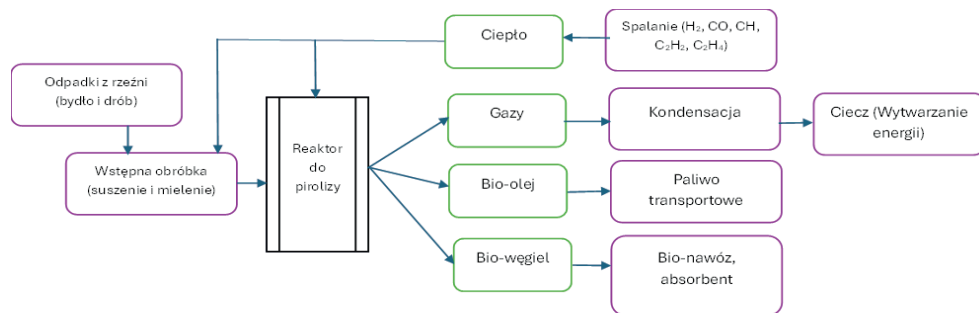
²⁶ Mozhiarasi V., Bhagiratha C., Sathish G., Farha T., Srinivasan S.V. Investigation on pyrolysis and incineration of chrometanned solid waste from tanneries for effective treatment and disposal: an experimental study. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27, 29778–29790. 2020

²⁷ Staroń P., Kowalski Z., Staroń A., Banach M., Thermal treatment of waste from the meat industry in high scale rotary kiln. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 14, 1157–1168. 2017

Odpady z rzeźni i drobiu są również idealnym substratem do produkcji biopaliw (duża zawartość białka). Biopaliwa w formie stałej występują zazwyczaj jako węgiel drzewny, drewno i wióry itp., w formie ciekłej to biodiesel i bioetanol. W formie gazowej biopaliwo występuje jako biogaz, produkowany głównie przez fermentację beztlenową lub przez zgazowanie podczas częściowego utleniania odpadów w wysokich temperaturach²⁸. Ze względu na energetyczne i biologiczne właściwości odpadów z rzeźni, mogą być przetwarzane w procesach biochemicznych lub termochemicznych tj. fermentacja beztlenowa, piroliza i transestryfikacja tłuszczu. Większość istniejących badań dotyczących zagospodarowania odpadów z rzeźni skupia się na produkcji biodiesla, biogazu i biooleju oraz na możliwościach technologicznych w zakresie produkcji energii elektrycznej i biopaliw.

Beztlenowy rozkład odpadów organicznych (fermentacja metanowa) obejmuje biologiczny rozkład substancji organicznych w środowisku beztlenowym, w którym surowce organiczne poddawane są serii transformacji mikrobiologicznych. W efekcie dochodzi do całkowitej mineralizacji odpadów organicznych i wytwarzania biogazu. Proces zapewnia podwójne korzyści tj. wytworzenie biopaliwa i pozostałości o zróżnicowanym składzie chemicznym, które można użyć jako wysokiej jakości nawóz². Choć wysoka zawartość substancji organicznych i odżywczych w odpadach z rzeźni czyni je idealnym substratem do odzyskiwania energii biologicznej, to jednak beztlenowa fermentacja tych odpadów często się nie udaje z powodu niewłaściwej równowagi składników odżywczych. Stosunek C/N odpadów z rzeźni i ubojni drobiu waha się od 7 do 10, a powinien wynosić od 25 do 30²⁹.

Piroliza to technologia termicznej waloryzacji odpadów, obejmuje termochemiczny rozkład materiału organicznego w warunkach beztlenowych w kontrolowanym środowisku. Proces ten jest przeprowadzany w temperaturach od 300 do 900°C, w zależności od materiału wejściowego i oczekiwanych produktów. Produktem końcowym są produkty stałe (biowęgiel), ciekłe (bioolej) i gazowe (rys. 5).



Rysunek 5. Schemat pirolizy odpadów z rzeźni i ubojni drobiu

Źródło: Mozhiarasi and Natarajan 2025

²⁸ Weiland P., Biogas production: current state and perspectives. Appl. Microbiol. Biotechnol. 85, 849–860. 2010

²⁹ Borowski S., Boniecki P., Kubacki P., Czyżowska A., Food waste co-digestion with slaughterhouse waste and sewage sludge: digestate conditioning and supernatant quality. Waste Manag. 74, 158–167. 2018

Wolna piroliza zachodzi w niskich temperaturach od 300 do 450°C, charakteryzuje się niską szybkością ogrzewania i długim czasem reakcji. Jest najbardziej odpowiednia do produkcji biocharu (substancja bogata w węgiel). Szybka piroliza charakteryzuje się wyższą szybkością ogrzewania i krótkim czasem reakcji, zachodzi w temperaturach od 450-600°C. Głównymi produktami wolnej pirolizy jest biowęgiel, bioolej i gaz syntezowy, natomiast produktem szybkiej pirolizy jest bioolej oraz biowęgiel jako produkt uboczny. Błyskawiczna piroliza, z bardzo wysoką szybkością ogrzewania, jest stosowana do produkcji syngazu, czyli mieszanki wodoru i tlenku węgla, która może być wykorzystywana jako paliwo lub surowiec chemiczny².

Według Cascarosa i in. (2012)¹⁵ wartość opałowa mączki mięsno-kostnej wynosi od 13 do 30 MJ/kg. Kantarli i in. (2019)³⁰ przeprowadzili katalityczną szybką pirolizę mączki drobiowej a wartość kaloryczna uzyskanego organicznego biooleju została obliczona na 41,9 MJ·kg⁻¹. Hassen-Trabelsi i in. (2014)³¹ stwierdzili większą wydajność biooleju od 58 do 78% w procesie pirolizy odpadów tłuszczowych zwierzęcych (świnia, drób, jagnięcina) przeprowadzonej w temperaturze 500°C. Wyniki powyższych badań pokazują, że piroliza jest technologią, która prowadzi do zrównoważonego wykorzystania zasobów i produkcji energii odnawialnej.

Transestryfikacja tłuszczu jest preferowaną metodą produkcji biodiesla³², podczas tego procesu tłuszcze są przekształcane w estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME), a produktem ubocznym jest gliceryna (rys. 6). Biodiesel jest czystym rodzajem paliwa, które można syntetyzować z naturalnych źródeł biodegradowalnych takich jak tłuszcze z odpadów zwierzęcych³³, co przyczynia się znacząco do obniżenia całkowitych kosztów produkcji biodiesla. Według Banković-Ilić i in. (2014)³⁴ produkowany z tłuszczów zwierzęcych biodiesel ma niższą zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych a zatem wyższą liczbę cetanową niż biodiesel z większości olejów roślinnych i oleju napędowego. Biopaliwo z tłuszczów zwierzęcych ma również wyższą wartość opałową³⁵.

³⁰ Kantarli I.C., Stefanidis S.D., Kalogiannis K.G., Lappas A.A., Utilisation of poultry industry wastes for liquid biofuel production via thermal and catalytic fast pyrolysis. *Waste Manag. Res.* 37, 157–167. 2019

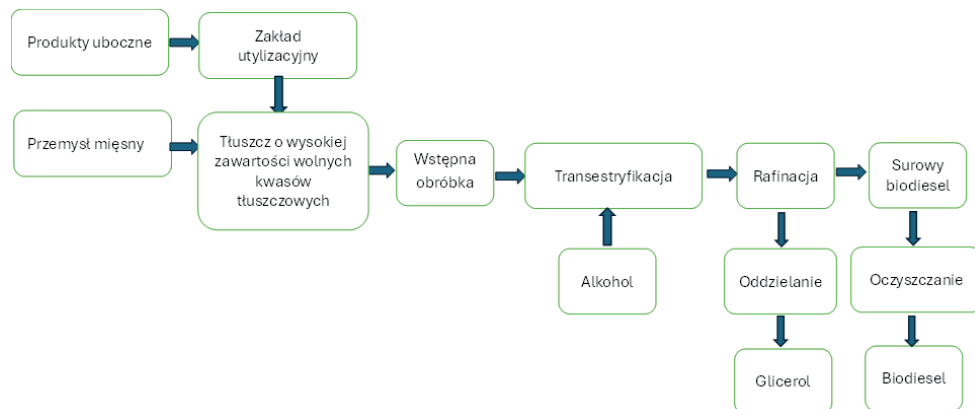
³¹ Hassen-Trabelsi A.B., Kraiem T., Naoui S., Belayouni H., Pyrolysis of waste animal fats in a fixed-bed reactor: Production and characterization of bio-oil and bio-char. *Waste Manag.* 34(1), 210–218. 2014

³² Sai Akhil U., Alagumalai A., A short review on valorization of slaughterhouse wastes for biodiesel production. *ChemistrySelect*, 4(45), 13356–13362. 2019

³³ Hosseinzadeh-Bandbafha H., Nizami A.S., Kalogirou S.A., Gupta, V.K., Park, Y.K., Fallahi A., Tabatabaei M., Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 161, 112411. 2022

³⁴ Banković-Ilić I.B., Stojković I.J., Stamenković O.S., Veljković V.B., Hung Y.T., Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 32, 238–254. 2014

³⁵ Adewale P., Dumont M.J., Ngadi M., Recent trends of biodiesel production from animal fat wastes and associated production techniques. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 45, 574–588. 2015



Rysunek 6. Schemat blokowy etapów produkcji biodiesla odpadów tłuszczu zwierzęcego

Źródło: Mozhiarasi and Natarajan 2025

Ashouri i in. (2024)³⁶ porównał właściwości fizyczne wytworzonego biodiesla z odpadów zwierzęcych z olejem napędowym pochodzącym z ropy naftowej i wykazał zbliżone właściwości fizyczne tych dwóch paliw.

W rezultacie wykorzystanie biodiesla stanowi zrównoważone rozwiązanie dla czystszej produkcji i przyczynia się do zmniejszenia globalnego ocieplenia. Wiele pracach potwierdzono, przydatność odpadów poubojowych do produkcji biodiesla^{18,32,37,38}.

Według Guisado i in. (2025)⁷ całkowita moc produkcyjna energii netto w Unii Europejskiej wynosi prawie 50 000 milionów kWh rocznie, przy czym 2/3 uwzględnia jedynie tłuszcz, a 1/3 mączkę mięsno-kostną.

Podsumowanie

Przemysł przetwórstwa mięsnego wytwarza dużą ilość odpadów, które stanowią potencjalne źródło odzysku różnych produktów o wartości dodanej i energii odnawialnej.

