

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

DYSCYPLINA NAUKOWA INŻYNIERIA LĄDOWA, GEODEZJA
I TRANSPORT

DZIEDZINA NAUK INŻYNIERYJNO-TECHNICZNYCH

Rozprawa doktorska

mgr inż. Mariusz Brzeziński

**Metoda lokalizacji terminali intermodalnych w aspekcie
zrównoważonego rozwoju Polski**

Promotor
prof. dr hab. inż. Dariusz Pyza

WARSZAWA 2024

*Dziękuję serdecznie Panu prof. dr hab. inż. Dariuszowi Pyzie
za zaangażowanie i pomoc w opracowaniu niniejszej rozprawy.*

Chciałbym również podziękować rodzinie oraz przyjaciołom za wsparcie i motywację.

STRESZCZENIE

Metoda lokalizacji terminali intermodalnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju Polski

W rozprawie przygotowano model pozwalający na zidentyfikowanie oraz ocenę lokalizacji dla terminali intermodalnych, mających kluczowe znaczenie w zrównoważonym rozwoju Polski.

W celu przygotowania omawianej metody poszerzono oraz usystematyzowano ogólnodostępną wiedzę z zakresu lokalizacji obiektów o charakterze przemysłowym i transportowo-logistycznym, a także z obszaru metod jedno- i wielokryterialnego wspomagania decyzji. Następnie, na bazie doświadczeń innych naukowców zaprezentowano indywidualne podejście do analizowanego zagadnienia.

Badania, będące podstawowym przedmiotem niniejszej pracy podzielono na kilka etapów. W etapie pierwszym zaproponowano metodykę wyznaczania obszarów, w których brakuje terminali intermodalnych. Na potrzeby pracy nadano im miano regionów poszukiwań. Prace badawcze na tym etapie polegały m.in. na zidentyfikowaniu istniejących bądź planowanych punktów przeładunkowych dla transportu intermodalnego oraz określeniu ich zasięgu. Dzięki temu zabiegowi wyznaczono obszary geograficzne pozbawione korzystnego pod względem czasowym i odległościowym dostępu do terminali intermodalnych. W etapie drugim wskazano lokalizacje, w których należy rozważyć zaplanowanie terminala intermodalnego. Wytypowano je przy pomocy pięciu dedykowanych metod jednokryterialnych: metody graficznej, numerycznej, klastrowej oraz zmodyfikowanej metody pokrycia i grawitacyjnej. W etapie trzecim opracowano ranking wariantów lokalizacyjnych. Do tego celu posłużyła wybrana metoda wielokryterialnego wspomagania decyzji, w której zaimplementowano najważniejsze kryteria ocen mogące zaważyć o budowie terminala intermodalnego w danym miejscu. Wartości zmiennych diagnostycznych wykorzystywane w wielokryterialnej oceny wariantów pozyskano na podstawie szczegółowej analizy regionów poszukiwań i wskazanej lokalizacji. W etapie czwartym wykorzystano liniową metodę prognozowania, dzięki której pozyskano prognozę wartości dla niektórych zmiennych diagnostycznych. Uzyskane tą metodą dane wykorzystano w modelu oceny wielokryterialnej. W ten sposób sprawdzono czy ranking wariantów decyzyjnych może ulec zmianie w czasie pod wpływem zmiany wartości niektórych parametrów w czasie.

Efektom pracy było przygotowanie wskazówek dla przyszłych inwestorów chcących zaangażować się finansowo w budowę nowych terminali intermodalnych oraz dla władz publicznych chcących realizować politykę zrównoważonego rozwoju. Zaproponowane badania pozwalają spojrzeć na proces lokalizowania terminali intermodalnych w zupełnie nowym kontekście. Pokazują m.in. różnorodność narzędzi oraz danych analitycznych, które powinny zostać wykorzystane podczas badań prowadzonych nad lokalizacją omawianych obiektów.

Słowa kluczowe: transport intermodalny, terminal intermodalny, jednostka ładunkowa transportu intermodalnego, lokalizacja, zrównoważony rozwój

ABSTRACT

Method of locating intermodal terminals for the sustainable development of Poland

In this dissertation, a multi-layer model was developed to identify and evaluate intermodal terminal locations that could play a key role in the sustainable development of Poland.

To prepare this model, it was necessary to extend and organize the scientific literature on the location of industrial and logistics facilities, as well as in the field of single- and multi-criteria decision analysis. Based on experience of other scientists, it was possible to prepare own approach to the problem was formulated.

The research crucial to this study was divided into several stages. In the first stage, a methodology for identifying areas lacking intermodal terminal coverage was presented. At this point, all existing and planned intermodal terminals were identified, and their service areas determined. This procedure enabled the designation of regions without easy access to intermodal terminals. It was claimed that their location in such place may be conducive to sustainable development. In the second stage, potential locations for new intermodal terminal implementation were indicated. This identification of the locations was conducted using various methods i.e., numerical, graphical, gravitational, maximal covering and clustering methods. In the third stage, a multi-criteria decision-making method was implemented to evaluate variants of the intermodal terminal locations. This method enabled to prepare rank of intermodal terminal location based on special assessment criteria. In the fourth stage, some diagnosis variables were updated due to verify whether rank of locations will change during the lapse of time. To update the variables, the linear regression procedure was used.

The final outcome of this work consists of general conclusions aimed at potential investors interested in funding intermodal terminal projects, as well as public authorities responsible for sustainable development policies. The findings presented in this dissertation offer a new perspective on the problem of intermodal terminal location and highlight the wide range of tools and analytical data that should be considered in the process.

Key words: intermodal transport, intermodal terminal, intermodal transport unit, location, sustainable development

SPIS TREŚCI

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW I OZNACZEŃ | 11 |
| WSTĘP | 15 |
| 1. WPROWADZENIE – IDENTYFIKACJA OBSZARU BADAWCZEGO | 18 |
| 1.1. Podstawowe pojęcia związane z pracą | 18 |
| 1.2. Uwarunkowania mikro- i makroekonomiczne rozwoju transportu intermodalnego | 20 |
| 1.3. Rola transportu intermodalnego w rozwoju systemu gospodarczego kraju i Europy według dokumentów o znaczeniu krajowym i europejskim | 22 |
| 1.4. Transport intermodalny i jego specyfika | 25 |
| 1.4.1. Uwagi ogólne | 25 |
| 1.4.2. Systemy ładunkowe w transporcie intermodalnym | 26 |
| 1.4.3. Przewozy intermodalne w Polsce | 28 |
| 1.4.4. Trendy rozwojowe transportu intermodalnego w Polsce | 33 |
| 1.4.5. Sieć linii kolejowych w Polsce transportu intermodalnego | 34 |
| 1.4.6. Przewoźnicy oraz operatorzy transportu intermodalnego w Polsce | 38 |
| 1.4.7. Bariery rozwoju transportu intermodalnego | 40 |
| 2. CEL I TEZA PRACY | 43 |
| 3. TERMINALE TRANSPORTU INTERMODALNEGO JAKO PUNKTY KONCENTRACJI I ROZDZIAŁU STRUMIENI ŁADUNKÓW | 46 |
| 3.1. Rola intermodalnych terminali przeładunkowych w integracji różnych gałęzi transportu | 46 |
| 3.2. Rodzaje terminali intermodalnych | 47 |
| 3.3. Wymagania techniczne dla lądowych terminali intermodalnych | 51 |
| 4. ANALIZA AKTUALNYCH TENDENCJI LOKALIZACJI TERMINALI INTERMODALNYCH | 55 |
| 4.1. Tendencje lokalizacji terminali intermodalnych w Polsce | 55 |
| 4.2. Europejskie terminale intermodalne | 56 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3. Kryteria stosowane przy ocenie wyboru lokalizacji obiektów logistycznych dla wybranego obszaru w literaturze..... | 59 |
| 4.4. Podstawowe wymagania stawiane lokalizacji terminali intermodalnych | 63 |
| 5. METODY I NARZĘDZIA WYKORZYSTYWANE DO WYZNACZANIA LOKALIZACJI OBIEKTÓW LOGISTYCZNYCH W ASPEKCIE TERMINALI INTERMODALNYCH | 65 |
| 5.1. Przegląd wybranych metod jednokryterialnego wspomaganie decyzji w zakresie wyboru lokalizacji dla obiektów logistycznych | 65 |
| 5.2. Przegląd wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji | 72 |
| 5.3. ITLP – Problem lokalizacji terminali intermodalnych | 84 |
| 5.4. Narzędzia do wspomagające wybór lokalizacji terminala intermodalnego | 86 |
| 6. WYBRANE METODY PROGNOZOWANIA WARTOŚCI KRYTERIÓW WIELOKRYTERIALNEGO PODEJMOWANIA DECYZJI W KONTEKŚCIE LOKALIZACJI TERMINALI INTERMODALNYCH | 92 |
| 6.1. Uwagi ogólne..... | 92 |
| 6.2. Metody prognozowania | 92 |
| 7. METODA OCENY LOKALIZACJI TERMINALI INTERMODALNYCH | 96 |
| 7.1. Założenia ogólne metody oceny lokalizacji terminali intermodalnych..... | 96 |
| 7.2. Identyfikacja elementów składowych modelu oceny lokalizacji dla terminala intermodalnego..... | 102 |
| 7.3. Procedura określania granic regionów poszukiwań | 103 |
| 7.4. Procedury wyznaczania lokalizacji terminali intermodalnych dla ustalonego regionu | 104 |
| 7.4.1. Założenia ogólne procedury | 104 |
| 7.4.2. Lokalizacja wyznaczania terminali zmodyfikowaną metodą grawitacyjną..... | 104 |
| 7.4.3. Lokalizacja wyznaczania terminali metodą klastrową..... | 107 |
| 7.4.4. Lokalizacja wyznaczania terminali zmodyfikowaną metodą pokrycia dla potencjału biznesowego | 108 |
| 7.4.5. Lokalizacja wyznaczania terminali metodą graficzną | 111 |

| | | |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.4.6. | Lokalizacja wyznaczania terminali metodą numeryczną dla kryterium obsługi największego potoku ruchu pojazdów ciężarowych | 112 |
| 7.5. | Opis modelu wyznaczania rankingu lokalizacji dla terminali intermodalnych..... | 115 |
| 7.5.1. | Wyznaczenie bazowego rankingu wariantu | 115 |
| 7.5.2. | Wyznaczenie zaktualizowanych rankingów wariantów | 116 |
| 8. | IMPLEMENTACJA KOMPUTEROWA METODY LOKALIZACJI TERMINALI INTERMODALNYCH W ASPEKCIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU POLSKI ... | 119 |
| 8.1. | Założenia ogólne..... | 119 |
| 8.2. | Moduł wyznaczania regionów poszukiwań..... | 120 |
| 8.3. | Moduł wyboru lokalizacji terminali intermodalnych | 121 |
| 8.4. | Moduł oceny lokalizacji terminali intermodalnych..... | 123 |
| 9. | WERYFIKACJA I WALIDACJA METODY LOKALIZACJI TERMINALI INTERMODALNYCH W ASPEKCIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU POLSKI ... | 125 |
| 9.1. | Wyznaczanie regionów poszukiwań | 125 |
| 9.2. | Przygotowanie danych do wyznaczania miejsc lokalizacyjnych | 127 |
| 9.3. | Wyznaczanie lokalizacji terminali intermodalnych dla ustalonego regionu | 146 |
| 9.3.1. | Lokalizacja terminala intermodalnego wyznaczona zmodyfikowaną metodą grawitacyjną | 146 |
| 9.3.2. | Lokalizacja terminala intermodalnego wyznaczona metodą klastrową dla potencjału rolnego | 152 |
| 9.3.3. | Lokalizacja terminala intermodalnego wyznaczona zmodyfikowaną metodą maksymalnego pokrycia..... | 157 |
| 9.3.4. | Lokalizacja terminala intermodalnego wskazana metodą graficzną..... | 163 |
| 9.3.5. | Lokalizacja terminala intermodalnego wskazana metodą numeryczną | 168 |
| 9.3.6. | Zestawienie wyników dla wszystkich metod | 174 |
| 9.4. | Wielokryterialna ocena wariantów lokalizacyjnych..... | 175 |
| 9.5. | Analiza zmiany rankingu wariantów w czasie | 178 |
| 9.6. | Analiza wyników | 179 |

| | |
|--------------------------------------------------|-----|
| 9.7. Rekomendacja dla inwestora. Etap V | 185 |
| 10. PODSUMOWANIE I WNIOSKI | 188 |
| 10.1. Osiągnięte efekty rozprawy | 188 |
| 10.2. Kierunki dalszych badań..... | 194 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 196 |
| WYKAZ WAŻNIEJSZYCH POJĘĆ UŻYWANYCH W PRACY | 218 |
| SPIS ILUSTRACJI | 220 |
| SPIS TABEL..... | 226 |
| ZAŁĄCZNIKI..... | 228 |