Produkty uboczne z rzeźni stanowią bogate źródło białka, tłuszczu, keratyny, kolagenu, żelatyny i substancji mineralnych. Przetwarzanie produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego (nie przeznaczonych do spożycia) pozwala odzyskać cenne surowce. Ich różnorodne zagospodarowanie nie tylko minimalizuje ilość tych odpadów, ale także znacznie zmniejsza degradację gleby, zanieczyszczenie wody i zużycie przestrzeni.

³⁶ Ashouri R., Jafari D., Esfandiyari M., Vatankhah G., Mahdavi M., Valorization of slaughterhouse wastes through transesterification for sustainable biodiesel production using potassium hydroxide as a heterogeneous catalyst. J. Clean. Prod. 447, 141596. 2024

³⁷ Sander A., Kościak M.A., Kosir D., Milosavljević N., Vuković J.P., Magić, L., The influence of animal fat type and purification conditions on biodiesel quality. Renew. Energy. 118, 752–760. 2018

³⁸ Chowdhury M.W., Nabi M.N., Arefin M.A., Rashid F., Islam M.T., Gudimetla P., Muyeen S.M., Recycling slaughterhouse wastes into potential energy and hydrogen sources: An approach for the future sustainable energy. Bioresour. Technol. Rep. 19, 101133. 2022

Wraz ze wzrostem znaczenia gospodarki zrównoważonej podejmuje się działania zmierzające do zwiększenia poziomu wykorzystania odpadów tj. odzysku, w ramach którego odpady są ponownie przetwarzane na produkty, materiały lub substancje wykorzystywane do produkcji wysokowartościowych produktów i substancji biochemicznych.

Bibliografia

- Adewale P., Dumont M.J., Ngadi M., Recent trends of biodiesel production from animal fat wastes and associated production techniques. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 45, 574–588. 2015
- Adhikari B.B., Chae M., Bressler D.C., Utilization of slaughterhouse waste in value-added applications: Recent advances in the development of wood adhesives. *Polymers*, 10(2), 176. 2018. <https://doi.org/10.3390/polym10020176>
- Ali A., Hashmi H.N., Akber H., The Slaughter House Waste Management. *Hydro Nepal: J. Water Energy Environ.* 7, 48–53. 2010
- Ariyaratne W.K.H., Melaen M.C., Eine K., Tokheim L.A., Meat and bone meal as a renewable energy source in cement kilns: Investigation of optimum feeding rate. *Renew. Energy Power Qual.* 1(9), 1244–1249. 2011
- Ashouri R., Jafari D., Esfandyari M., Vatankhah G., Mahdavi M., Valorization of slaughterhouse wastes through transesterification for sustainable biodiesel production using potassium hydroxide as a heterogeneous catalyst. *J. Clean. Prod.* 447, 141596. 2024
- Bandaw T., Herago T., Review on abattoir waste management. *Global Veterinaria*, 19(2), 517–524. 2017
- Banković-Ilić I.B., Stojković I.J., Stamenković O.S., Veljković V.B., Hung Y.T., Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 32, 238–254. 2014
- Bhaskar N., Modi V.K., Govindaraju K., Radha C., Lalitha, R.G., Utilization of meat industry by-products: Protein hydrolysate from sheep visceral mass. *Bioresour. Technol.* 98, 388–394. 2007
- Borowski S., Boniecki P., Kubacki P., Czyżowska A., Food waste co-digestion with slaughterhouse waste and sewage sludge: digestate conditioning and supernatant quality. *Waste Manag.* 74, 158–167. 2018
- Cascarosa E., Gea G., Arauzo J., Thermochemical processing of meat and bone meal: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16(1), 942–957. 2012
- Chowdhury M.W., Nabi M.N., Arefin M.A., Rashid F., Islam M.T., Gudimetla P., Muyeen S.M., Recycling slaughterhouse wastes into potential energy and hydrogen sources: An approach for the future sustainable energy. *Bioresour. Technol. Rep.* 19, 101133. 2022
- Chakraborty R., Sahu H., Intensification of biodiesel production from waste goat tallow using infrared radiation: Process evaluation through response surface methodology and artificial neural network. *Applied Energy*. 114, 827–836. 2014
- Demirbas A., Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. *Energy Convers. Manag.* 52(2), 1280–1287. 2011
- Genisel M., Erdal S., Turk H., Dumlupinar R., The availability of bone powder as inorganic element source on growth and development in wheat seedlings. *Toxicol. Ind. Health.* 28, 458–462. 2012.
- Guisado J.M., Becerra J.A., Chacartegui, R., Scenarios for Energy Recovery from Slaughterhouse Wastes in Europe. *iScience*. 2025
- Główny Inspektorat Weterynarii. <https://www.wetgiw.gov.pl/>

- Hassen-Trabelsi A.B., Kraiem T., Naoui S., Belayouni H., Pyrolysis of waste animal fats in a fixed-bed reactor: Production and characterization of bio-oil and bio-char. *Waste Manag.* 34(1), 210–218. 2014
- Hosseinzadeh-Bandbafha H., Nizami A.S., Kalogirou S.A., Gupta, V.K., Park, Y.K., Fallahi A., Tabatabaei M., Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 161, 112411. 2022
- Irshad A., Sharma B.D., Abattoir by-product utilization for sustainable meat industry: A review. *J. Anim. Prod. Adv.* 5, 681–696. 2015.
- Kabeyi M., Olanrewaju O., Slaughterhouse waste to energy in the energy transition with performance analysis and design of slaughterhouse biodigester. *J. energy manag. Techno.* 6(3), 188–208. 2022
- Kadawarage R.W., Dunislawski A., Siwek M., Ecological footprint of poultry production and effect of environment on poultry genes. *Phys. Sci. Rev.* 9(2), 567–589. 2024.
- Kantarli I.C., Stefanidis S.D., Kalogiannis K.G., Lappas A.A., Utilisation of poultry industry wastes for liquid biofuel production via thermal and catalytic fast pyrolysis. *Waste Manag. Res.* 37, 157–167. 2019
- Koryś K.A., Latawiec A.E., Grotkiewicz K., Kuboń M., The review of biomass potential for agricultural biogas production in Poland. *Sustainability.* 11(22), 6515. 2019
- Limeneh D.Y., Tesfaye T., Ayele M., Husien N.M., Ferede E., Haile A., Kong F., A comprehensive review on utilization of slaughterhouse by-product: Current status and prospect. *Sustainability.* 14(11), 6469. 2022
- Macavei M.G., Gheorghe V.C., Ionescu G., Volceanov A., Pătraşcu R., Mărculescu C., Magdziarz A., Thermochemical conversion of animal-derived waste: a mini-review with a focus on chicken bone waste. *Processes.* 12(2), 358. 2024
- Mozhilarasi V., Bhagiratha C., Sathish G., Farha T., Srinivasan S.V., Investigation on pyrolysis and incineration of chrometanned solid waste from tanneries for effective treatment and disposal: an experimental study. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27, 29778–29790. 2020
- Mozhilarasi V., Natarajan T.S., Slaughterhouse and poultry wastes: management practices, feedstocks for renewable energy production, and recovery of value added products. *Biomass Convers. Bior.* 15(2), 1705–1728. 2025
- Otero A., Mendoza M., Carreras R., Fernández B., Biogas production from slaughterhouse waste: Effect of blood content and fat saponification. *Waste Management,* 133, 119–126. 2021
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 czerwca 2020 r. (Dz.U. 2020 poz. 1090)
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1774/2002 z dnia 3 października 2002 r. ustanawiające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r. określające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 (rozporządzenie o produktach ubocznych pochodzenia zwierzęcego)
- Sai Akhil U., Alagumalai A., A short review on valorization of slaughterhouse wastes for biodiesel production. *ChemistrySelect,* 4(45), 13356–13362. 2019
- Sander A., Kościak M.A., Kosir D., Milosavljević N., Vuković J.P., Magić, L., The influence of animal fat type and purification conditions on biodiesel quality. *Renew. Energy.* 118, 752–760. 2018
- Staroń P., Kowalski Z., Staroń A., Banach M., Thermal treatment of waste from the meat industry in high scale rotary kiln. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 14, 1157–1168. 2017

_ Katarzyna Wojtkowiak, Ewelina Kolankowska, Agnieszka Markowska-Mendik, Dariusz J. Choszcz

Stępień A., Wojtkowiak K., Grzywińska-Rąpca M., Pawluczuk J., Meat processing waste as a source of nutrients and its effect on the physicochemical properties of soil. *Sustainability*, 14(3), 1341. 2022

Stępień A., Wojtkowiak K., Kolankowska E., Pietrzak-Fiećko R., Corn Grain Fatty Acid Contents in Response to Organic Fertilisers from Meat Industry Waste. *Sustainability*, 16(3), 952. 2024

The Animal By-Products (Scotland) Regulations 2003. [https:// www.legislation.gov.uk/ssi/2003/411/ contents/made](https://www.legislation.gov.uk/ssi/2003/411/contents/made)

Walsh C.: The use of Animal By-Products—AHDB Beef & Lamb. EBLEX 130514:1–73. 2014.

Weiland P., Biogas production: current state and perspectives. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 85, 849–860. 2010

Adres do korespondencji: ewelina.kolankowska@uwm.edu.pl

ORCID: Katarzyna Wojtkowiak 0000-0001-5782-0171

ORCID: Ewelina Kolankowska 0000-0003-1333-1581

ORCID: Agnieszka Markowska-Mendik 0000-0001-9846-3000

ORCID: Dariusz J. Choszcz 0000-0002-3119-9038

ZUŻYCIE PALIWA AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ NA PRZYKŁADZIE LUBLINA

Grzegorz Zająć¹, Katarzyna Klempka², Karolina Kocwa², Joanna Szyszlak-Bargłowicz¹

¹ Katedra Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

² Dyplomantka w Katedrze Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

Wraz z rozwojem miast i coraz większą ilością pojazdów indywidualnych rośnie znaczenie transportu zbiorowego. Komunikacja miejska ma obecnie kluczowe znaczenie dla prawidłowego i efektywnego funkcjonowania miasta. Rozwój transportu zbiorowego wpływa na zmiany w strukturze wykorzystywanych środków transportu poruszających się po ulicach miasta. Nie bez znaczenia jest także na postęp technologiczny w kontekście budowy pojazdów, ekologii oraz inteligentnych systemów transportowych.

Sprawny system transportowy odpowiada za spełnianie postulatów transportowych mieszkańców, wynikających z istoty mobilności miejskiej. Miasta wykorzystują różne typy pojazdów w komunikacji miejskiej.