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

| | |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MWLTl | – model wyboru lokalizacji dla terminala intermodalnego |
| RP | – zbiór regionów poszukiwań |
| JM(rp) | – zbiór lokalizacji terminali intermodalnych wyznaczonych jednokryterialnymi metodami wspomaganie decyzji dla <i>rp</i> – <i>tego</i> regionu poszukiwań |
| ZRW | – zbiór rankingów wariantów wyznaczonych z uwzględnieniem wielokryterialnej metody wspomaganie decyzji |
| ZRW'(τ) | – zbiór rankingów wariantów lokalizacyjnych wyznaczonych dla zaktualizowanych wartości zmiennych diagnostycznych w okresie τ , przy wykorzystaniu wybranej metody prognozowania |
| SPRP | – sumaryczna powierzchnia wszystkich regionów poszukiwań |
| PRP(rp) | – powierzchnia <i>rp</i> – <i>tego</i> regionu poszukiwań |
| PKR | – powierzchnia kraju |
| ZBT | – zasięg wszystkich terminali w kraju |
| $u(X_u, Y_u)$ | – terminal o numerze u i współrzędnych geograficznych X_u, Y_u |
| $v_{u(X_u, Y_u)}(\delta)$ | – promień oddziaływania u – <i>tego</i> terminala zależny od jego rocznej przepustowości |
| δ | – przepustowość terminala intermodalnego |
| $L_{rp}^1(X_{LOK/M}^{Zrew}(rp), Y_{LOK/M}^{Zrew}(rp))$ | – lokalizacja terminala wyznaczona zmodyfikowaną metodą grawitacyjną dla potencjału miejskiego w <i>rp</i> – <i>tym</i> regionie |
| $L_{rp}^2(X_{LOK/P}^{Zrew}(rp), Y_{LOK/P}^{Zrew}(rp))$ | – lokalizacja terminala wyznaczona zmodyfikowaną metodą grawitacyjną dla potencjału miejskiego i wiejskiego w <i>rp</i> – <i>tym</i> regionie |
| $L_{rp}^3(X_{LOK/K}(rp), Y_{LOK/K}(rp))$ | – lokalizacja terminala wyznaczona metodą klastrową w <i>rp</i> – <i>tym</i> regionie |
| $L_{rp}^4(X_{LOK/Z}(rp), Y_{LOK/Z}(rp))$ | – lokalizacja terminala wyznaczona zmodyfikowaną metodą pokrycia dla potencjału biznesowego w <i>rp</i> – <i>tym</i> regionie |
| $L_{rp}^5(X_{LOK/G}(rp), Y_{LOK/G}(rp))$ | – lokalizacja terminala wyznaczona metodą graficzną w <i>rp</i> – <i>tym</i> regionie |
| $L_{rp}^6(X_{LOK/N}(rp), Y_{LOK/N}(rp))$ | – lokalizacja terminala wyznaczona metodą numeryczną dla kryterium obsługi największego potoku ruchu pojazdów ciężarowych w <i>rp</i> – <i>tym</i> regionie |
| X_{ic}^{MS}, Y_{ic}^{MS} | – współrzędna długości i szerokości geograficznej ic – <i>tego</i> miasta w <i>rp</i> – <i>tym</i> regionie |
| L_{ic}^{MS} | – liczba ludności zamieszkująca ic – <i>te</i> miasto w <i>rp</i> – <i>tym</i> regionie |
| $X_{pc}^{POW}, Y_{pc}^{POW}$ | – współrzędna długości i szerokości geograficznej pc – <i>tego</i> miasta powiatowego w <i>rp</i> – <i>tym</i> regionie |

| | |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_{pc(rp)}^{WSI}$ | – liczba ludności wiejskiej zamieszkująca pc – <i>ty</i> powiat w rp – <i>tym</i> regionie |
| $L_{pc(rp)}^{POW}$ | – liczba mieszkańców zamieszkująca pc – <i>ty</i> powiat w rp – <i>tym</i> regionie |
| $PUZ_{pc(sm,rp)}$ | – sumaryczna powierzchnia użytków rolnych pc – <i>tych</i> powiatów w sm – <i>tym</i> klastrze, w rp – <i>tym</i> regionie |
| $\omega_{pc(sm,rp)}$ | – powierzchnia użytków rolnych pc – <i>tych</i> powiatów, które tworzą sm – <i>ty</i> klastr w rp – <i>tym</i> regionie |
| $X_{pz(rp)}^0, Y_{pz(rp)}^0$ | – współrzędna długości i szerokości geograficznej pz – <i>tej</i> potencjalnej lokalizacji terminala w rp – <i>tym</i> regionie |
| $X_{nh(rp)}^Z, Y_{nh(rp)}^Z$ | – współrzędna długości i szerokości geograficznej nh – <i>tego</i> zakładu pracy w rp – <i>tym</i> regionie |
| $L_{nh(rp)}^Z$ | – popyt generowany przez nh – <i>ty</i> zakład pracy w rp – <i>tym</i> regionie |
| $TH_{nh(rp)}^{pz(rp)}$ | – odległość nh – <i>tego</i> zakładu pracy od pz – <i>tej</i> lokalizacji w rp – <i>tym</i> regionie |
| $PH_{pz(rp)}$ | – potencjał wolumenowy generowany przez pz – <i>tą</i> lokalizację w rp – <i>tym</i> regionie |
| FH | – promień zasięgu terminala w zmodyfikowanej metodzie maksymalnego pokrycia |
| $ZBTN(uz, rp)$ | – zasięg nowego uz – <i>tego</i> terminala w rp – <i>tym</i> regionie |
| $v_{uz(X_{uz}, Y_{uz})}^{rp}$ | – promień oddziaływania nowego uz – <i>tego</i> terminala w rp – <i>tym</i> regionie |
| $PZRG$ | – obszar znajdujący się poza regionem poszukiwań |
| $MB_{sr}^{to(pc,rp)}$ | – uśredniona liczba pojazdów ciężarowych dziennie przejeżdżających przez to – <i>ty</i> węzeł, pc – <i>tego</i> powiatu rp – <i>tego</i> regionu |
| $MB_g^{to(pc,rp)}$ | – średniodobowa liczba pojazdów ciężarowych przecinająca to – <i>ty</i> węzeł z kierunku o numerze g w pc – <i>tym</i> powiecie rp – <i>tego</i> regionu |
| $CW_g^{to(pc,rp)}$ | – część wspólna samochodów ciężarowych, które przecinają to – <i>ty</i> węzeł z g – <i>tego</i> kierunku w pc – <i>tym</i> powiecie rp – <i>tego</i> regionu (wartość empiryczna liczona dla węzłów drogowych mających choć jedno wspólne połączenie drogowe na kierunku północ-południe lub wschód-zachód) |
| g | – numer kierunku geograficznego |
| W | – zbiór wariantów lokalizacyjnych |
| M | – zbiór kryteriów oceny lokalizacji |
| WO | – zbiór ocen wariantów |
| MWD | – algorytm wybranej metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji (PROMETHEE II) |
| MN | – zbiór kryteriów niepodlegających aktualizacji |

| | |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| MAB | – zbiór kryteriów aktualizowanych bez wskaźnika wzrostu |
| MAZ | – zbiór kryteriów aktualizowanych ze wskaźnikiem wzrostu |
| WN | – zbiór ocen wariantów dla kryteriów nieaktualizowanych |
| WAB | – zbiór ocen wariantów dla kryteriów aktualizowanych bez wskaźnika wzrostu |
| WAZ | – zbiór ocen wariantów dla kryteriów aktualizowanych ze wskaźnikiem wzrostu |
| $mab(m)_\tau^*$ | – prognoza wartości zmiennej diagnostycznej na okres τ |
| $mab(m)_\tau^0$ | – wartość zmiennej diagnostycznej w wariancie bazowym (w roku odniesienia) |
| $maz'(m)_\tau^*$ | – wartość prognozowana pokrewnej zmiennej diagnostycznej w chwili t |
| $maz'(m)_\tau^0$ | – wartość pokrewnej zmiennej diagnostycznej w wariancie bazowym (w roku odniesienia) |
| $CSK^{maz(m)_\tau^0}$ | – część stała wartości kryterium, które nie ulega zmianie w czasie |
| $CZM^{maz(m)_\tau^0}$ | – część zmienna wartości kryterium ulegającego zmianie w czasie |
| c_m | – waga m – tego kryterium |
| $E_\tau^{maz(m)}$ | – wskaźnik wzrostu dla zmiennych diagnostycznych wymagających aktualizacji |
| DK | – droga krajowa |
| LK | – linia kolejowa |

WSTĘP

Transport odgrywa bardzo ważną rolę w gospodarce XXI wieku. Od niego bowiem zależy sprawne przemieszczanie ludzi i ładunków oraz atrakcyjność państw, regionów i miast.

Podstawowym przedmiotem działalności transportowej jest przewóz osób (transport pasażerski) lub rzeczy (transport towarowy). Ostatnimi laty, w przewozach towarowych coraz istotniejszą funkcję pełni transport intermodalny. Jego znaczenie w gospodarce wzrasta za sprawą licznych zalet, które wyróżniają go na tle innych gałęzi – począwszy od zbiorczego charakteru przewozów po ich ekologiczność.

Transport intermodalny do sprawnego funkcjonowania wymaga wysokowydajnej, niezawodnej infrastruktury transportowej, m.in. terminali intermodalnych umożliwiających szybki przeładunek jednostek transportowych z jednego środka transportu na drugi oraz połączeń kolejowych [111]. Obecnie w Polsce funkcjonują 44 terminale i wciąż powstają nowe. Obiekty te stwarzają optymalne warunki dla prowadzenia działalności gospodarczej, ponieważ poprzez rozwój modelu biznesowego przyciągają do siebie kapitał i ludzi. Niestety, współcześnie terminale intermodalne lokalizowane są w okolicach dużych miast powodując dalszą centralizację kraju wokół największych ośrodków aglomeracyjnych. Konsekwencje tego ponoszą mniejsze miejscowości, które tracą szansę zarówno na rozwój demograficzny, jak i gospodarczy. Opisana sytuacja ma miejsce, ponieważ brakuje pełnego zrozumienia dla roli jaką mogłyby potencjalnie pełnić terminale intermodalne w zrównoważonym rozwoju kraju i regionów. Ankieta przeprowadzona przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych (CUPT) w marcu 2020 wśród podmiotach zaangażowanych w przewozy intermodalne wykazała, iż do najważniejszych kryteriów wyboru lokalizacji dla terminali intermodalnych zalicza się: istnienie działającej bocznicy kolejowej, dostęp do wysokiej klasy drogi, bliskość przejść granicznych, położenie na styku torów o różnych rozstawach oraz fakt istnienia w przeszłości w danym miejscu punktu przeładunkowego. Wyniki ankiety nie są zatem do końca obiektywne. W dużej mierze reprezentują czysto biznesowy punkt widzenia – zgodnie, z którym terminal przeładunkowy powinien znaleźć się w miejscu, gdzie przyniesie przedsiębiorcy największe profity i zapewni najniższe koszty uruchomienia obiektu. Niestety, w debacie publicznej nad lokalizacjami dla terminali intermodalnych nie uwzględnia się ich budowy w miejscach mniej oczywistych dla inwestorów.

Wychodząc naprzeciw potrzebom prowadzenia zrównoważonej polityki transportowej w XXI wieku, w niniejszej rozprawie zaproponowano model wspomaganie procesu

decyzyjnego w zakresie wyboru lokalizacji dla terminali intermodalnych w obszarach, w których obecnie brak jest obiektów punktowych transportu intermodalnego.

W związku z powyższym w prowadzonych analizach będą poszukiwane takie lokalizacje dla terminali intermodalnych, które uwzględnią motywację biznesową przedsiębiorców do zainwestowania własnych środków finansowych oraz czynniki środowiskowo-społeczne, które potencjalnie mogłyby sprzyjać inwestycji bądź ją hamować w danym miejscu. W trakcie badań zostanie uwzględniony także fakt, iż inwestorowi zawsze będzie zależało na maksymalizacji przychodów – dlatego będzie dążył do lokalizacji terminala w miejscu, gdzie uzyska relatywnie szybki zwrot poniesionych nakładów. Z drugiej strony, równoległe zostaną rozważone cele lokalnej administracji, która (teoretycznie) powinna reprezentować idee zrównoważonego rozwoju – czyli takiego, który nie powoduje niszczenia środowiska naturalnego i zakłócania życia lokalnej społeczności.

Z założenia, zaprezentowany w rozprawie schemat blokowy dedykowany lokalizacji terminali intermodalnych pozwoli przyszłym inwestorom na uniknięcie sytuacji, w której planowany obiekt powstanie w miejscu, gdzie m.in.: brak jest klientów, którzy będą zainteresowani korzystaniem z jego usług, istnieją poważne ograniczenia przestrzenne, środowiskowe, techniczne będące przeciwwskazaniem dla jego budowy w danym miejscu, będzie powodował nadmierne przejście potoku ruchu od istniejących bądź planowanych obiektów, będzie uciążliwy dla społeczności zamieszkującej tereny sąsiadujące z działką terminala, jego funkcjonowanie nie będzie opłacalne w perspektywie 10, 20, 30 lat.

Całość rozprawy została przygotowana według następującego układu. W pierwszej części rozprawy zidentyfikowano obszar badawczy. Omówiono m.in. najważniejsze pojęcia związane z tematyką rozprawy, rolę transportu intermodalnego w rozwoju gospodarczym i specyfikację omawianej gałęzi transportu. W części drugiej przedstawiono cel, zakres i tezę pracy. W części trzeciej scharakteryzowano rolę terminali intermodalnych w kontekście integracji różnych gałęzi transportu, opisano rodzaje terminali intermodalnych oraz przedstawiono ogólne wymagania techniczne stawiane współczesnym bazom przeładunkowym. W części czwartej przeanalizowano aktualne tendencje związane z lokalizowaniem terminali intermodalnych w Polsce i Europie, omówiono kryteria lokalizacyjne dla terminali wymienione w literaturze oraz scharakteryzowano autorskie wymagania co do lokalizacji nowych baz przeładunkowych. W części piątej przeglądu literaturowego dotyczącego metod i narzędzi służących wyznaczaniu lokalizacji dla obiektów logistycznych oraz metod wspomagających proces decyzyjny. W części szóstej opisano najpopularniejsze modele prognostyczne, które potencjalnie mogłyby posłużyć do przewidywania wartości kryteriów stosowanych przy ocenie lokalizacji terminali.

W części siódmej przygotowano model badawczy umożliwiający wyznaczenie lokalizacji dla terminali intermodalnych oraz ocenę pozyskanych wariantów lokalizacyjnych. W etapie ósmym omówiono komputerowy sposób implementacji i realizacji zaprezentowanego modelu. W części dziewiątej, zgodnie z założeniami przedstawionymi w modelu badawczym zrealizowano studium przypadku, dokonano zilustrowania wyników i przygotowano rekomendację dla potencjalnego inwestora. W ostatnim punkcie pracy podsumowano osiągnięte efekty rozprawy oraz nakreślono kierunki dalszych badań.

1. WPROWADZENIE – IDENTYFIKACJA OBSZARU BADAWCZEGO

1.1. Podstawowe pojęcia związane z pracą

Z punktu widzenia badań prowadzonych w niniejszej dysertacji, niezbędne jest zdefiniowanie podstawowych pojęć związanych z tematyką pracy.

Najważniejsze pojęcia, które należy to m.in. **transport intermodalny**, **transport kombinowany**, **transport multimodalny**, **terminal intermodalny**, **mikrootoczenie** oraz **makrootoczenie**, **wielokryterialna metoda wspomaganie decyzji** oraz **prognoza**.

Transport intermodalny (*intermodal transport*) to przewóz ładunków w jednej i tej samej jednostce ładunkowej lub pojeździe na całej trasie od nadawcy do odbiorcy, przy użyciu kolejno różnych gałęzi transportu, bez przeładunku samych ładunków, na podstawie jednej umowy przewozu, za którego wykonanie odpowiada jeden podmiot – operator transportu intermodalnego. Organizacja tego typu przewozów determinuje wykorzystywanie przewozów kombinowanych. **Transport kombinowany** (*combined transport*) zaliczany jest do transportu intermodalnego, w którym główna część przewozu jest wykonywana przez kolej, żeglugę śródlądową lub transport morski, a początkowy i końcowy odcinek przez transport drogowy. Odcinek przewozu początkowego lub końcowego oznacza przewóz tak krótko jak to możliwe [81], [86], [87], [149]:

- pomiędzy punktem, gdzie rzeczy są załadowane i najbliższą odpowiednią kolejową stacją załadunkową dla odcinka początkowego oraz pomiędzy najbliższą odpowiednią kolejową stacją wyładunkową a punktem, gdzie rzeczy są wyładowane, dla końcowego odcinka lub
- wewnątrz promienia nieprzekraczającego 150 km w linii prostej ze śródlądowego lub morskiego portu załadunku lub wyładunku.

Wyróżnia się dwa rodzaje transportu kombinowanego: transport kombinowany towarzyszący i nietowarzyszący. W transporcie towarzyszącym kierowca „towarzyszy” jednostce ładunkowej transportu intermodalnego(jłti/UTI¹) na głównym odcinku przewozowym. W transporcie nietowarzyszącym jednostka ładunkowa transportu intermodalnego dostarczana jest na terminal intermodalny, a następnie dalej jest przewożona bez udziału kierowcy.

Transport multimodalny to przewóz ładunków w dowolnej jednostki ładunkowej transportu intermodalnego przy użyciu różnych gałęzi transportu bez ograniczenia co do zmian

¹ UTI (z fr. *unite de transport intermodal*)

naczynia transportowego w trakcie procesu przewozowego. Podobnie jak w transporcie intermodalnym nie ma tutaj ustalonego udziału poszczególnych gałęzi transportu w całym procesie przewozowym.

W skład najważniejszych elementów systemu transportu intermodalnego wchodzi m.in. linie kolejowe, stacje zdawczo-odbiorcze, środki pracy oraz terminale intermodalne.

Terminale intermodalne to przestrzenne obiekty logistyczne, specjalnie przystosowane do przeładunku jednostek ładunkowych transportu intermodalnego takich jak naczepy siodłowe, zestawy drogowe, kontenery, nadwozia wymienne. Umożliwiają przeładunek jednostek ładunkowych transportu intermodalnego pomiędzy różnymi gałęziami transportu oraz wykonywanie na nich innych operacji związanych np. z ich czasowym składowaniem i eksploatacją [128]. Terminale posiadają specjalnie przystosowany front ładunkowy, na którym prowadzi się operacje ładunkowe oraz place składowe na których odkłada się czasowo jednostki. Operacje na intermodalnych jednostkach ładunkowych prowadzi się przy pomocy dedykowanych maszyn i urządzeń ładunkowych (tj. wozów podnośnikowych, suwnic bramowych, ramp, estakad) oraz przy pomocy kadry, która je obsługuje (tj. operatorów maszyn, kierowców, maszynistów) [87], [100].

Funkcjonowanie przedsiębiorstw świadczących usługi w transporcie intermodalnym sankcjonują czynniki makrootoczenia oraz mikrootoczenia. **Makrootoczenie** to zespół warunków funkcjonowania przedsiębiorstwa związany z faktem jego działania w określonym kraju, regionie, danym układzie klimatycznym, instytucyjnym, prawnym, politycznym itd. Innymi słowy jest to tzw. „środowisko zewnętrzne” dla prowadzenia biznesu w danej lokalizacji. Z definicji przedsiębiorstwo nie ma szans na reagowanie na niniejsze warunki, chociaż zdarza się, iż bardzo duże korporacje wymuszają np. zmiany prawa. Są to jednak dosyć skrajne przypadki nie dotyczące podmiotów o ograniczonej skali działalności [66], [92], [107]. **Mikrootoczenie** określa natomiast warunki funkcjonowania i rozwoju firmy na danym rynku i w danej branży. Precyzyjne przeanalizowanie sektora, w którym działa przedsiębiorstwo umożliwia ocenę jego szans i zagrożeń jakie potencjalnie stwarza. Chociaż na rynku występują podmioty, które mogą zaburzyć funkcjonowanie przedsiębiorstwa to mają one jednak możliwość skutecznego reagowania na zachodzące zmiany [66].

Badania w niniejszej pracy będą prowadzone z wykorzystaniem wielokryterialnej metody wspomaganie decyzji. **Wielokryterialna metoda wspomaganie decyzji** to dziedzina mająca na celu wyposażenie podmiotu podejmującego decyzję w danym zakresie w procedury, narzędzia oraz metody matematyczno-informatyczne, które pozwolą na rozwiązanie skomplikowanych problemów decyzyjnych, np. takich, w których konieczne jest

uwzględnienie wielu przeciwstawnych sobie punktów widzenia. Docelowo w wielokryterialnym problemie decyzyjnym chodzi o to, by mając zdefiniowany zbiór wariantów i kryteriów móc określić zbiór najlepszych decyzji, podzielić zbiór decyzji na podzbiory według określonych reguł i przygotować ranking decyzji [79].

Ponieważ w omawianej pracy wpływ na wybór lokalizacji terminala może mieć wartość prognozowanych zmiennych diagnostycznych należy również zdefiniować pojęcie prognozy.

Prognoza w statystycznym i ekonometrycznym wnioskowaniu to swoisty proces predykcji zjawiska na podstawie dotychczasowego przebiegu rozważanego procesu lub (innymi słowy) teoretycznie lub empirycznie umotywowana odpowiedź nt. przyszłego stanu obiektu w danej rzeczywistości [108]. Odnosi się zawsze do pewnych cech obiektu. Mogą to być cechy zarówno ilościowe, dające się wyrazić liczbowo, jak i cechy jakościowe takie jak przynależność do pewnych klas. Jej podstawę stanowią obserwacje, czyli dane historyczne dotyczące cech obiektu charakteryzujących pewne zjawisko lub proces [126].