Lublin jest miastem, które charakteryzuje się promienisto – pierścieniowym ułożeniem komunikacyjnym. Większość ruchu, odbywa się z dzielnic mieszkalnych do dzielnic przemysłowych. Promienie w tego typu układzie spełniają funkcje transportową między centrum miasta, a resztą obsługiwanych obszarów. Pierścienie natomiast stanowią obwodnice, które zmniejszają ruch w centrum.

Ze względu na infrastrukturę stosuje wyłącznie autobusy i trolejbusy. Organizatorem transportu zbiorowego jest Zakład Transportu Miejskiego (ZTM), który zajmuje się transportem mieszkańców w mieście oraz gminach ościennych.

Ważnym elementem działania komunikacji miejskiej są koszty jakie ponosi przedsiębiorstwo. Do takich kosztów należą koszty związane z infrastrukturą, kadrą pracowniczą oraz z pojazdami, którymi dysponuje przedsiębiorstwo. Jednym z najważniejszych wydatków związanych z pojazdami jest paliwo.

Efektywne zużycie paliwa stanowi obecnie istotną kwestię środowiskową, dlatego tak ważne jest osiągnięcie optymalnego zużycia paliwa na trasach. Ilość zużywanego paliwa w sposób bezpośredni wpływa również na koszty ponoszone przez przedsiębiorstwa transportowe. Na poziom zużycia paliwa w pojazdach nie wpływa jeden czynnik, jest to zazwyczaj kilka czynników które ze sobą współgrają. Pojazdy komunikacji miejskiej w porównaniu do pojazdów osobowych charakteryzują się większą masą (ze względu na wielkość

pojazdu i ilość przewożonych osób) oraz liczbą zatrzymań, które są częstsze niż dla samochodów osobowych. Napotykać one również częściej na korki czy zmiany wysokości terenów które bardziej na nie wpływają, ponieważ pojazd potrzebuje więcej energii, aby ruszyć z miejsca czy podjechać pod wzniesienia zwłaszcza obciążony pasażerami.

Dlatego celem pracy jest analiza zużycia paliwa przez autobusy wykorzystywane w transporcie miejskim. Znaczenie tego problemu wynika z rosnącej potrzeby ograniczania kosztów paliwa i emisji spalin w transporcie publicznym, co stanowi jeden z kluczowych elementów zrównoważonego rozwoju transportu publicznego.

Charakterystyka komunikacji miejskiej

Transport miejski nazywany również komunikacją miejską służy do przemieszczania się osób w obrębie miasta lub danej aglomeracji miejskiej. Transport miejski można rozumieć jako regularny oraz publiczny transport zbiorowy, który wykonywany jest na zlecenie lokalnych władz¹.

Lokalne władze odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu transportu publicznego². To właśnie one podczas planowania systemu komunikacji powinny uwzględniać potrzeby podróżnych. Podstawowym celem transportu miejskiego jest umożliwienie szybkiego, komfortowego oraz przystępnego cenowo poruszania się po mieście. Ważne jest, aby był on dostępny dla wszystkich bez względu na status społeczny czy miejsce zamieszkania. Musi być również dostosowany do osób z niepełnosprawnościami oraz osób starszych. Takie osoby należą do grup społecznych, które posiadają specjalne potrzeby³. Transport miejski powinien posiadać dogodnie połączenia z najważniejszymi punktami w mieście, aby zapewnić bezproblemowe przemieszczanie mieszkańców. Komunikacja miejska obejmuje różne środki transportu takie jak: autobusy, trolejbusy, metro, kolej podmiejską oraz tramwaje. Każdy z nich ma indywidualne cechy oraz aspekty które przyciągają konkretne grupy odbiorców.

Dostępność transportu miejskiego obejmuje takie zagadnienia jak: infrastruktura dostosowana do potrzeb osób o ograniczonej mobilności (osoby starsze oraz niepełnosprawne), odległość między przystankami, wysokość opłat, regulacje prawne dotyczące przewozu, możliwości uzyskania informacji o kursowaniu pojazdów, ich częstotliwości oraz czasu przejazdu⁴.

¹ Wyszomirski O., Transport miejski. Ekonomika i organizacja, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 2010

² Ziemiński K., Misiejko A., Realizacja zadań związanych z lokalnym transportem zbiorowym przez gminę - wybrane zagadnienia: (w:) Organizacja publicznego transportu zbiorowego przez jednostki samorządu terytorialnego ze szczególnym uwzględnieniem prawnych aspektów współdziałania, Prawo 197, s. 13, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, 2016

³ Ogórek P., Kulig M., Przeniczny A. Dostosowanie miejskich systemów transportu publicznego do potrzeb osób z ograniczonymi możliwościami poruszania się, w tym szczególnie do potrzeb osób z niepełnosprawnościami i osób starszych, Transport Miejski i Regionalny, 5, s. 14–20, 2019

⁴ Gadziński J., Beim M., Dostępność przestrzenna lokalnego transportu publicznego w Poznaniu, Transport Miejski i Regionalny, s. 10–16, 2009

Znaczenie infrastruktury w kontekście transportu zbiorowego

Infrastruktura transportowa stanowi podstawę do sprawnego działania szeroko rozumianego transportu. To budowle, które charakteryzują się trwałym połączeniem z terenem, będące podstawą linii i punktów transportowych oraz służą jako fundament rozwoju społeczno-gospodarczego. W pojęciu infrastruktury transportowej występują specyficzne cechy, obejmujące również infrastrukturę miejską. Do takich cech należy: niepodzielność techniczna, długi okres powstawania i żywotności, który powinien być brany pod uwagę na etapie planowania oraz wysoka kapitałochłonność⁵.

Wyróżnia się dwa rodzaje infrastruktury: liniową i punktową. Do infrastruktury liniowej zaliczamy wszystkie rodzaje dróg transportowych, w tym linie energetyczne, sieci rurociągowo-drogi samochodowe i kolejowe. Do tej kategorii zaliczamy również budowle inżynierskie jak mosty, tory czy nasypy. Infrastrukturę punktową obejmują punkty i węzły transportowe, a także urządzenia takie jak rampy, magazyny czy perony.

Efektywna infrastruktura stanowi kluczową rolę w prawidłowym przepływie osób w miastach. Składa się z szeregu elementów infrastruktury liniowej i punktowej, które wspólnie tworzą sieć infrastruktury miejskiej.

Miejska sieć transportowa rozwija się w sposób powolny i chaotyczny - wynika to ukształtowania zabudowy w miastach, szczególnie w regionach centralnych. Jej problemem jest brak regularnej, zorganizowanej i udokumentowanej sieci m.in. wodociągowej, kanalizacyjnej i gazowej⁶. Dlatego też wiele miast decyduje się na ograniczenie w tym obszarze ruchu samochodowego indywidualnego, wprowadzając strefy ruchu. Możemy wyróżnić cztery strefy (rys. 1.):

- strefa 0 – o najwyższym zakresie, który priorytetowo traktuje ruch pieszy,
- strefa A – o dużej koncentracji celów podróży i niewystarczającej infrastrukturze dla płynnego indywidualnego ruchu samochodowego (dlatego ta obsługiwana jest przez komunikację miejską),
- strefa B – łącząca ruch indywidualny i zbiorowy, występująca na terenach podmiejskich, przemysłowych i rekreacyjnych,
- strefa C – dominującymi środkami transportu są indywidualne pojazdy.

Wprowadzenie stref wpływa na kształtowanie sieci przewozów miejskich oraz na upłynnienie ruchu poprzez oddzielenie stref dostawczych od pieszych. Podział ten traktuje priorytetowo transport zbiorowy⁷.

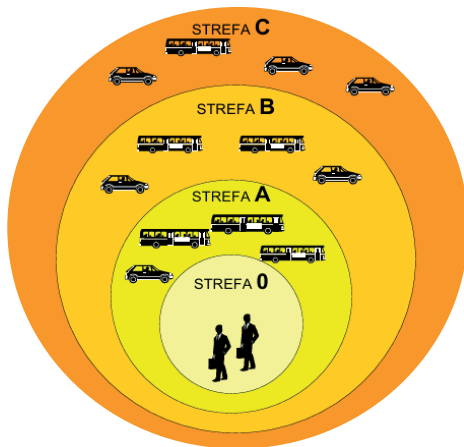
Kształtowanie infrastruktury transportowej w obszarach miejskich stanowi kluczowy element rozwoju struktury przestrzennej miast. Efektywne wykorzystanie infrastruktury w praktyce umożliwia zwiększenie płynności ruchu oraz zmniejszenie zanieczyszczeń. Osiągnąć to można za pomocą propagowania zmiany przyzwyczajeń do podróży samochodem na rzecz podróży komunikacją miejską, rowerami lub ruchu pieszego. Wsparciem w tych rekomendacjach jest wprowadzanie stref z zakazem ruchu i stref płatnego parkowania, wydzielanie pasów ruchu dla autobusów oraz rozwój infrastruktury rowerowej i pieszej. Inną metodą zwiększenia efektywności jest promowanie car-sharingu oraz miejsc takich jak

⁵ Wojewódzka-Król K., Rolbiecki R., *Infrastruktura transportu: Europa, Polska-teoria i praktyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN 2018

⁶ Saniuk S., Witkowski K., *Zadania infrastruktury transportu miejskiego w logistyce miejskiej*, Logistyka, 2, CD, s. 495–506, 2011

⁷ Ibidem

„Park&Ride”, które ograniczają ilość pojazdów w centrach miast. Natomiast zmniejszeniu zanieczyszczenia w miastach można osiągnąć promując ekologiczny styl jazdy, wprowadzając nowe rozwiązania technologiczne, które umożliwiają zmniejszenie emisji toksycznych składników spalin oraz poprzez wprowadzanie stref czystego transportu⁸.



Rysunek 1. Podział stref ruchu

Źródło: Wojewódzka-Król, Załoga, 2022

Sieć infrastruktury transportowej to ważny element logistyki miast - jest podstawą do tworzenia trwałych, wydajnych i efektywnych dróg przepływu towarów i osób. Sprawność systemu zależy od właściwego doboru infrastruktury miejskiej oraz wysokości kapitału. Obecnie miasta starają się zachęcić jak największą grupę osób do wybierania transportu zbiorowego jako alternatywy dla samochodów osobowych.

Tabor komunikacji miejskiej

Nieodłączną częścią działalności komunikacji miejskiej jest jej tabor. Wyróżniamy pięć głównych kategorii pojazdów komunikacji miejskiej: autobusy, trolejbusy, tramwaje, metro i kolej miejska. Wszystkie rodzaje tych pojazdów odznaczają się indywidualnymi cechami charakterystycznymi.

Najpowszechniej spotykanymi i użytkowanymi pojazdami są autobusy miejskie, które występują we wszystkich miastach, w których znajduje się komunikacja zbiorowa. Autobusy dzielimy na cztery kategorie ze względu na ich długość: MINI o długości do 7,5 m, MID I o długości od 7,5 do 10,5 m, MAX I o długości od 10,5 do 13 m i MEGA o długości powyżej

⁸ Krajewska R., Łukasik Z., Efektywne wykorzystanie infrastruktury transportowej w miastach: przykłady dobrych praktyk, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18, s. 203–211, 2017

13 m. Każdy z nich jest dostosowany do przewożenia innej ilości pasażerów, który to parametr jest uzupełniający. Innym podziałem jest umowna klasyfikacja autobusów ze względu na poziom podłogi i dostępność pojazdu dla pasażerów:

- autobusy niskopodłogowe (podłoga bez stopni wejściowych we wszystkich drzwiach),
- autobusy niskowejściowe (część podłogi w autobusie wraz z przynajmniej jednym wejściem dostępne bez stopni),
- autobusy średniopodłogowe (posiadają stopnie wejściowe, poziom podłogi znajduje się nie wyżej niż 660 mm od jezdni),
- autobusy wysokopodłogowe (posiadają stopnie wejściowe, poziom podłogi znajduje się powyżej 660 mm od jezdni).

Autobusy miejskie cechują się dużą zwrotnością i krótkim czasem przyspieszania przy stosunkowo niedużych prędkościach maksymalnych. Natomiast sieć linii autobusowych charakteryzuje się dużą elastycznością, ma dużą zdolność przewozową i komunikacyjną. Komunikacja autobusowa stanowi też podstawowy środek łączący z innymi rodzajami transportu.

Podobnymi cechami można określić sieć trolejbusową. Jej podstawową różnicą jest uzależnienie względem sieci trakcyjnej, co powoduje zależność kursowania linii względem lokalizacji trakcji.

Tramwaje wymagają posiadania rozbudowanej infrastruktury, która najczęściej nie jest projektowana na etapie powstawania miast. Adaptacja istniejącej infrastruktury pod system tramwajowy jest kłopotliwa. Obecnie często dochodzi do modernizacji pod działanie szybkich tramwajów. Ten rodzaj pojazdów używany jest często jako główny przy transporcie na trasach o dużym natężeniu.

Kolej regionalna używana jest w większych miastach - jej założeniem jest łączenie terenów podmiejskich z aglomeracją. Wykorzystuje do swojej działalności już istniejącą infrastrukturę kolejową. Znaczną zaletą tego środka transportu jest duża przepustowość. Natomiast metro nazywane również szybką koleją miejską podziemną, posiada największą prędkość komunikacyjną ze wszystkich środków transportowych. Metro sprawdza się na obszarze o dużej gęstości zaludnienia i o dużych potrzebach transportowych⁹.

Producenci dostosowują środki komunikacji miejskiej do wymagań przewoźników. Mają wpływ na ich wielkość, typ pojazdu, wyposażenie, kolorystykę. Ustala się takie parametry jak długość, szerokość, pojemność pojazdów, ilość miejsc stojących i siedzących. Ilość i rodzaj pojazdów zamawianych do taboru zależna jest od potoku pasażerów oraz od posiadanej infrastruktury w mieście (liniowej, punktowej)¹⁰.

Zużycie paliwa w transporcie miejskim

Jednym z kluczowych czynników branych pod uwagę w transporcie lądowym jest koszt paliwa, który jest ściśle powiązany ze stabilnością rynku. W przypadku wystąpienia zjawiska deficytu paliwa na rynku w momencie dużego zapotrzebowania następuje wzrost cen i spadek dostępności usług transportowych. Zmiany na rynku paliw i rosnące znaczenie kosztów

⁹ Zalewska A., Dobór środków transportu komunikacji zbiorowej do tras przejazdów oraz potrzeb pasażerów, *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18, 6, s. 1799–1802, CD, 2017

¹⁰ Kosobucki Ł., Popyt na przewozy jako determinanta wielkości taboru obsługującego autobusowe linie komunikacyjne, *Studia Ekonomiczne*, 143, s. 163–171, 2013

paliwa dla przedsiębiorstw transportowych doprowadziły do rozwoju technologii redukujących zużycie paliwa w motoryzacji¹¹.

Przedsiębiorstwa zajmujące się świadczeniem usług w ramach komunikacji miejskiej zmierzają do znacznego ograniczenia zużycia paliwa i eliminacji negatywnego oddziaływania transportu na środowisko. Tego rodzaju tendencje wynikają z przyjętych uwarunkowań prawnych. W związku z tym organizatorzy przewozów podejmują się inwestycji wymiany floty na pojazdy spełniające obecne normy emisji spalin oraz wprowadzają rozwiązania zmniejszające zużycie energii. W ramach modernizacji taboru autobusowego starsze modele autobusów są wymieniane na pojazdy spełniające normę Euro VI lub na pojazdy o napędzie elektrycznym czy hybrydowym¹².

Zużycie paliwa to wskaźnik służący do oceny właściwości eksploatacji pojazdu, wyrażany w dm^3 (l) na dystans najczęściej na 100 km ¹³. W celu ustalenia przebiegu zużycia paliwa dla pojazdów komunikacji i oceny ich efektywności wprowadzono cykle jezdne. Cykl jazdy to zapis ruchu pojazdu, przedstawiający profil jego prędkości w zależności od czasu. Choć nie dostarcza szczegółowych informacji o stylu jazdy, odzwierciedla warunki komunikacyjne panujące w badanej aglomeracji miejskiej i umożliwia analizę energetyczną ruchu pojazdów¹⁴.

Wydażność paliwowa jest na razie jednym z najbardziej znaczących czynników decydujących o konkurencyjności pojazdów użytkowych, mimo to sam proces zużywania paliwa jest procesem zależnym od wielu zmiennych.

Zużycie paliwa zależy od pokonanej trasy, wartości opałowej używanego paliwa, energochłonności ruchu i sprawności napędu. Na energochłonność wpływają opory ruchu takie jak: opór aerodynamiczny, opór tocznienia i wzniesienia oraz opór tocznienia. Do innych czynników wpływających na energochłonność należą m.in. warunki atmosferyczne oraz obciążenie i stan techniczny pojazdu.

Przebieg trasy ma istotny wpływ na ilość zużytego paliwa. Długość trasy oraz jej charakter mają kluczowe znaczenie, pod uwagę brana jest ilość przystanków, ukształtowanie powierzchni, infrastruktura drogowa czy natężenie ruchu. Infrastruktura i natężenie wpływają na chwilowe zużycie paliwa, dlatego należy rozpatrywać m.in. ilość i rodzaj skrzyżowań, ograniczenia prędkości, długość prostych odcinków drogowych, natężenie i płynność ruchu oraz występowanie utrudnień. Pod uwagę szczególnie w obszarze miejskim brany jest cykl jezdny, czyli sekwencja ruszania, przyspieszania, jazdy ze stałą prędkością i hamowania. Zużycie paliwa podczas tych czynności zależne jest od stylu jazdy kierowcy, agresywne przyspieszanie i nagłe hamowanie zwiększają zużycie, dlatego tak ważny jest eco-driving¹⁵. Dostosowanie stylu jazdy do warunków zewnętrznych, nachylenia terenu i masy pojazdu wraz z pasażerami

¹¹ Burdzik R., Simiński D., Analysis of parameters affecting fuel consumption based on statistical modelling, *Transport Samochodowy*, 1, 2023

¹² Marczak H., Koszty zużycia energii i emisji zanieczyszczeń wynikające z użytkowania autobusów miejskich, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 17, 2016

¹³ Prochowski L., Żuchowski A., *Samochody ciężarowe i autobusy*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2021

¹⁴ Szumska E., Zielińska D., Pawełczyk M., Konstrukcja cykli jazdy komunikacji miejskiej w Kielcach, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 17, 12, s. 1372–1376, 2016

¹⁵ Filipczyk J., Prognozowanie zużycia paliwa na wybranej trasie przewozu, *Logistyka*, 6, CD 3, s. 3566–3573, 2014

również jest elementem decydującym o zużyciu paliwa. Agresywna jazda, duża prędkość obrotowa silnika, ustawienia silnika, dodatkowa masa, trasa przejazdu, stan opon czy korzystanie z klimatyzacji lub ogrzewania mogą wpłynąć na zmianę zużycia paliwa nawet o 45%¹⁶.

Czynniki wpływające na zużycie paliwa

Na zużycie paliwa ma wpływ wiele czynników, wśród których można wyróżnić: czynniki techniczne, czynniki środowiskowe, czynniki atmosferyczne oraz czynniki ludzkie.

Czynniki techniczne

Do czynników technicznych zaliczyć można typ zastosowanego silnika w pojeździe oraz masę i aerodynamikę pojazdu.

Rodzaj napędu wpływa na wielkość zużytego paliwa ze względu na indywidualne cechy, które każdy z nich posiada. Silniki zasilane olejem napędowym charakteryzują się innym zużyciem paliwa niż autobusy napędzane CNG. Najbardziej pożądanymi napędami są te zużywające mniejszą ilość paliwa oraz wytwarzające mniej szkodliwych substancji¹⁷.

Masa pojazdu jest również ważnym czynnikiem związanym ze zużyciem paliwa. Masa pojazdu składa się z masy: pustego pojazdu, paliwa w zbiorniku, wyposażenia i pasażerów wraz z kierowcą¹⁸. Większe autobusy przewożące większą ilość pasażerów zwykle zużywają więcej paliwa ze względu na większy opór toczenia oraz masę. Zakłada się, że zużycie paliwa może wzrosnąć od 0,5 do 1 litra na 100 km, jeśli zwiększymy wagę autobusu o tonę. Większa liczba pasażerów oznacza wzrost wagi całego autobusu a tym samym zużycie większej ilości paliwa. Zakładając, że autobus miejski waży od 10 do 20 ton i potrafi zabrać na pokład nawet 100 osób sprawia to, że jego waga wraz z pasażerami mocno wzrasta. Pojazd potrzebuje wtedy więcej energii, aby ruszyć oraz rozpędzić się przez co następuje wzrost zużycia paliwa. Sposobem na zmniejszenie masy autobusu jest zastosowanie równie wytrzymałych i bezpiecznych materiałów, lecz lżejszych. Można do nich zaliczyć aluminium, kompozyty węglowe i wysokowytrzymałe tworzywa sztuczne.