1.2. Uwarunkowania mikro- i makroekonomiczne rozwoju transportu intermodalnego

Wszystkie istniejące na rynku przedsiębiorstwa pozostają we wzajemnej relacji z otoczeniem, a efektywność ich funkcjonowania w biznesie zależy od stopnia ich asymilacji z jego poszczególnymi elementami. Współczesne otoczenie biznesowe jest bardzo dynamiczne. Przedsiębiorstwo, aby przetrwać musi szybko i adekwatnie reagować na zachodzące w nim zmiany. Dotyczy to przede wszystkim firm małych o nieugruntowanej pozycji na rynku, które bardzo często walczą o klientów z dużymi graczami. Otoczenie warunkuje szanse na rozwój firmy, ale również tworzy bariery i zagrożenia dla jej funkcjonowania. Dlatego też, jego poszczególne składowe muszą zostać przeanalizowane w trakcie budowania strategii przedsiębiorstwa i wyznaczania zasadniczych celów. Według tradycyjnego podziału środowiska biznesowego firmy dzieli się ze względu na **makrootoczenie** i **mikrootoczenie** [66].

W skład **makrootoczenia** wchodzi segment: ekonomiczny, prawny, polityczny, technologiczny, społeczno-kulturowy, demograficzny, międzynarodowy, naturalny. Jego poszczególne składowe zostały omówione poniżej [4], [68], [106]:

- **segment ekonomiczny** – stanowi wyznacznik kondycji gospodarczej danego obszaru. Składa się z takich czynników jak: stopa wzrostu gospodarczego, stopa inflacji, stopy procentowe, stopa bezrobocia, kursy walut i ich stabilność, model gospodarki (gospodarka rynkowa/centralnie planowana),

- **segment prawny** – określa wzajemne stosunki państwa i biznesu. Czasami zmiany prawne tworzą warunki dla funkcjonowania przedsiębiorstwa, a czasami prowadzą do destabilizacji jego sytuacji. W skład segmentu prawnego wchodzi: prawo podatkowe, prawo celne, prawo pracy, kodeks handlowy,
- **segment technologiczny** – obejmuje zmiany zachodzące w nauce i technice. Segment ten oddziałuje na cechy funkcjonalne i użyteczne, jakość produktów oraz stopień zaawansowania procesu technologicznego,
- **segment społeczno-kulturowy** – obejmuje nawyki, normy, zwyczaje, które wpływają na przedsiębiorstwo. Niektóre czynniki społeczno-kulturowe mogą blokować rozwój przedsiębiorstwa, a niektóre mu sprzyjać. Ostatnimi czasy zauważono, iż wraz z postępującym rozwojem gospodarczym zmienia się podejście ludzi do życia. Ludzie po zakończonej pracy szukają wyciszenia, dlatego mogą się np. nie zgodzić na powstanie lub rozbudowę przedsiębiorstwa w pobliżu strefy mieszkalnej. Z drugiej strony dbałość o zdrowie, środowisko i potrzeby konsumpcyjne przekłada się na wybór produktów. Coraz częściej oczekuje się od producenta produktów naturalnych i wytworzonych z zachowaniem etyki związanej z ochroną środowiska naturalnego, zwierząt, lasów itp.,
- **segment demograficzny** – demografia bardzo silnie oddziałuje na poziom popytu. Duży stopień zaludnienia w danym regionie może stymulować popyt, natomiast niski – wręcz przeciwnie. Starzejące się społeczeństwo generuje zwiększone zapotrzebowanie na inną kategorię produktów niż społeczeństwo młode. Obiektem analizy w segmencie demograficznym jest liczba mieszkańców wsi/miast, struktura wiekowa ludności, przyrost naturalny, struktura płci, liczba osób w wieku produkcyjnym i poprodukcyjnym,
- **segment międzynarodowy** – dotyczy stopnia działalności w jakim przedsiębiorstwo uczestniczy w działalności w innych krajach lub pozostaje pod jego wpływem,
- **segment naturalny** – nawiązuje do ogółu uwarunkowań środowiskowych ze szczególnym naciskiem na czynniki klimatyczne, rzeźbę terenu, zasoby wodne. Jest to segment szczególnie znaczący dla przedsiębiorstwa pozyskującego zasoby naturalne.

Makrotoczenie ma również niezwykle istotny wpływ na bieżącą oraz przyszłą sytuację przedsiębiorstwa funkcjonującego w branży transportu intermodalnego i z reguły bardzo silnie oddziałuje na możliwości jego funkcjonowania w danym otoczeniu. Z punktu widzenia biznesu w branży intermodalnej warto poznać i zrozumieć czynniki makro, aby umieć je przewidywać,

odbierać jako szansę lub zagrożenie i umiejętnie dostosowywać do nich strategię przedsiębiorstwa. W prowadzonych badaniach najistotniejsza będzie analiza segmentu ekonomicznego, demograficznego, międzynarodowego, społeczno-kulturowego oraz naturalnego.

W zakresie transportu intermodalnego **mikrootoczenie** obejmuje natomiast wszystkie podmioty współpracujące z przedsiębiorstwem oraz pośrednio związane z jego działalnością. Wśród nich znajdują się – Tabela 1 [66]:

Tabela 1. Elementy mikrootoczenia w kontekście transportu intermodalnego

| Element mikrootoczenia | Kontekst ogólny | Transport intermodalny |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Dostawcy | podmioty realizujące zamówienia niezbędne do prawidłowego funkcjonowania przedsiębiorstwa | nadawcy dóbr znajdujących się w kontenerach |
| Nabywcy | odbiorcy dobra konsumpcyjnego lub usługi | odbiorcy dóbr znajdujących się w kontenerach |
| Pośrednicy | firmy wspierające sprzedaż produktów, głównie w promocji, dystrybucji i sprzedaży wyrobów gotowych | np. podmioty realizujący dostawy na zamówienie |
| Konkurenci | podmioty produkujące ten sam typ wyrobu/usługi bądź ich substytutu | np. konkurencyjni przewoźnicy, operatorzy, terminale |
| Lokalna społeczność | związki zawodowe, lokalni mieszkańcy | np. skupisko ludzi, na które np. oddziałuje terminal |
| Institucje finansowe oraz lokalna administracja | banki, urzędy | np. urząd celny, agencje celne, krajowa administracja skarbową |

Źródło: opracowanie własne

Analiza mikrootoczenia zawsze powinna zostać poprzedzona analizą makrootoczenia. W przeciwieństwie do makrootoczenia – mikrootoczenie może zostać zmodyfikowane przez przedsiębiorstwo w kierunku przez nie niepożądanym. Prócz odpowiedzi nt. szans i zagrożeń związanych z działalnością przedsiębiorstwa, przeprowadzenie mikroanalizy pozwala pozyskać informacje o: konkurencyjności w danej branży, atrakcyjności rynku, sektorach działalności przedsiębiorstwa tworzących dla niego najlepsze perspektywy rozwoju i kosztach przystąpienia do nich, sposobie kształtowania strategii działalności przedsiębiorstwa, która pozwala na zminimalizowanie ryzyka i zwiększenie efektywności implementowanej strategii [63].

1.3. Rola transportu intermodalnego w rozwoju systemu gospodarczego kraju i Europy według dokumentów o znaczeniu krajowym i europejskim

Rolę zasadniczego dokumentu w prawodawstwie krajowym, dotyczącego szerszego zastosowania potencjału i stwarzanych przez otoczenie warunków rozwoju transportu intermodalnego stanowi dokument *Kierunki rozwoju transportu intermodalnego w Polsce do 2030 r. z perspektywą do 2040 r* (KRTI). Dokument ten ma swoje źródło w takich aktach prawnych takich jak: Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu, Strategia na rzecz

Odpowiedzialnego Rozwoju, Biała Księga Transportu, Europejska strategia na rzecz mobilności i niskoemisyjności, Europejski Zielony Ład.

Dokument KRTI powstał przy udziale ekspertów branżowych, podmiotów publicznych oraz przedstawicieli świata nauki. Jego zadaniem jest określenie kierunków zmian, jakie muszą zajść w prawie oraz na rynku biznesowym i infrastrukturalnym, by możliwe było efektywniejsze wykorzystywanie transportu intermodalnego. Cele szczegółowe działań, które powinny zostać podjęte na rzecz rozwoju transportu intermodalnego do 2030 roku z perspektywą do 2040 zawiera Tabela 2.

Tabela 2. Cele i kroki zawarte w KRTI

| Cel | Kroki |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Powstanie kompleksowych projektów wykorzystania transportu intermodalnego w łańcuchach dostaw | Wsparcie rozwoju infrastruktury punktowej |
| | Wsparcie rozwoju infrastruktury liniowej |
| | Wsparcie rozwoju bocznic kolejowych |
| Poprawa konkurencyjności transportu intermodalnego | Wsparcie zakupu nowoczesnych środków transportu |
| | Instrumenty wspierające równoważenie transportu drogowego i kolejowego w transporcie ładunków |
| | Poprawa systemu organizacji oraz zarządzania transportem intermodalnym |
| Cyfryzacja transportu intermodalnego | Szersze wykorzystanie nowoczesnych technologii w transporcie intermodalnym |
| | Wsparcie projektów badawczo-rozwojowych na rzecz rozwoju transportu intermodalnego |

Źródło: [155]

Wspomniane zadania stanowią część składową *Strategii Zrównoważonego Rozwoju Transportu do roku 2030* oraz *Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030)*. W *Strategii Zrównoważonego Rozwoju Transportu do roku 2030* znajdują się m.in. zapisy o [219]: budowie międzynarodowego węzła transportu intermodalnego, którego celem będzie poprawa jakości przewozów realizowanych z Azji do Europy zachodniej oraz północy kraju w kierunku Europy południowej, dalszym wsparciu infrastruktury wspomagającej transport intermodalny, w szczególności poprzez integrację wszystkich gałęzi transportu, wsparciu polskich centrów logistycznych, procesach wpływających na budowę systemu transportu intermodalnego we wszystkich regionach kraju i zintegrowaniu ich z węzłami intermodalnymi, potrzebie kontynuacji polityki opłat za dostęp do sieci transportu kolejowego. Natomiast w *Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030)* znajdują się ogólne wytyczne dotyczące działań na rzecz rozwoju infrastruktury wspierającej transport intermodalny i powiązań portów morskich z transportem drogowym, kolejowym, żeglugą morską [218].

Zarówno w Polsce, jak i Europie rozwój transportu intermodalnego sankcjonuje również umowa AGC z 1985 roku oraz AGTC sporządzona w Genewie w 1991 roku. Na gruncie

polskim umowa AGTC została zatwierdzona w 2002 roku. Jak wynika z raportu Najwyższej Izby Kontroli, obecnie długość linii kolejowych układu AGTC wynosi ok. 4200 km. W ramach bilateralnych umów zobligowano się do podniesienia efektywności międzynarodowego transportu kombinowanego na obszarze Europy. Celem porozumienia jest zmniejszenie obciążenia sieci dróg kołowych a tym samym ograniczenia negatywnego wpływu wspomnianej gałęzi transportu na środowisko naturalne. Obydwa porozumienia dotyczą ważniejszych oraz pomocniczych międzynarodowych linii kolejowych, po których dokonuje się lub będzie się dokonywało przewozów kombinowanych. Zakresem obejmują również towarzyszące im obiekty [61], [216].