Czynniki środowiskowe

Eksploatacja autobusów miejskich różni się od eksploatacji innych pojazdów. Charakteryzuje się ona niską średnią prędkością, wysoką częstotliwością przyspieszeń i zwalniania oraz długim czasem postojów¹⁹. Autobusy komunikacji miejskiej poruszają się po miastach,

¹⁶ Burdzik R. Simiński D., Analysis of parameters affecting fuel consumption based on statistical modelling..., op. cit.

¹⁷ Kołdys K., Czech P., Gustof P., Kwiatkowski D., Turoń K., Urbańczyk R., Rzeczywiste zużycie paliwa w silnikach wysokoprężnych na przykładzie wybranych samochodów osobowych, *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18, 6, s. 296–307, CD, 2017

¹⁸ Zacharof N.-G., Fontaras G., Ciuffo B., Tsiakmakis S., Anagnostopoulos K., Marotta A., Pavlovic J., Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO₂ emissions of passenger cars, Publications Office of the European Union Luxembourg 2016

¹⁹ Rosero F., Fonseca N., López J.-M., Casanova J., Effects of passenger load, road grade, and congestion level on real-world fuel consumption and emissions from compressed natural gas and diesel urban buses, *Applied Energy*, 282, s. 116195, 2021

gdzie zazwyczaj występuje duże natężenie ruchu. Pojazd wielokrotnie przyspiesza oraz zwalnia, napotyka on na swojej drodze zatory drogowe oraz sygnalizację świetlną. Musi również zatrzymywać się na każdym przystanku w celu zabrania pasażerów, niekiedy przystanki oddalone są od siebie o nieduże odległości co również potęguje ilość zatrzymań. Częsta zmiana prędkości i jazda w „korku drogowym” sprawiają, że pojazd zużywa większe ilości paliwa²⁰. Autobusy poruszające się po ulicach miasta napotykają również zróżnicowaną rzeźbę terenu. Są to wzniesienia oraz zjazdy które z reguły nie należą do stromych, lecz dla takich pojazdów jakimi są autobusy z dużą liczbą pasażerów potrafią stanowić wyzwanie. Podczas jazdy pod wzniesienie potrzebuje on więcej energii, a tym samym musi zużyć więcej paliwa, podczas jazdy z wzniesienia zużywają się bardziej elementy układu hamulcowego²¹.

Czynniki atmosferyczne

Warunki atmosferyczne mają istotny wpływ na zużycie paliwa w pojazdach, dotyczy to również autobusów komunikacji miejskiej. Opady atmosferyczne takie jak deszcz oraz śnieg a także mgła i oblodzenie sprawiają, że kierowcy jeżdżą ostrożniej. Deszcz i śnieg zmieniają właściwości nawierzchni drogi, co wpływa na przyczepność i opór toczenia pojazdu²². W obawie przed wpadnięciem w poślizg lub utratą panowania nad autem częściej hamują, co również przekłada się na płynność ruchu panującego na ulicach miasta. Intensywne opady deszczu pogarszają widoczność na drodze, a w połączeniu z porą dnia mogą być uciążliwe dla kierowców. Muszą oni wtedy bardziej skupić się na drodze, ponieważ światła pojazdów nadjeżdżających z naprzeciwka w połączeniu z deszczem potrafią ograniczyć widoczność.

Śnieg również nie wpływa korzystnie na zużycia paliwa, przy dużych opadach gromadzi się on na ulicach w szybkim tempie. Koła pojazdów mogą ślizgać się na nawierzchni drogi powodując straty energii. Służby dbające o ulice miast nie posiadają mocy przerobowych, aby w tym samym czasie odśnieżyć całe miasto. Jazda po śniegu wiąże się ze wzrostami oporu toczenia i pogorszeniem przyczepności przez co częściej kierowców wspomagają systemy takie jak ABS i ESP. W takich warunkach kierowcy poruszają się prędkościami niższymi niż w warunkach normalnych²³.

Niskie oraz wysokie temperatury także wpływają na zużycie paliwa. Przy niskich temperaturach silnik dłużej się nagrzewa, paliwo również potrzebne jest do zapewnienia komfortu podróży. Natomiast przy wysokich temperaturach na obciążenie silnika wpływa np. korzystanie z klimatyzacji. Temperatura otoczenia wpływa na takie elementy jak: opony, lepkość oleju silnikowego oraz działanie silnika podczas jego zimnego rozruchu. Dodatkowo temperatura może mieć także wpływ na gęstość powietrza i opory aerodynamiczne. Zmiana temperatury wpływa na właściwości opony, czyli na zmianę ciśnienia wewnątrz nich oraz na odkształcenia, które mogą się pojawić, a również wpływają na zużycie energii²⁴.

²⁰ Śmieszek M., Mateichyk V., Determining the fuel consumption of a public city bus in urban traffic, 1199, s. 012080, 2021

²¹ Rosero F. et al., Effects of passenger load, road grade, and congestion level on real-world fuel consumption and emissions from compressed natural gas and diesel urban buses..., op. cit.

²² Zacharof N.G. et al., Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO₂ emissions of passenger cars..., op. cit.

²³ Ibidem

²⁴ Ibidem

Czynniki ludzkie

Styl jazdy kierowcy ma duży wpływ na zużycie paliwa. Zachowania kierowców podczas prowadzenia pojazdów są uwarunkowane indywidualnie, ponieważ zależą od wieku, płci oraz temperamentu. Charakteryzują się wybieranymi prędkościami, dynamiką przyspieszeń oraz doborem biegów. Kierowcy dostosowują swoje umiejętności do rodzaju, stanu oraz typu drogi, po której się poruszają, do warunków pogodowych, do natężenia ruchu oraz do typu podróży jaki odbywają. Do czynników wpływających na zużycie paliwa, na które mają wpływ kierowcy należą²⁵:

- zmiana biegów,
- niepotrzebna praca silnika na biegu jałowym,
- jazda z dużą prędkością,
- wzorce przyspieszania i hamowania.

Szkolenie kierowców w zakresie eco-drivingu poprawia efektywność paliwową poprzez optymalne zmiany biegów, utrzymywanie stałej prędkości, przewidywanie sytuacji na drodze np. zmiany sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniach oraz płynne hamowanie i zatrzymywanie się. Płynna jazda i unikanie gwałtownym przyspieszeń oraz niepotrzebnych hamowań wpływają pozytywnie na zużycie paliwa. Aby zaoszczędzić paliwo warto też stosować hamowanie silnikiem poprzez redukcję biegów^{26,27}.

Środki transportu zbiorowego w Lublinie

Lublin dysponuje zróżnicowanym systemem transportu miejskiego, obejmuje on autobusy oraz trolejbusy. Umożliwia to optymalne dostosowanie środków transportu do potrzeb mieszkańców oraz struktury przestrzennej miasta. Są one w stanie dotrzeć do wielu miejsc dzięki możliwości rozbudowy sieci połączeń. Infrastruktura obsługująca transport autobusowy oraz trolejbusowy nie jest aż tak inwazyjna, jak infrastruktura innych środków transportu miejskiego. Korzystają one z ogólnodostępnej infrastruktury drogowej, którą należy przystosować do ich funkcjonowania. Obejmuje to takie elementy jak: planowanie optymalnych tras, wyznaczanie przystanków budowę wiat oraz tworzenie zatoczek autobusowych, które mają za zadanie ułatwić płynny ruch pojazdów. Na końcu tras budowane są pętle autobusowe lub zajezdnie, które pełnią funkcję przystanków końcowych i miejsc postojowych między kursami²⁸. Trolejbusy do korzystania ze specjalnie przygotowanej infrastruktury potrzebują również sieci trakcyjnej umieszczonej nad ulicami miasta, która dostarcza im energię elektryczną.

W Lublinie organizatorem komunikacji miejskiej jest Zarząd Transportu Miejskiego (ZTM). Do jego zadań należą: opracowanie tras, rozkładów jazdy, sprzedaż biletów oraz ich kontrola. Przewoźnikami wykonującymi zlecenia ZTM w Lublinie są: Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne (MPK), Lubelskie Linie Autobusowe oraz Grupa IREX. W mieście dostępnych jest 57

²⁵ Ibidem

²⁶ Ibidem

²⁷ Ibidem, Andrzejewski M., Nowak M., Wpływ stylu jazdy według zasad eco-drivingu na emisję substancji toksycznych z lekkiego samochodu użytkowego, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 20, 6, s. 33–37, 2019

²⁸ Zalewska A., Dobór środków transportu komunikacji zbiorowej do tras przejazdów oraz potrzeb pasażerów..., op. cit.

linii autobusowych, które obejmują trasy miejskie oraz podmiejskie, 14 linii trolejbusowych oraz 3 linie nocne, zapewniające wygodną komunikację o każdej porze dnia i nocy.

Autobusy i trolejbusy w taborze MPK Lublin

Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Lublinie (MPK) w swoim taborze posiada 256 autobusów w 17 różnych typach. Wśród nich znajdują się autobusy z silnikami spalinyowymi jak również bardziej nowoczesne autobusy elektryczne oraz wodorowe. Zestawienie autobusów taboru MPK Lublin przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Marki oraz typy autobusów w taborze MPK Lublin (opracowane na podstawie danych MPK)

Marka	Typ	Liczba
Autosan	M12LF (Sancity 12LF)	52
Autosan	Sancity 9LE	15
Solaris	Urbino 12	19
Solaris	Urbino 12 Electric	32
Solaris	Urbino 12 Hydrogen	1
Solaris	Urbino 15	1
Solaris	Urbino 18	30
Solaris	Urbino 18 Electric	7
Mercedes-Benz	628 O 530 G CITARO	27
Mercedes-Benz	628 Conecto LF	22
Mercedes-Benz	628 Conecto G	10
Ursus	CS12LFD	18
Ursus	E70110	1
Jelcz	M12114	16
Jelcz	272 Mex	1
Arthur	12 H2 Zero	3
Ikarus	280.26	1
Razem		256

Metodyka badań

Przedmiotem badań było zużycie paliwa wybranych autobusów miejskich, eksploatowanych przez MPK w Lublinie. Analiza obejmowała dane z jednego roku eksploatacji autobusów. Analizowano zużycie paliwa autobusów 12 metrowych kursujących na wybranych liniach. Analizowanym modelem autobusu był Autosan M12LF Sancity (rys. 2).



Rysunek 2. Autobus Autosan M12LF Sancity

Źródło: https://mpk.lublin.pl/index.php?id_site=32&id=101

Założenia metodyczne badań

Badania przeprowadzono na podstawie danych uzyskanych z systemu Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie (MPK) oraz Zarządu Transportu Miejskiego (ZTM). Dane zebrane do analizy obejmują okres jednego roku - 2023.

Dane pozyskane z ZTM dotyczyły długości linii autobusowych oraz liczby przystanków na nich. Z systemu wykorzystywanego przez MPK w Lublinie pozyskano dane dotyczące przebiegu oraz ilości zużytego paliwa na 100 km wyszczególnionych na dzień, numer boczny autobusu i numer linii.

Wybór linii autobusowych do szczegółowej analizy

Do analizy wybrano linie o zbliżonych do siebie dystansach. Porównano do siebie dwie linie o najdłuższych trasach oraz dwie o średniej długości. Linie te miały podobną liczbę przystanków. Dodatkowo wybrane linie charakteryzowały się odmiennym przebiegiem tras, jedna obejmowała tylko obszar miejski druga obszar podmiejski.

Długość linii została określona na podstawie wozokilometrów które autobusy pokonywały na liniach oraz rozkładów jazdy obowiązujących w analizowanym okresie. Określając długość linii brano pod uwagę wszystkie warianty długości połączeń występujących na niej, a następnie uśredniono tę długość. Do obliczania długości trasy wzięto pod uwagę jedynie rozkład jazdy obowiązujący w dni powszednie. Natomiast liczbę przystanków przedstawiono w trzech wariantach: średniej liczby przystanków, najmniejszej oraz największej liczby przystanków na linii. W tabeli 2 zestawiono podstawowe informacje dotyczące wybranych linii.

Linie 16 i 47 są najdłuższymi obsługiwanymi przez autobusy Autosan liniami. Linia nr 16 wyjeżdża poza granice miasta, obejmuje miejscowości Dominów i Głusk. Natomiast linia nr 47 kursuje w całości w na obszarze miasta i łączy ze sobą skrajne dzielnice. Linie 8 i 11 należą do tras o średniej długości trasy obsługiwanej przez te autobusy. Linia nr 8 wyjeżdża poza granice miasta łącząc centrum miasta z podmiejską miejscowością Zemborzyce Górne.

Linia 11 kursuje wyłącznie po mieście i łączy ze sobą osiedle Widok z dzielnicą Ponikwoda. Schematyczny przebieg tras przedstawiono na rys. 3.

Tabela 2. Porównanie tras pod kątem długości linii i ilości przystanków

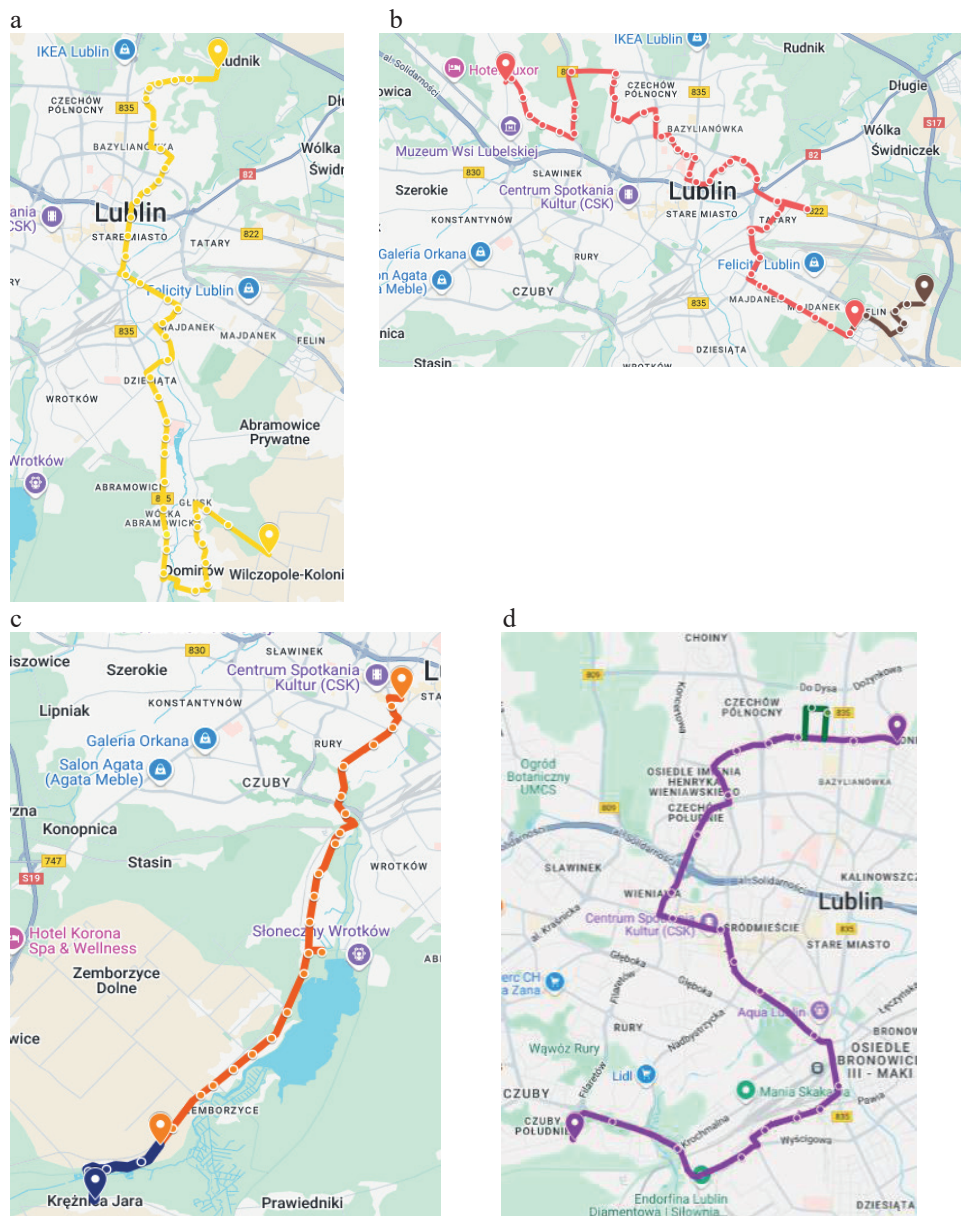
Nr linii	Średnia długość trasy (km)	Średnia liczba przystanków	Najmniejsza liczba przystanków	Największa liczba przystanków
16	21,2	40	38	41
47	21,5	44	40	49
8	13,6	24	22	27
11	13,0	23	22	25

Ponieważ linie 47, 8 i 11, mają niektóre kursy wydłużone w tabeli do analizy podano średnią długości tras. Zmienna wartość liczby przystanków wynika również ze zmiennej długości tras lub jak w przypadku linii 16 pomijaniu niektórych przystanków. Uwzględniono również to, że niektóre przystanki są obsługiwane w dni robocze w wybranych godzinach.

Wyniki analizy zużycia paliwa przez linie 16 i 47 w poszczególnych miesiącach pokazano na rys 4. Analizując przedstawione dane widać różnice w średnim miesięcznym zużyciu na poszczególnych liniach. Mimo zbliżonego dystansu i liczby przystanków ze względu na przebieg całości linii przez obszar miasta zauważyć można większe zużycie paliwa dla linii 47. Średnie roczne zużycie paliwa dla linii 16 wyniosło 39,64 l/100 km, zaś dla linii 47 - 43,8 l/100 km. Różnice zużycia pomiędzy liniami nie były stałe, najmniejszą różnicę zarejestrowano w marcu 1,77 l/100 km, największą w grudniu 6,73 l/100 km. Najwyższe średnie zużycie paliwa na linii nr 16 stwierdzono w marcu gdzie wyniosło 42,98 l/100 km, natomiast na linii 47 wystąpiło w grudniu i wyniosło 47,12 l/100 km. Najmniejsze wartości średniego zużycia paliwa dla linii 16 zarejestrowano w sierpniu (37,71 l/100 km), a dla 47 w kwietniu (41,78 l/100 km).

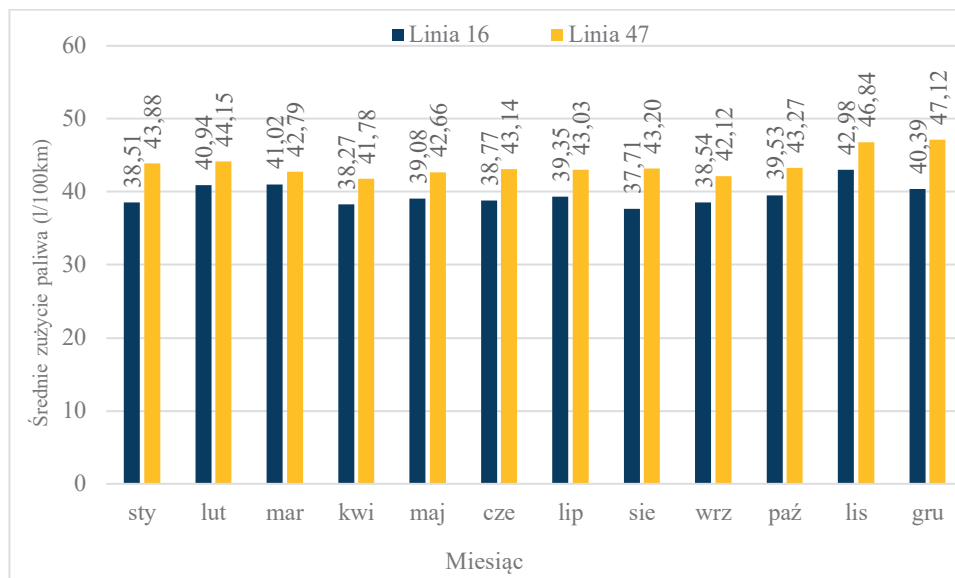
W tabeli 3 przedstawiono średnie roczne zużycie paliwa dla autobusów kursujących na badanych liniach. Najmniejszym średnim zużyciem paliwa na linii 16 w charakteryzował się autobus o numerze 22386 którego średnie zużycie wynosiło 31,31 l/100 km, najwyższym autobus o numerze 22370 – 48,86 l/100 km. Natomiast na linii 47 najmniejsze średnie zużycie paliwa zarejestrowano dla autobusu o numerze bocznym 22422 (37,93 l/100 km) najwyższe zarejestrowano dla autobusu o numerze 22406 (47,96 l/100 km).

Warto zauważyć, że w przypadku linii 16 różnica pomiędzy maksymalnym a minimalnym zużyciem wyniosła 17,6 l/100 km, a dla linii 47 wynosi około 10 l/100 km. Większe zróżnicowanie w zużyciu paliwa widać analizując współczynnik zmienności, który dla linii 16 wyniósł - 8% a dla linii 47 - 5%.