Kolejnymi ważnymi aktami prawnymi regulującymi rozwój transportu intermodalnego są *Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej (UE) nr 1315/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej (Dz.U. L 348 z 20.12.2013, str. 1—128)*. Dotyczą one budowy tzw. *Transeuropejskiej Sieci Transportowej (TEN-T)*. Celem budowy sieci TEN-T jest poprawa funkcjonowania rynku wewnętrznego, zwiększenie spójności społecznej, gospodarczej i terytorialnej UE [43]. Projekt sieci TEN-T ma również za zadanie zwiększyć dostępność usług transportowych. W skład sieci TEN-T wchodzi szlaki drogowe, kolejowe, lotnicze i morskie mające kluczowe znaczenie w rozwoju gospodarczym krajów UE oraz elementy punktowe infrastruktury w postaci terminali intermodalnych lub portów morskich. Do jej priorytetów zalicza się m.in. zwiększenie integracji poszczególnych gałęzi transportu, na styku ich infrastruktury, usunięcie barier technicznych i administracyjnych, które utrudniają interoperacyjność sieci i konkurencję przewozów, usunięcie wąskich gardeł oraz uzupełnienie brakujących ogniw, promowanie ekonomicznej eksploatacji infrastruktury transportu – w tym także infrastruktury dla transportu intermodalnego [139]. Jednym z głównych wymogów sieci TEN-T w ramach infrastruktury kolejowej jest dostosowanie linii kolejowych do obsługi pociągów towarowych o długości 750 m, maksymalnym nacisku na oś wynoszącym 22,5 t oraz prędkości 100 km/h. Parlament Europejski zakłada, iż do 2030 uda się przystosować do ww. parametrów wszystkie najważniejsze linie kolejowe w UE. Prowadzenie pociągów o takich parametrach ma przyczynić się do zmniejszenia kosztów przewozu jednostek ładunkowych transportu intermodalnego, poprawić konkurencyjność wobec transportu drogowego oraz zmniejszyć negatywne oddziaływanie transportu kolejowego na środowisko [27], [28], [206].

Warto dodać, iż na gruncie krajowym rolę najważniejszych szlaków kolejowych należących do sieci TEN-T stanowią następujące połączenia: Gdańsk/Gdynia → Warszawa, Gdańsk/Gdynia → Szamotuły, Poznań, Gądka, Swarzędz → Rzepin/Frankfurt, Gdańsk/Gdynia

→ Łódź, Radomsko, Kutno (Polska środkowa), Gdańsk/Gdynia → Sławków, Kąty Wrocławskie (Polska południowa) oraz Małaszewicze/Brest Siewiernyj → Rzepin/Frankfurt oraz Małaszewicze/Brest Siewierny → Zebrzydowice/Chałupki.

W dużej mierze są to połączenia między terminalami regionalnymi lub (*hub'ami*) a portami morskimi. Służą głównie do obsługi dostaw do lokalnych klientów oraz (np. w przypadku hub'u w Gądkach) do konsolidacji i dekonsolidacji potoku jednostek ładunkowych transportu intermodalnego z/na poszczególne kierunki. Warto wspomnieć o strategicznym położeniu terminali intermodalnych, które zlokalizowane są w Małaszewiczach i Sławkowie. Stanowią one szkielet sieci TEN-T. Terminale te znajdują się na styku torów o różnym rozstawie. Dzięki nim Polska staje się naturalnym centrum przeładunkowym dla pociągów tranzytowych z Chin do Europy.

1.4. Transport intermodalny i jego specyfika

1.4.1. Uwagi ogólne

Popularność transportu intermodalnego na świecie nieprzerwanie rośnie od wielu lat. W Polsce znaczący przyrost przewożonych wolumenów jednostek ładunkowych transportu intermodalnego i pracy przewozowej w transporcie intermodalnym nastąpił pod koniec pierwszej dekady XXI wieku i trwa do chwili obecnej. Wpływ na taki stan rzeczy mają jego liczne zalety, które szeroko opisują autorzy publikacji [127]. Według nich jedną z najistotniejszych zalet transportu intermodalnego jest brak konieczności przeładunku samych towarów, co redukuje negatywną ekspozycję ładunków na uszkodzenia mechaniczne. Eksperti zauważyli także, iż jest on znacznie tańszy na długich odcinkach od transportu drogowego. Dzieje się tak za sprawą stosowania gałęzi transportu, które umożliwiają zbiorczy transport jłti na głównym odcinku przewozowym. Pozwalają one m.in. rozłożyć koszty stałe przewozu na większą liczbę transportowanych jednostek ładunkowych.

Do pozostałych zalet transportu intermodalnego zaliczono także: możliwość dostarczania jednostek ładunkowych transportu intermodalnego w trybie „*door-to-door*” tzn. od drzwi nadawcy do drzwi odbiorcy końcowego, przewożenie dużych mas ładunków, poprawę bezpieczeństwa towarów (liczba wypadków w transporcie kolejowym jest dużo mniejsza niż w transporcie drogowym), łagodniejsze oddziaływanie na środowisko naturalne niż w przypadku transportu drogowego, przyczynianie się do regularności w łańcuchu dostaw wskutek planowania harmonogramów i rozkładów jazdy, łatwiejsze procedury celne (ze względu na obecność urzędów celnych znajdujących się w okolicach terminala przybycia/nadania), brak wrażliwości na ograniczenia ruchu wynikające z przepisów prawa tj.

zakaz ruchu pociągów w godzinach nocnych lub świąt, pośredni wpływ na redukcję nakładów na służbę zdrowia, kosztów środowiskowych, energochłonności procesów przewozowych, kosztów utrzymania infrastruktury drogowej oraz jej zajętości.

Warto dodać, iż z punktu widzenia przedsiębiorstw spedycyjno-transportowych poważnym problemem pozostaje niedobór wykwalifikowanych kierowców. Transport intermodalny pozwala na zmniejszenie zaangażowania pracy ludzkiej, gdyż na krótkich odcinkach dowozowych/odwozowych z/do terminala, kierowca jest w stanie zrealizować więcej kursów niż w sytuacji, gdyby transport kontenera odbywał się tylko przy użyciu wyłącznie transportu drogowego. Transport intermodalny przyczynia się również do obniżenia kongestii drogowej oraz daje impuls do rozwoju gospodarczego obszaru, w którym znajdują się węzły przeładunkowe. Infrastruktura punktowa transportu intermodalnego postrzegana jest bowiem jako swoiste *okno na świat* dla szeroko pojętej działalności handlowej człowieka.

1.4.2. Systemy ładunkowe w transporcie intermodalnym

W transporcie intermodalnym w zależności od specyfikacji jednostki ładunkowej transportu intermodalnego załadunek na wagony może odbywać się w **systemie poziomym RO-RO** (z ang. *Roll-On/Roll-Off*) lub w **systemie pionowym LO-LO** (z ang. *Lift-On/Lift-Off*).

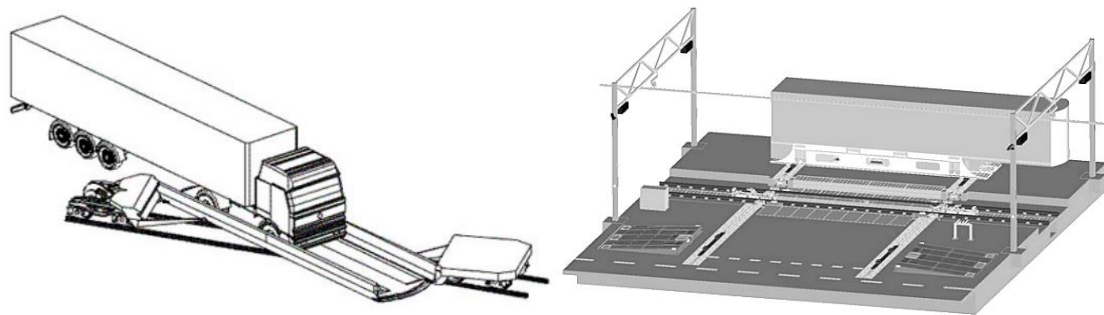
W technologii RO-RO przedmiotem prowadzonych operacji są zwykle naczepy siodłowe, nadwozia wymienne lub zestawy drogowe. Załadunek odbywa się na specjalnie przystosowanym froncie ładunkowym lub przy użyciu ramp czołowych/bocznych, po których wtaczany lub staczany jest zestaw drogowy. Wagony przeznaczone do transportu naczep to środki transportu kolejowego z obniżoną podłogą. Powierzchnia ładunkowa wagonów RO-RO powinna znajdować się na wysokości ok. 0.33 m. W innym przypadku punkt krytyczny naczepy siodłowej umieszczonej na wagonie powiększony o dystans wynikający z oporów aerodynamicznych mógłby doprowadzić do katastrofy lądowej. Do najbardziej znanych w Europie systemów przeładunkowych operujących w technologii RO-RO zalicza się systemy **CargoBeamer** oraz **Modalohr** [195].

W systemie **Modalohr** stosowane są kieszeniowo-koszowe wagony LOHR UIC wyposażone w obrotową platformę. Maksymalny kąt rozwarcia względem osi toru wynosi 30 stopni. Załadunek na wagon odbywa się przy pomocy ciągników siodłowych, dzięki którym można wyeliminować kosztowne w eksploatacji maszyny. W zamian front ładunkowy musi zostać wyposażony w siłowniki hydrauliczne wbudowane w podtorze, którymi steruje się poprzez panel znajdujący się obok stanowiska ładunkowego. Siłowniki te umożliwiają rozłączenie części środkowej wagonu od modułu wózkowego oraz obrót platformy, po której

następuje wjazd zestawu drogowego. Pojazd wjeżdża na platformę po rampach ukośno-bocznych o wysokości dochodzącej do 0.45 m (przy czym podłoga ładunkowa ma wysokość ok. 0.33 m). Według producenta wagony Modalohr mogą przewozić 34 tony ładunku oraz poruszać się z prędkością dochodzącą do 120 km/h [80], [99]. W zależności od konstrukcji posiadają od 4 do 6 osi kolejowych.

W przypadku systemu **CargoBeamer** cechą charakterystyczną wagonów jest ruchoma platforma (zwana paletą), która po obrocie oraz złożeniu ściany bocznej – może przemieszczać się poza wagon. Przemieszczenie palety powoduje zautomatyzowana i sterowana w sposób systemowy belka (z ang. *beam*) znajdująca się w podłożu frontu ładunkowego. Po wysunięciu palety z wagonu kolejno następuje umieszczenie w niej naczepy przez kierowcę, rozprężnięcie zestawu drogowego, oddalenie się ciągnika siodłowego oraz automatyczne wsunięcie palety z załadowaną naczepą z powrotem do wagonu. Wagony CargoBeamer posiadają dwa identyczne wózki Y25 oraz standardowe urządzenia ciągłowo-zderzakowe. Ich konstrukcja pozwala na załadunek 37 ton brutto ładunku oraz poruszanie się z prędkością 120 km/h. Wagony tego typu posiadają zwykle 4 osie.

Koszt zakupu zarówno wagonu Modalohr, jak i CargoBeamer to wydatek kilkuset tysięcy złotych. System Modalohr oraz CargoBeamer przedstawia Rysunek 1.



Rysunek 1. System Modalohr (1), system CargoBeamer (2)

Źródło: www.funimag.com (1), www.ibrudat.de/projekte_3.html (2) [Dostęp: 01.08.2021]

W zupełnie innej konwencji funkcjonuje **system załadunku pionowego LO-LO**. W systemie pionowym przedmiotem załadunku są kontenery, naczepy siodłowe oraz nadwozia wymienne. Załadunek na wagony odbywa się przy pomocy maszyn ładunkowych m.in. dźwigów, suwnic czy wozów podnośnikowych wyposażonych w zawiesia linowe, *spreadery* lub chwytaki kleszczowe. Miejscem załadunku i wyładunku jednostki transportu intermodalnego jest specjalnie utwardzony front ładunkowy. Poszczególne składowe systemu LO-LO szerzej zostały opisane w kolejnych rozdziałach.