Rysunek 3. Przebiegi analizowanych linii: a) linia nr 16, b) linia nr 47, c) linia nr 8, d) linia nr 11

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 4. Porównanie średniego zużycia paliwa na przestrzeni miesięcy na linii 16 i 47

Źródło: Opracowanie własne

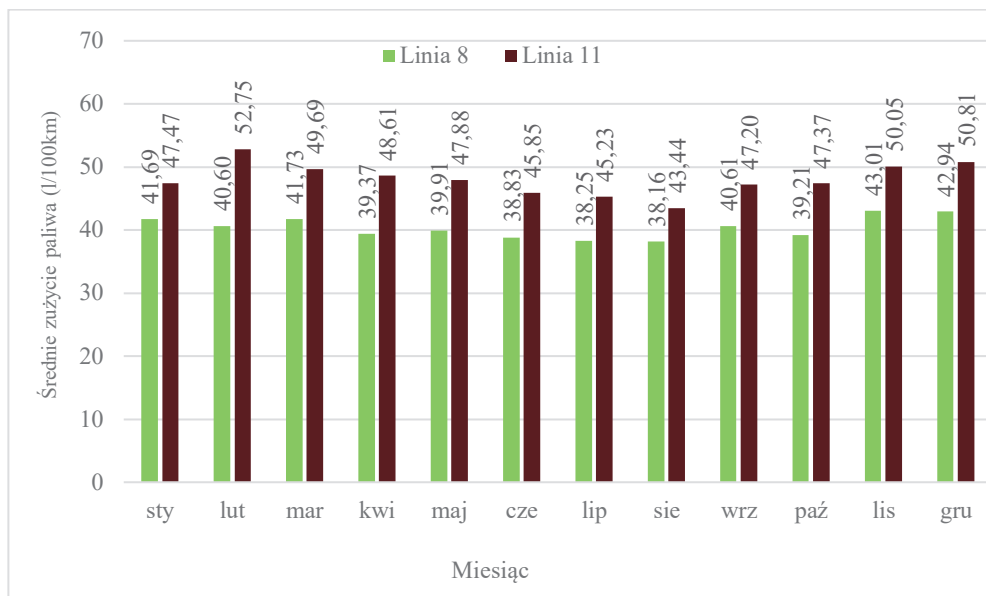
Tabela 3. Średnie zużycie paliwa w autobusach według numeru bocznego na linii 16 i 47 (l/100km)

Parametr	Linia nr 16	Linia nr 47
Minimalne zużycie paliwa	31,31	37,93
Maksymalne zużycie paliwa	48,86	47,96
Średnie zużycie paliwa	39,34	43,62
Odchylenie standardowe	3,34	2,06
Współczynnik zmienności	8%	5%

Analiza zużycia paliwa na liniach autobusowych 8 i 11

Na rys. 5 przedstawiono średnie zużycia paliwa przez linie 8 i 11 w poszczególnych miesiącach roku. Z danych przedstawionych na wykresie można zaobserwować, że linia nr 8 charakteryzuje się niższym zużyciem paliwa w porównaniu z linią 11. Średnie zużycie paliwa dla linii nr 8 wyniosło 40,98 l/100 km, dla linii nr 11 wyniosło 47,75 l/100 km. Obserwacja ta jest zgodna z liniami 16 i 47, gdzie linia wyjeżdżająca poza miasto zarejestrowała mniejsze zużycie paliwa.

Najmniejsza różnica pomiędzy liniami została stwierdzona w styczniu 5,77 l/100 km, największa w lutym 12,16 l/100 km.



Rysunek 5. Porównanie średniego zużycia paliwa na przestrzeni miesięcy na linii 8 i 11

Źródło: Opracowanie własne

Na linii nr 8 najniższe zużycie paliwa stwierdzono w sierpniu – 38,16 l/100 km, a najwyższe w listopadzie – 43,01 l/100 km. Natomiast na linii nr 11 najniższe zużycie paliwa również stwierdzono w sierpniu – 43,44 l/100 km, a najwyższe w lutym – 52,75 l/100 km).

Tabela 4. Średnie zużycie paliwa autobusów według numeru bocznego na linii nr 8 i 11 (l/100km)

Parametr	Linia nr 8	Linia nr 11
Minimalne zużycie paliwa	33,18	42,88
Maksymalne zużycie paliwa	67,02	54,59
Średnie zużycie paliwa	40,98	47,75
Odchylenie standardowe	5,15	3,19
Współczynnik zmienności	13%	7%

Na podstawie danych zawartych w tabeli 4 można dostrzec, że na linii nr 8 najmniej paliwa zużył autobus o numerze bocznym 22410 – 33,18 l/100 km, a najwyższe zużycie paliwa zarejestrowano w autobusie o numerze bocznym 22376 – 67,02 l/100 km. Na linii 11 najmniejszym średnim zużyciem paliwa charakteryzuje się autobus o numerze bocznym 22413 – 42,88 l/100 km. Największym średnim zużyciem paliwa charakteryzuje się autobus 22398 – 54,59 l/100 km.

Bardziej zróżnicowana pod względem zużycia paliwa jest linia nr 8. Różnica pomiędzy minimalnym a maksymalnym zużyciem wyniosła aż 33,84 l/100 km. Należy jednak zwrócić

uwagę, że na taki wynik ma wpływ zużycie zarejestrowane dla autobusu o numerze bocznym 22376 wynoszące 67,02 l/100 km. Jest to obserwacja, która znacznie różni się od innych i może ona być wynikiem awarii układu zasilania, brak jest jednak danych serwisowych.

Na linii 11 różnica pomiędzy minimalnym a maksymalnym zużyciem była mniejsza i wyniosła 11,71 l/100 km.

Porównanie średniego zużycia paliwa w poszczególnych autobusach na wybranych liniach

W tabeli 5 przedstawiono średnie zużycie paliwa dla autobusów Autosan M12LF wyszczególnione dla poszczególnych numerów bocznych. Zostały wybrane jedynie te autobusy, które wykorzystywane były na każdej z wybranych tras tzn. na linii nr 8, 11, 16 i 47. Na 52 autobusy tego modelu poruszające się po Lublinie - 41 z nich realizowało kursy na wszystkich trasach poddanych analizie.

Analiza danych przedstawionych w tabeli pozwala na wskazanie powtarzających się wzorców zużycia paliwa dla konkretnych pojazdów. Autobusy o niskim zużyciu paliwa na wszystkich liniach to autobusy o numerach bocznych 22396, 22392, 22400, 22411. Uzyskały one wartości średnie poniżej 40 l/100 km na większości tras. Pojazdy te cechuje stabilnie niskie spalanie niezależnie od długości i charakteru linii.

Autobusy o numerach bocznych: 22380, 22389, 22401, 22398, 22405 to egzemplarze o wysokim zużyciu paliwa na wszystkich liniach, tu wartości często przekraczające 45–50 l/100 km, szczególnie na liniach obejmujących obszar miasta. Utrzymujące się wysokie zużycie paliwa może sugerować problemy techniczne (stan silnika, skrzyni biegów) lub różnice w stylu jazdy kierowców.

Tabela 5. Średnie zużycie paliwa dla poszczególnych autobusów realizujących kursy na analizowanych liniach (l/100 km)

Numer boczny autobusu	Linia nr 8	Linia nr 11	Linia nr 16	Linia nr 47
22370	34,97	50,18	48,86	43,91
22371	40,99	49,08	39,84	44,3
22372	36,86	48,59	41,59	41,08
22373	42,12	44,18	44,58	43,05
22374	36,19	44,9	40,89	44,27
22375	39,87	49,63	40,03	45,05
22377	43,08	50,07	34,85	46,59
22378	40,61	45,36	37,24	44,06
22379	37,26	45,97	44,12	42,14
22380	48,3	51,03	39,74	43,97
22381	41,13	52,78	41,8	43,11
22383	39,4	48,01	41,31	47,29
22384	44,08	47,14	39,25	41,04
22388	41,36	43,9	39,05	44,49
22389	46,53	51,59	40,69	43,42
22390	46,02	46,42	45,41	43,1
22391	40,07	42,92	38,72	42,99
22392	35,95	44,63	37,7	44,85

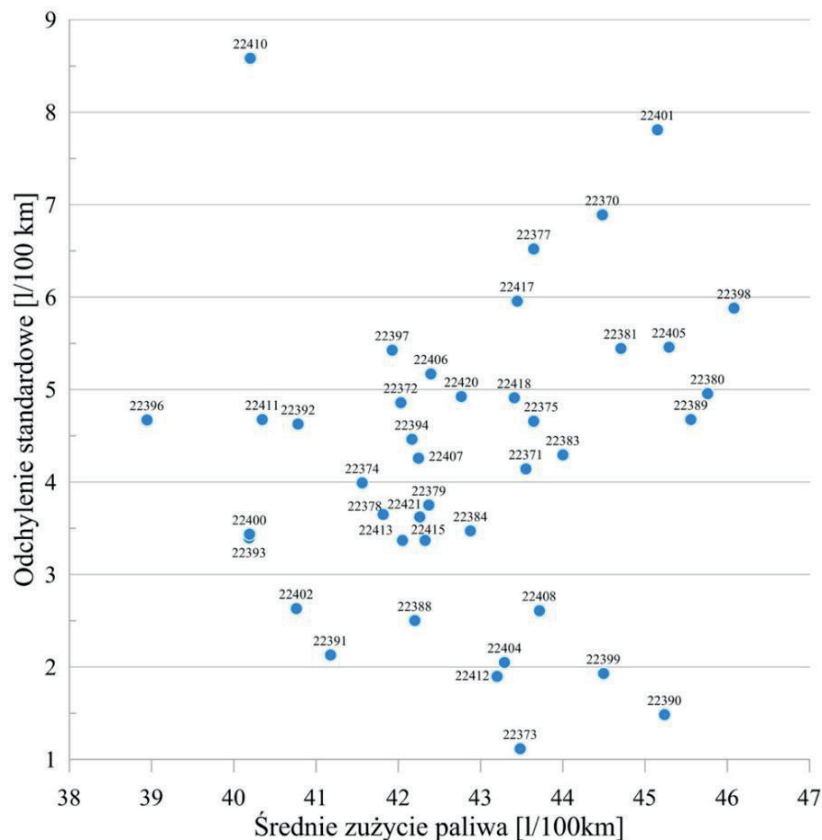
Numer boczny autobusu	Linia nr 8	Linia nr 11	Linia nr 16	Linia nr 47
22393	36,41	43,24	38,23	42,87
22394	38,41	48,18	39,18	42,89
22396	35,84	44,37	34,34	41,23
22397	39,74	47,07	35,31	45,58
22398	43,27	54,59	41,34	45,13
22399	42,71	47,23	44,18	43,86
22400	36,6	42,93	37,91	43,32
22401	47,27	53,16	34,47	45,71
22402	38,79	44,03	38,47	41,75
22404	43,03	46,1	41,18	42,86
22405	45,06	51,72	38,4	45,99
22406	37,26	45,56	38,81	47,96
22407	36,67	45,82	41,19	45,31
22408	40,69	44,71	42,7	46,76
22410	33,18	51,85	34,33	41,45
22411	35,83	44,82	36,82	43,92
22412	44,34	44,33	40,38	43,75
22413	38,81	42,88	40,1	46,42
22415	41,17	46,97	38,99	42,17
22417	38,66	51,46	39,17	44,49
22418	40,64	50,17	39,07	43,76
22420	40,05	49,3	38,08	43,64
22421	41,88	47,27	38,64	41,25

Kolorami oznaczono: ■ najmniejsze i ■ największe średnie zużycie paliwa

Trzecią wyróżniającą się grupę stanowią autobusy o dużym zróżnicowaniu między liniami tj. 22377, 22410, 22397. Można zauważyć niskie zużycie na liniach długich (16, 8), a wysokie w ruchu miejskim (11, 47). Może to potwierdzać silny wpływ charakterystyki trasy i częstotliwości zatrzymań.

Dla szczegółowego pogrupowania autobusów na rys. 5 przedstawiono zależność między średnim zużyciem paliwa a odchyleniem standardowym zużycia między liniami.

Większość autobusów skupia się w zakresie średniego spalania 41–44 l/100 km, przy odchyleniu standardowym 2–5 l/100 km, co oznacza umiarkowaną zmienność i relatywnie wyrównane wyniki między liniami. To potwierdza, że flota jest dość spójna, a różnice wynikają głównie z realizowanych tras, a nie innych czynników.



Rysunek 6. Zależność pomiędzy zużyciem paliwa a odchyleniem standardowym badanych pojazdów na analizowanych trasach

Źródło: Opracowanie własne

Autobusy: 22393, 22396, 22400, 22411, 22410, 22402 znajdujące się w lewym dolnym obszarze można zaliczyć do grupy ekonomicznych i stabilnych pod względem zużycia paliwa. Charakteryzują się zużyciem paliwa w zakresie 36–40 l/100 km i niską zmiennością. Są to pojazdy wzorcowe – oszczędne i niezależne od charakteru trasy. Ich wyniki mogą być punktem odniesienia dla dalszych działań (np. analiza stanu technicznego, przypisanych kierowców).

Autobusy znajdujące się w prawym górnym obszarze (22380, 22398, 22401, 22405, 22377) to pojazdy charakteryzujące się wysokim zużyciem paliwa i dużą zmiennością. Charakteryzują się średnim zużyciem paliwa > 45 l/100 km i wysoką zmiennością > 4,5 l/100 km. Należą one do grupy pojazdów nie tylko o dużym zużyciu i dużym zróżnicowaniu pomiędzy liniami. Oznacza to, że na trudniejszych trasach (np. linia 11) spalanie rośnie nadmiernie – sugerując problemy techniczne (np. niesprawny układ wtryskowy, opory toczenia) lub różnice w stylu jazdy kierowców.

W środkowym obszarze mieści się większość pojazdów (ok. 60%). Ze względu na średnie spalanie na poziomie 41–43 l/100 km i średnią zmienność 2–4 l/100 km, obszar ten można określić jako „wyrównany”, ani wyjątkowo ekonomiczne, ani zużywające nadmiernie paliwo. To potwierdza, że flota jest dość spójna. Zużycie paliwa w tych pojazdach zależy głównie od charakteru trasy, a nie od specyfiki pojazdu.

Podsumowanie

Zużycie paliwa przez pojazdy jest procesem wieloaspektowym o dużym znaczeniu w sprawnym działaniu systemu komunikacji miejskiej, a na jego wpływ ma wiele czynników od położenia trasy i występowania kongestii transportowej po stan techniczny pojazdu i ilość przewożonych pasażerów. Ilość zużywanego paliwa stanowi obecnie kluczową kwestię w efektywnym, opłacalnym i ekologicznym transporcie miejskim. Analiza zużycia paliwa przez pojazdy może pozwolić na identyfikację nie efektywniejszych pojazdów i tras oraz dostrzeżenie pewnych zależności wynikających z długości tras, liczby zatrzymań bądź pory roku.

Przeprowadzona analiza dla wybranych autobusów tego samego modelu pozwoliła wykazać wpływ przebiegu trasy na zużycie paliwa. Badania pokazały, że większe zużycie paliwa, o ok. 10-20%, występuje na liniach, których znaczna część znajduje się w centralnej części miasta. Takie wyniki powiązane są z większym natężeniem ruchu w tej części miasta oraz z występowaniem większej ilości sygnalizacji świetlnej, która wymusza częstsze postoje.

Zużycie paliwa przez autobusy wzrasta w porach roku charakteryzujących się niższymi temperaturami. Największe wartości spalania odnotowuje się głównie w sezonie jesiennym i zimowym co jest związane z mniej sprzyjającymi warunkami pracy pojazdów oraz koniecznością korzystania z dodatkowych systemów, takich jak ogrzewanie.

Analiza zużycia paliwa przez autobusy identyfikowane poprzez numer boczny jeżdżące na różnych trasach nie pozwoliła na określenia jednoznacznego wzorca. Większość autobusów wykazywała zróżnicowane zużycie w zależności od linii, na której się poruszały. Tylko nieliczne wykazały jednoznacznie niskie lub wysokie zużycie paliwa. Autobusy 22396 i 22392 mogą stanowić wzorzec ekonomicznej eksploatacji, natomiast 22401 i 22398 wymagają szczegółowej diagnostyki lub szkoleń kierowców w zakresie ekonomicznej jazdy. Należy mieć jednak na uwadze, że analizowane dane obejmowały okres jednego roku bez różnicowaniem okresów, w których autobus poruszał się po wybranych liniach. Jednak bardziej szczegółowa analiza stylu jazdy kierowców lub stanu technicznego pojazdów, lepsze rozpoznanie sposobu prowadzenia pojazdów przez poszczególnych kierowców może przyczynić się do identyfikacji obszarów wymagających szkoleń.

Przedstawiona analiza opiera się jedynie na danych dotyczących zużycia paliwa, uzupełnienie danych o profil prędkości, obciążenie czy danych GPS pozwoli powiązać wzorce zużycia z warunkami ruchu i pogłębić wnioski.

Bibliografia

Andrzejewski M., Nowak M., Wpływ stylu jazdy według zasad eco-drivingu na emisję substancji toksycznych z lekkiego samochodu użytkowego, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 20, 6, s. 33–37, 2019

Burdzik R., Simiński D., Analysis of parameters affecting fuel consumption based on statistical modelling, *Transport Samochodowy*, 1, 2023

Filipezyk J., Prognozowanie zużycia paliwa na wybranej trasie przewozu, *Logistyka*, 6, CD 3, s. 3566–3573, 2014

Gadziński J., Beim M., Dostępność przestrzenna lokalnego transportu publicznego w Poznaniu, *Transport Miejski i Regionalny*, s. 10–16, 2009

Kołodys K., Czech P., Gustof P., Kwiatkowski D., Turoń K., Urbańczyk R., Rzeczywiste zużycie paliwa w silnikach wysokoprężnych na przykładzie wybranych samochodów osobowych, *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18, 6, s. 296–307, CD, 2017

Kosobucki Ł., Popyt na przewozy jako determinanta wielkości taboru obsługującego autobusowe linie komunikacyjne, *Studia Ekonomiczne*, 143, s. 163–171, 2013

Krajewska R., Łukasik Z., Efektywne wykorzystanie infrastruktury transportowej w miastach: przykłady dobrych praktyk, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18, s. 203–211, 2017

Marczak H., Koszty zużycia energii i emisji zanieczyszczeń wynikające z użytkowania autobusów miejskich, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 17, 2016

Ogórek P., Kulig M., Przeniczny A., Dostosowanie miejskich systemów transportu publicznego do potrzeb osób z ograniczonymi możliwościami poruszania się, w tym szczególnie do potrzeb osób z niepełnosprawnościami i osób starszych, *Transport Miejski i Regionalny*, 5, s. 14–20, 2019

Prochowski L., Zuchowski A., Samochody ciężarowe i autobusy, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2021

Rosero F., Fonseca N., López J.-M., Casanova J., Effects of passenger load, road grade, and congestion level on real-world fuel consumption and emissions from compressed natural gas and diesel urban buses, *Applied Energy*, 282, s. 116195, 2021

Saniuk S., Witkowski K., Zadania infrastruktury transportu miejskiego w logistyce miejskiej, *Logistyka*, 2, CD, s. 495–506, 2011

Szumska E., Zielińska D., Pawełczyk M., Konstrukcja cykli jazdy komunikacji miejskiej w Kielcach, *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 17, 12, s. 1372–1376, 2016

Śmieszek M., Mateichyk V., Determining the fuel consumption of a public city bus in urban traffic, 1199, s. 012080, 2021

Wojewódzka-Król K., Załoga E., *Transport: tendencje zmian*, PWN, Warszawa, 2022

Wyszomirski O., *Transport miejski. Ekonomia i organizacja*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 2010

Zacharof N.-G., Fontaras G., Ciuffo B., Tsiakmakis S., Anagnostopoulos K., Marotta A., Pavlovic J., Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO2 emissions of passenger cars, Publications Office of the European Union Luxembourg 2016

Zalewska A., Dobór środków transportu komunikacji zbiorowej do tras przejazdów oraz potrzeb pasażerów, *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18, 6, s. 1799–1802, CD, 2017

Ziemski K., Misiejko A., Realizacja zadań związanych z lokalnym transportem zbiorowym przez gminę - wybrane zagadnienia: (w:) Organizacja publicznego transportu zbiorowego przez jednostki samorządu terytorialnego ze szczególnym uwzględnieniem prawnych aspektów współdziałania, *Prawo* 197, s. 13, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, 2016

Adres do korespondencji: grzegorz.zajac@up.edu.pl

ORCID: Grzegorz Zajac 0000-0002-9025-4551

ORCID: Joanna Szyszlak-Bargłowicz 0000-0001-9273-6725



WIR
WYDAWNICTWO

ISBN 978-83-64377-77-8