1.4.3. Przewozy intermodalne w Polsce

Branża transportu intermodalnego we współczesnej Polsce przeżywa dynamiczny rozkwit. Niestety jej dalszy rozwój stoi pod znakiem zapytania, ponieważ sektor kolejowy na którym opierają się przewozy intermodalne na przestrzeni lat nie został w pełni dostosowany do obsługi wzmożonego potoku ruchu pociągów towarowych. Większość kolejowych punktów ładunkowych oraz stacji zdawczo-odbiorczych rozmieszczonych po całym kraju w dużej mierze znajduje się na granicy swoich możliwości operacyjnych. Ich problemy techniczno-operacyjne implikują powstawanie kongestii torowej przed głównymi hub'ami przeładunkowymi (tj. Baltic Hub, BCT Gdynia, CL Małaszewicze), wskutek czego dochodzi do powstawania wąskich gardeł w docelowych destynacjach. Następstwem niniejszego zjawiska jest niski wskaźnik dostaw zrealizowanych na czas przez operatorów intermodalnych, który wiąże się z bardzo kosztowną dezorganizacją procesów logistycznych wielu firm dystrybucyjno-przemysłowych. Poważny problem w sektorze kolejowym stanowi długość użyteczna torów ładunkowych na terminalach intermodalnych i stacjach zdawczo-odbiorczych – zwykle niemożliwiająca przyjmowania składów pociągów dłuższych niż 600 m (podczas gdy na zachodzie Europy standardem jest już uruchamianie oraz obsługa pociągów 740/750-metrowych). Nadawanie krótszych składów powoduje niepełne wykorzystywanie potencjału przewozowego pociągów intermodalnych. Fakty te obrazują skalę niedoinwestowania i zapóźnienia rodzimej infrastruktury przeładunkowej na tle lepiej rozwiniętych państw UE. Jednocześnie dają impuls do dalszej dyskusji nad kierunkiem modernizacji oraz rozwoju nowej infrastruktury ładunkowej dedykowanej przeładunkowi jłti w Polsce.

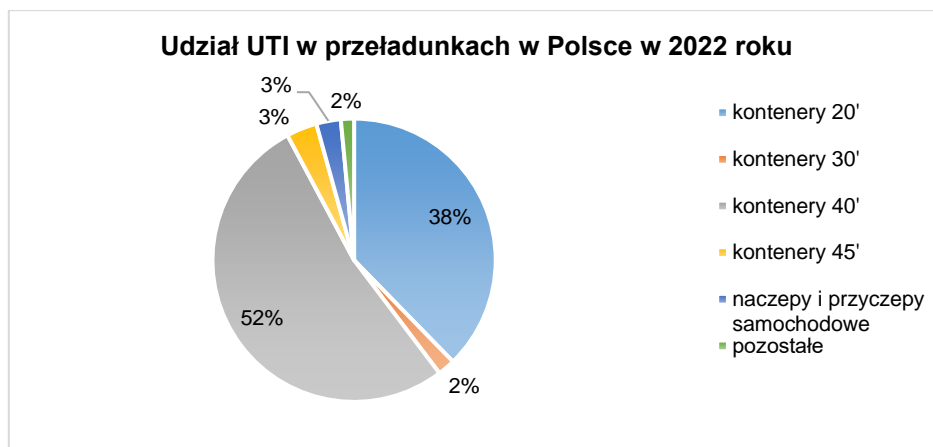
Towary w transporcie intermodalnym przewozi się w ustandaryzowanych naczyniach transportowych – jednostkach ładunkowych transportu intermodalnego. Najpopularniejsze z nich to **naczepy** oraz **kontenery**.

Naczepa to samodzielny pojazd kołowy nieposiadający własnego napędu, który w każdej chwili może zostać sprzęgnięty z pojazdem wyposażonym we własny napęd w taki sposób, że znaczna część jego masy przejmowana jest przez tenże pojazd. Naczepę zwykle łączy się z ciągnikiem za pomocą specjalnego siodła. Połączenie wspomnianych pojazdów tworzy zestaw członowy. Niestety większość naczep siodłowych (ok. 90%), która porusza się zarówno po polskich, jak i europejskich drogach nie jest przystosowana do przeładunku w systemie LO-LO. W technologii pionowej, przeładowywać można wyłącznie naczepy posiadające: wzmocnione podwozie, cztery punkty chwytania (tzw. *grab handles*) i wzmocnioną tablicę przyłączeniową chronioną przez gumowe odboje [207]. Z tego powodu, koniecznością staje się

budowa terminali intermodalnych przystosowanych do obsługi naczep w systemie RO-RO, w którym nie ma potrzeby oddolnego chwytania naczepy.

Kontenerem natomiast definiuje się metalową skrzynię o znormalizowanych wymiarach i konstrukcji, przeznaczoną do wielokrotnego przewozu towarów. Jednolite wymiary pojemnika, pozwalają na przyspieszenie operacji ładunkowych. Kontenery zazwyczaj wykorzystywane są do transportu drobnicy, ponieważ doskonale chronią ładunek przed złymi warunkami atmosferycznymi oraz uszkodzeniami mechanicznymi. Ich załadunek i wyładunek odbywa się wyłącznie w technologii LO-LO. Odmianą kontenerów ISO są kontenery chłodnicze, wykorzystywane do przewozu ładunków wymagających zachowania stałej temperatury w trakcie trwania cyklu transportowego. Budowa kontenerów chłodniczych pozwala na przewóz zarówno ładunków wymagających schładzania, jak i mrożenia. Różnica między kontenerem wielkim a chłodniczym polega na tym, że we frontowej części kontenera chłodniczego został wbudowany agregat chłodniczy będący konstrukcją modułową. Elementarną częścią agregatu jest wentylator parownika, który zasysa powietrze chłodzące ładunek z górnej części komory ładunkowej i przekierowuje do przestrzeni parownika. Tam odbywa się wymiana ciepła. Następnie powietrze wdmuchiwane jest do dolnej części komory, gdzie wskutek konwekcji zachodzącej w kanałach podłogowych odbierane jest ciepło od ładunku [173].

Współcześnie w Polsce i na świecie najczęściej eksploatowanymi naczyniami transportowymi są kontenery ISO o długości 20', 40' oraz 40'HC (tzw. *High Cube*). Dzieje się tak ze względu na uniwersalność ich parametrów. Kontenery 20' wykorzystuje się przede wszystkim do transportu materiałów ciężkich, natomiast kontenery 40' do transportu materiałów objętościowych. Ze względu na uniwersalność, kontenery o długości 20' i 40' posiadają ponad 90% udział w przewozach na rynku intermodalnym, natomiast naczepy i przyczepy stanowią ok. 1,6 % wszystkich transportowanych UTI – Rysunek 2.



Rysunek 2. Udział UTI w przeładunkach w 2022 r w Polsce

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Transportu Kolejowego (UTK)

W Polsce eksploatuje się wagony platformy do przewozu kontenerów oraz wagony kieszeniowe do przewozu naczep siodłowych bądź nadwozi wymiennych [103]. Ze względu na to, iż kontenery stanowią więcej niż 90% obrotu wszystkich UTI – wagony kieszeniowe są rzadziej eksploatowane niż wagony platformy.

Zarówno na polskim jak i europejskim rynku kolejowym występuje wiele rodzajów wagonów służących do transportu kontenerów i naczep siodłowych. Najprostsza klasyfikacja wagonów kontenerowych dotyczy ich pojemności. Pojemność wagonu zazwyczaj wyraża się w jednostce TEU². Obecnie najczęściej eksploatowane wagony to:

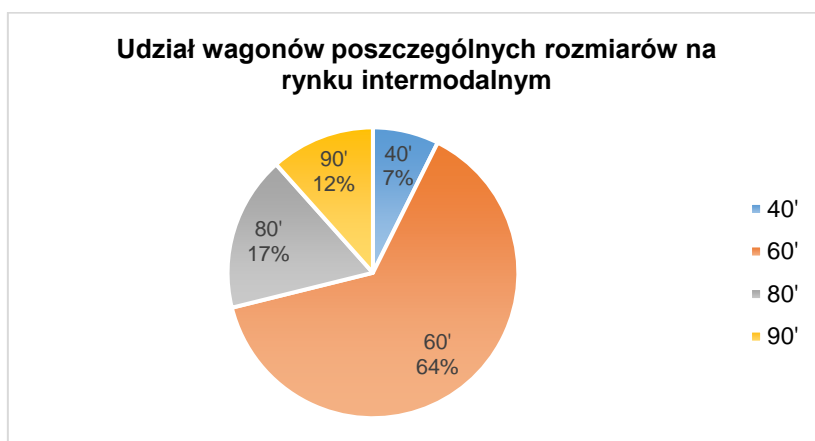
- platformy o długości 80' i pojemności do 4 TEU. Załadunku można dokonywać w następujących konfiguracjach: 2 × 40' lub 4 × 20' lub 1 × 40' + 2 × 20',
- platformy o długości 60' o pojemności do 3 TEU. Załadunku można dokonywać w następujących konfiguracjach: 3 × 20' lub 1 × 40' + 1 × 20',
- platformy o długości 40' o pojemności do 2 TEU. Załadunku można dokonywać w następujących konfiguracjach: 2 × 20' lub 1 × 40'.

Inna klasyfikacja wagonów dotyczy liczby osi jaką posiada wagon-platforma. Ze względu na liczbę osi wyróżnia się następujące wagony: 2-osiove, 3-osiove, 4-osiove, 6-osiove i więcej. Od liczby osi zależy m.in. ładowność wagonu oraz średnie obciążenie liczone per oś, które nie może przekraczać dopuszczalnego obciążenia właściwego dla danej klasy torów [208], [87].

W Polsce stan większości taboru kolejowego określa się mianem „dosyć wyeksploatowanego”. Ok. 70% wagonów służy dłużej niż 30 lat. Wiek ten implikuje

² TEU (z ang. twenty-foot equivalent unit) – jednostka zastępcza, której długość odpowiada 20 stopom

konieczność ich modernizacji. Do 2023 r. przewoźnicy planowali pozyskać około 4,3 tys. nowych wagonów (w tym 1750 platform) za kwotę 1,4 mld zł. Całkowita liczba wagonów towarowych w 2019 wynosiła 86,8 tys., z czego wagony platformy stanowiły 15% (ok. 13 tys. sztuk) [14]. Według najświeższych danych (2022 r.) PKP oraz Urzędu Transportu Kolejowego (UTK), które zostały skonsolidowane z rynku przez autora niniejszej pracy wszyscy przewoźnicy w Polsce dysponowali ok. 4200 wagonami intermodalnymi [14], [183]. Poniżej zilustrowano udział poszczególnych typów wagonów intermodalnych w bieżącej eksploatacji – Rysunek 3.



Rysunek 3. Udział poszczególnych wagonów w rynku ze względu na długość

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych UTK oraz [209]

W przewozach intermodalnych istotną rolę pełnią lokomotywy. Wyróżnia się przynajmniej dwa główne rodzaje lokomotyw: **lokomotywy spalinowe** i **lokomotywy elektryczne**.

Lokomotywa spalinowa to pojazd służący w szczególności do wykonywania pracy przewozowej po liniach niezelektryfikowanych oraz prac manewrowych. Ze względu na charakter pracy wyróżnia się lokomotywy spalinowe manewrowe oraz liniowe. Lokomotywy spalinowe stanowią 60% wszystkich lokomotyw w Polsce (ok. 2030 szt., dane UTK 2017) a ich średni wiek osiąga 38 lat. Ze względu na wysoki koszt, wymiana lokomotyw spalinowych na nowsze modele jest nieopłacalna. Dlatego też prowadzone są prace modernizacyjne mające na celu m.in. zwiększenie ich mocy, poprawę niezawodności, gotowości technicznej oraz sprostanie nowym normom emisji spalin [47], [123]. Pojazdy te mają dosyć istotne znaczenie w transporcie kolejowym intermodalnym. Wykonują bowiem prace manewrowe między stacją zdawczo-odbiorczą a terminalem. Jak definiuje Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie ogólnych warunków prowadzenia ruchu kolejowego i sygnalizacji (Dz. U. 2015. 360) manewr to „wszelkie zamierzone ruchy pojazdów

kolejowych oraz związane z nimi czynności na torach, z wyjątkiem wjazdu, wyjazdu i przejazdu pociągów". Prędkość jazd manewrowych nie powinna być większa niż 25 km/h. Jeżeli jednak pojazd porusza się po wolnym torze o czym został powiadomiony maszynista, dopuszcza się prowadzenie manewru z prędkością 40 km/h.

Jazdy manewrowe lokomotywami stanowią poważne wyzwanie dla transportu intermodalnego w Polsce. Są czynnikiem absorbującym cenny czas, przez co zmniejszają konkurencyjność transportu kolejowego względem drogowego. Dlatego w niedalekiej przyszłości powinna nastąpić zmiana podejścia do regulacji prawnych oraz do wymogów technicznych stawianych infrastrukturze punktowej transportu kolejowego. Parametry infrastruktury nowych lub zmodernizowanych terminali powinny umożliwiać bezpośredni wjazd pociągu ze szlaku, bez konieczności jego rozrządzenia i zmiany czoła na stacji towarowej. Taką możliwość dają **lokomotywy dwumodułowe**.

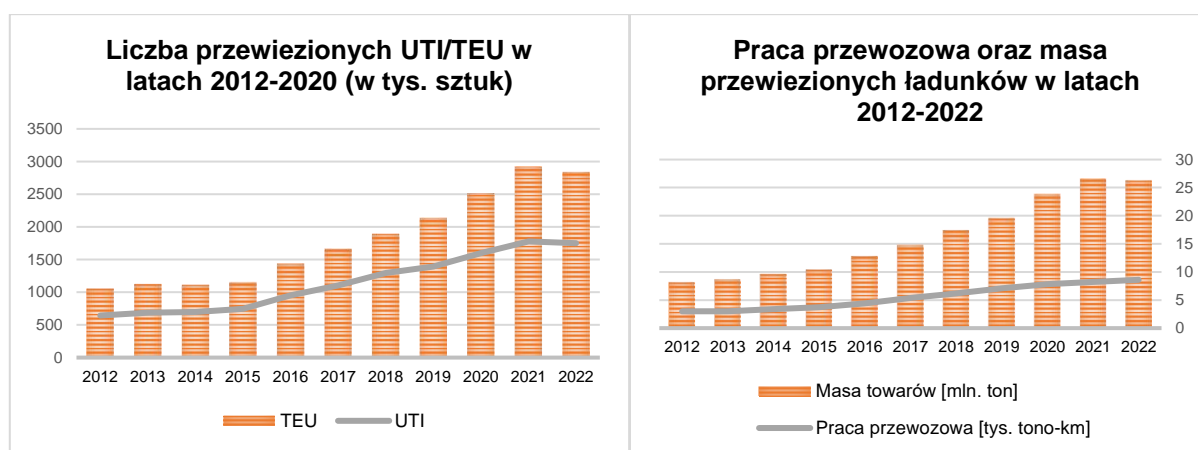
Lokomotywa elektryczna (zwana również elektrowozem) to pojazd napędzany silnikami elektrycznymi służący do ciągnięcia składu wagonów kolejowych po liniach zelektryfikowanych. Silniki elektrowozu zasilane są energią elektryczną pochodzącą zazwyczaj z sieci trakcyjnej, akumulatorów bądź z tzw. trzeciej szyny. Na świecie występują dwa główne typy zasilania trakcyjnego m.in. prądem stałym (DC) oraz prądem przemiennym (AC). Ze względu na to, iż w różnych regionach świata występują różne rodzaje zasilania coraz powszechniej stosuje się lokomotywy wielosystemowe, które zdolne są do pracy zarówno w systemie zasilania DC oraz AC. Niektóre rodzaje lokomotyw elektrycznych są w stanie wyprodukować 6400 kW mocy. Warto zaznaczyć, iż lokomotywy elektryczne na ogół osiągają dużo większą moc niż lokomotywy spalinowe. W Polsce w 2017 roku poruszało się 1420 szt. lokomotyw elektrycznych, a ich średni wiek wynosił 32 lata. W najbliższym czasie przewoźnicy planują także odnowić, wydzierżawić bądź pojąć w leasing 283 lokomotyw za łączną kwotę 1,6 mld zł [14], [183].

Obecnie nowe typy lokomotyw elektrycznych wyposaża się w tzw. spalinowy moduł dojazdowy. Lokomotywy z modułem dojazdowym nazywa się lokomotywami *dwumodułowymi*. Po opuszczeniu pantografu mają możliwość przejechania kilkunastu kilometrów na silniku Diesla. Bardzo prawdopodobne, iż w niedalekiej przyszłości tego typu elektrowozy zastąpią tradycyjne lokomotywy spalinowe wykonujące manewry między stacją kolejową a terminalem intermodalnym. Dzięki takim lokomotywowi zostanie zaoszczędzony czas, ponieważ tak jak już wspomniano – wjazd pojazdu trakcyjnego na obiekt niezelektryfikowany (np. bocznica, ładownia, baza utrzymaniowa, terminal intermodalny)

będzie mógł odbywać się bezpośrednio ze szlaku. Przykładem lokomotywy dwumodułowej jest model E6ACT/ E6ACTd (*Dragon*) producenta Newag.

1.4.4. Trendy rozwojowe transportu intermodalnego w Polsce

Ogólnodostępne dane statystyczne pokazują, iż pomimo wielu barier rozwoju z jakimi mierzy się obecnie transport w Polsce, branża intermodalna wciąż odnotowuje gwałtowny przyrost przewożonych wolumenów. Rysunek 4 obrazuje przyrost liczby transportowanych jednostek liczonych w UTI/TEU oraz masy przewiezionych towarów i pracy przewozowej w latach 2012-2022.

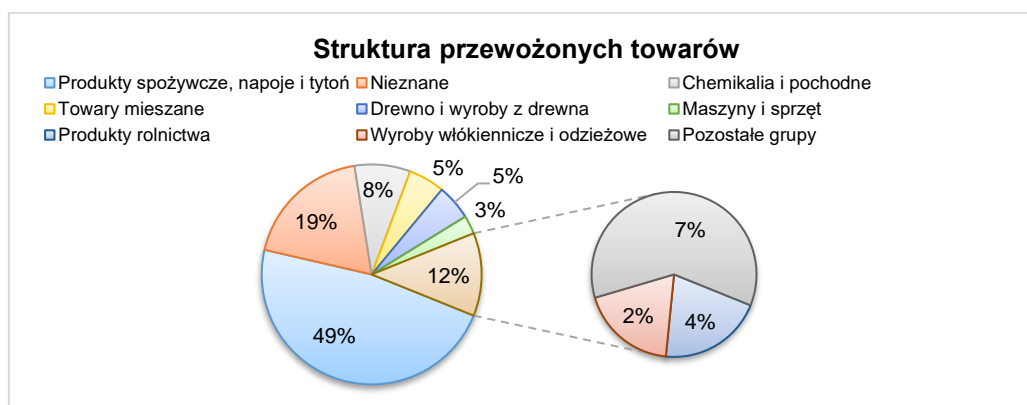


Rysunek 4. Liczba przewiezionych UTI/TEU oraz praca przewozowa w transporcie intermodalnym w latach 2012-2022

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych UTK

Z powyższych wykresów wynika, iż w roku 2020 przewieziono 5-krotnie więcej ładunków i TEU niż w 2010 roku. Na tak dynamiczny rozwój transportu intermodalnego w tych latach miało chociażby wpływ zawinięcie w 2010 statku oceanicznego Maersk Line do DCT Gdańsk. Od tej pory ustanowiono stałe połączenie morskie między Polską, Niemcami, Niderlandami, Malezją i Chinami, które do chwili obecnej znacząco stymuluje popyt na usługi w transporcie intermodalnym. Warto zaznaczyć, iż wzrost przeładunków w polskich portach odbył się początkowo kosztem przeładunków mających miejsce w niemieckich portach (Bremerhaven i Hamburg). Kolejnym impulsem dla rozwoju transportu intermodalnego było uruchomienie funkcjonującego od 2016 roku regularnego połączenia kolejowego między Chinami a Europą na Nowym Jedwabnym Szlaku (NJS). W roku 2022 terminal w Małaszewiczach obsługiwał około 100 par pociągów tygodniowo [210]. Na wzrost przewiezionej liczby kontenerów miała także początkowo pandemia Covid-19 – a to za sprawą wzrostu konsumpcji spowodowanej przejściem pracowników biurowych na pracę zdalną.

Warto dodać, iż od wielu lat spośród najczęściej przewożonych towarów w Polsce w transporcie intermodalnym są m.in. produkty spożywcze, chemikalia i wyroby z drewna – Rysunek 5.



Rysunek 5. Struktura przewożonych towarów w Polsce w transporcie intermodalnym

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych UTK

Artykuły spożywcze stanowią prawie 50% udziału w strukturze przewożonych ładunków. Pomimo tego, przewóz artykułów wymagających specjalnych warunków (np. kontrolowanej temperatury) na wyłączność odbywa się w sposób bezpośredni transportem drogowym. Za taki stan rzeczy odpowiada stan polskiej infrastruktury kolejowej, która na tę chwilę stwarza duże ryzyko opóźnienia dostaw dla ładunków o wysokiej podatności transportowej. Kluczową rolę w przewozie niniejszych ładunków odgrywa czas i punktualność.

1.4.5. Sieć linii kolejowych w Polsce transportu intermodalnego

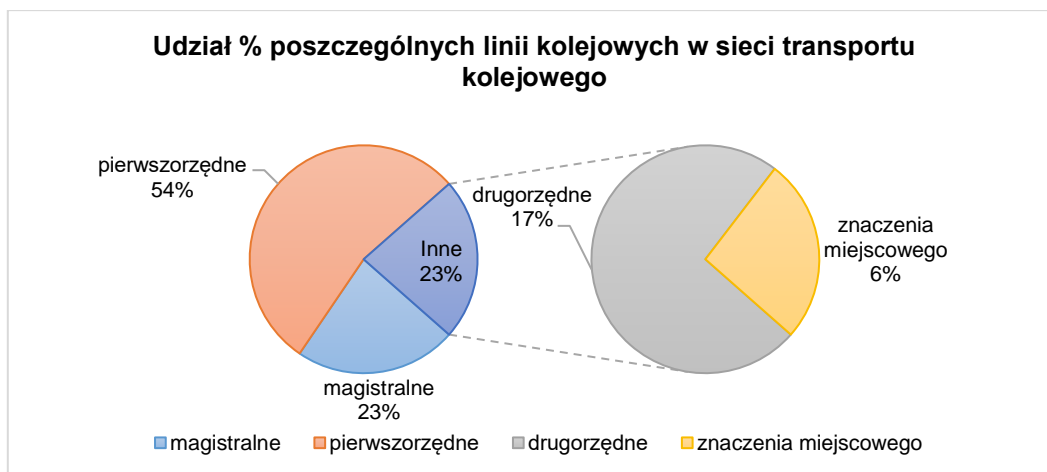
W 2019 roku, w Polsce eksploatowanych było 19 398 km linii kolejowych. Ze względu na znaczenie wyróżnia się linie: magistralne, pierwszorzędne, drugorzędne oraz znaczenia miejscowego. Zasady klasyfikacji linii kolejowych przedstawia Tabela 3.

Tabela 3. Podział linii kolejowych ze względu na parametry

| Lp. | Kategoria linii kolejowej | Obciążenie przewozami T [Tg/rok] | Prędkość maksymalna V_{max} [km/h] | Prędkość maksymalna pociągów towarowych V_{max} [km/h] |
|-----|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1 | magistralne (0) | $T \geq 25$ | $120 < V_{max} \leq 250$ | $80 < V_{max} \leq 120$ |
| 2 | pierwszorzędne (1) | $10 \leq T < 25$ | $80 < V_{max} \leq 120$ | $60 < V_{max} \leq 80$ |
| 3 | drugorzędne (2) | $3 \leq T < 10$ | $60 < V_{max} \leq 80$ | $50 < V_{max} \leq 60$ |
| 4 | znaczenia miejscowego (3) | $T < 3$ | $V_{max} \leq 60$ | $V_{max} \leq 50$ |

Źródło: [53]

Rysunek 6 ilustruje udział % poszczególnych rodzajów linii w polskiej sieci kolejowej.



Rysunek 6. Udział % poszczególnych rodzajów linii kolejowych w sieci transportu kolejowego
 Źródło: opracowanie własne na podstawie www.funduszeuropejskie.gov.pl [Dostęp: 08.06.2021]

W 2019 roku ok. 55% wszystkich linii kolejowych (LK) stanowiły linie jednotorowe. W przeciwieństwie do linii dwutorowych – linie jednotorowe nie umożliwiają prowadzenia płynnego ruchu kolejowego w dwóch kierunkach. Fakt ten decyduje o znaczeniu i atrakcyjności linii kolejowych dla prowadzenia ruchu kolejowego.

Oceniając stan infrastruktury kolejowej po liczbie torów kolejowych na danej linii, to najgorszym stanem infrastruktury kolejowej charakteryzuje się infrastruktura województw położonych na wschodzie oraz zachodzie kraju. Najlepiej rozwinięta infrastruktura liniowa według tego kryterium znajduje się w województwie mazowieckim, wielkopolskim, śląskim i opolskim.

Na tę chwilę około 62% wszystkich linii kolejowych (ponad 12 tys. km) jest zelektryfikowanych. Pozostałe 38% (7,4 tys. km) linii ma status niezelektryfikowanych. Najdłuższa sieć linii torów kolejowych zelektryfikowanych znajduje się w województwie śląskim (1167 km), mazowieckim (1 386 km), wielkopolskim (1 260 km), zaś najkrótsza w województwie podlaskim (222 km) oraz lubuskim (334 km).

Po liniach kolejowych PKP PLK poruszają się następujące kategorie pociągów [94], [145]: TC/TD – oznaczenia dla krajowych i międzynarodowych przewozów pełnych lub próżnych platform intermodalnych, TN/TR – oznaczenia dla krajowych i międzynarodowych przewozów niemasowych, TM/TG – oznaczenia dla krajowych i międzynarodowych przewozów masowych, TK – obsługa stacji i bocznic, TS – próżne wagony z/do naprawy oraz pociągi próbne, TH – skład lokomotyw.

Linie kolejowe dzieli się na klasy. Klasę torów kolejowych definiują oznaczenie kodowe, które określają m.in. maksymalny nacisk na oś wózka oraz maksymalny nacisk liniowy na dany

szlak bądź odcinek. Linie kolejowe mogą składać się z odcinków o różnych klasach linii. Tabela 4 przedstawia kody klas torów kolejowych począwszy od klasy A do D4 [144].

Tabela 4. Klasy linii kolejowych

| Kod | Maks. Nacisk osi | Maks. Nacisk liniowy |
|-----|-----------------------|----------------------|
| A | 157 kN/oś (16 t/oś) | 49 kN/m (5 t/m) |
| B1 | 177 kN/oś (18 t/oś) | 49 kN/m (5 t/m) |
| B2 | 177 kN/oś (18 t/oś) | 63 kN/m (6,4 t/m) |
| C2 | 196 kN/oś (20 t/oś) | 63 kN/m (6,4 t/m) |
| C3 | 196 kN/oś (20 t/oś) | 71 kN/m (7,2 t/m) |
| C4 | 196 kN/oś (20 t/oś) | 78 kN/m (8 t/m) |
| D2 | 221 kN/oś (22,5 t/oś) | 63 kN/m (6,4 t/m) |
| D3 | 221 kN/oś (22,5 t/oś) | 71 kN/m (7,2 t/m) |
| D4 | 221 kN/oś (22,5 t/oś) | 78 kN/m (8 t/m) |

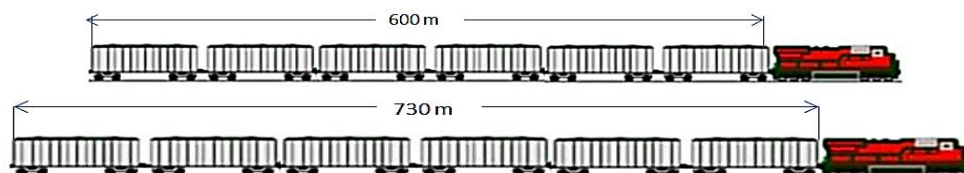
Źródło: [144]

Z technicznego punktu widzenia klasa D linii kolejowych posiada najlepsze parametry, ponieważ dopuszczalny nacisk na oś wózka wagonowego umożliwia kursowanie po niej pociągów o dużych masach brutto, natomiast klasa A – najgorsze, ponieważ dopuszczalny nacisk na oś umożliwia kursowanie po niej stosunkowo lekkich składów.

Ogółem polska sieć kolejowa dysponuje największą długością klas C oraz D torów kolejowych. Trzeba tutaj zauważyć, że jeżeli na trasie pociągu znajduje się choćby jeden odcinek o niższej klasie torów kolejowych, to nadanie pociągu odbywa się zgodnie z parametrami właściwymi dla klasy niższej.

Dosyć istotne ograniczenie w towarowym transporcie kolejowym stanowi dopuszczalna długość pociągu. Zależy ona m.in. od długości torów ładunkowych na terminalu intermodalnym oraz torów stacyjnych znajdujących się między terminalem nadania i przybycia. Aktualnie w Polsce istnieje możliwość uruchamiania pociągów o długości:

- nieprzekraczającej 600 m (bez lokomotywy),
- nieprzekraczającej 750 m (z lokomotywą – Rysunek 7),
- przekraczającej 750 m.

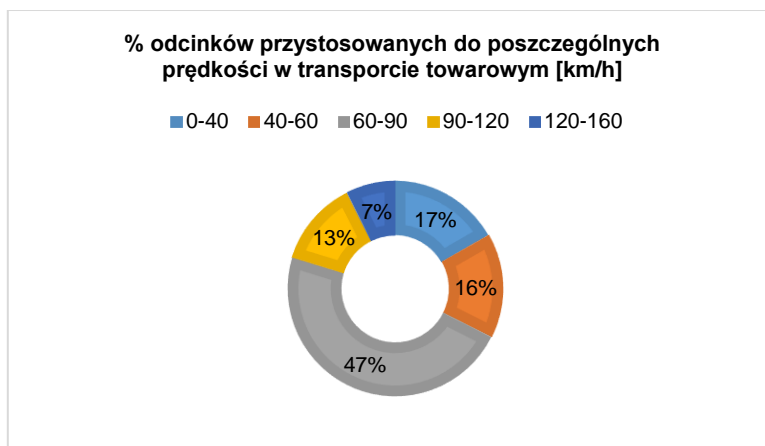


Rysunek 7. Skład o długości 600 m oraz pociąg o długości 750 m

Źródło: opracowanie własne

Według danych PKP PLK pociągi o długości 750 m mogą kursować łącznie na długości 3700 km linii kolejowych [206].

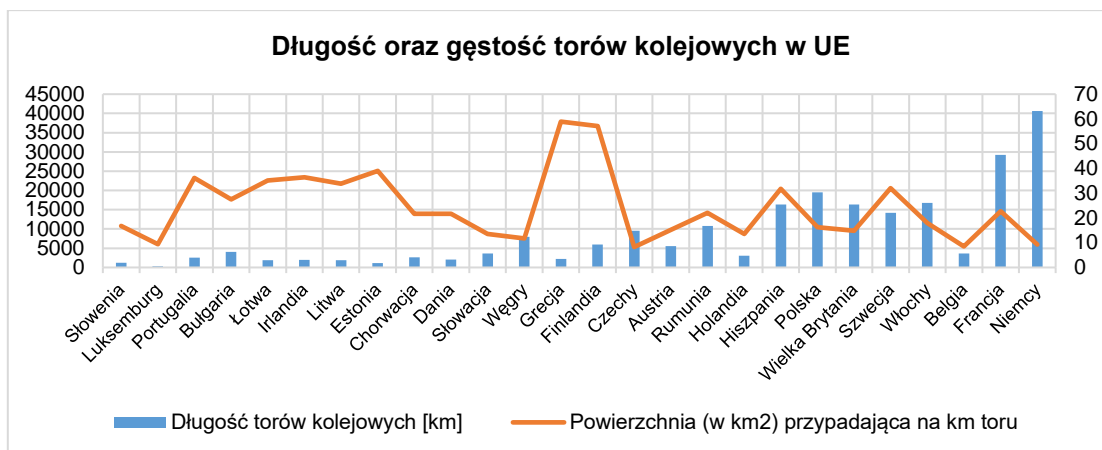
Prawie połowa linii przystosowana jest do kursowania pociągów z maksymalną prędkością 60-90 km/h. Niestety średnia prędkość handlowa pociągów intermodalnych wciąż oscyluje wokół 30 km/h (podczas gdy w Niderlandach jest to 60 km/h). Spowodowane jest to m.in. modernizacją infrastruktury, niedostateczną przepustowością stacji kolejowych i terminali intermodalnych. Niska prędkość handlowa pociągów skutecznie zniechęca potencjalnych klientów do korzystania z transportu intermodalnego [134]. Rysunek 8 przedstawia udział procentowy linii kolejowych przystosowanych do danego przedziału prędkości.



Rysunek 8. Udział odcinków linii kolejowych przystosowanych do kursowania w danym przedziale prędkości

Źródło: [143]

Ogółem w Polsce występuje jedna z najbardziej rozbudowanych sieci kolejowych w Europie. Ilościowo więcej linii kolejowych posiadają jedynie Niemcy oraz Francja, a najmniej Luksemburg, Słowenia oraz Estonia. Gęstość linii kolejowych w Polsce w przeliczeniu na 100 km² powierzchni kraju jest mniejsza niż chociażby w Czechach, Belgii, Niemczech czy Luksemburgu. W tym rankingu Polska plasuje się dopiero na 9 miejscu. W ostatnich latach pozytywnym sygnałem wydaje się wzrost ogólnej długości torów kolejowych – Rysunek 9.

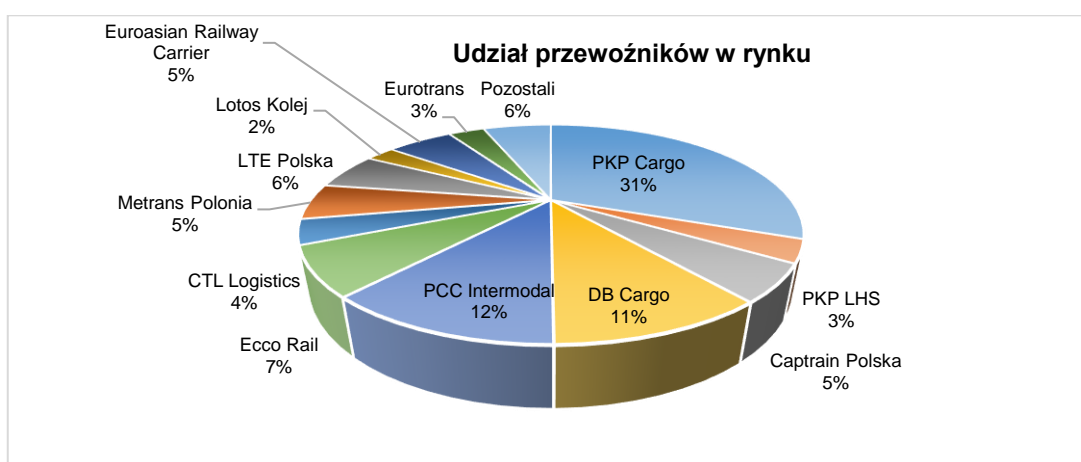


Rysunek 9. Długość oraz powierzchnia przypadająca na 1 km torów kolejowych w krajach UE

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat i pl.wikipedia.org.pl [Dostęp:19.07.2021].

1.4.6. Przewoźnicy oraz operatorzy transportu intermodalnego w Polsce

Od chwili deregulacji rynku kolejowego na przełomie lat 90/00, rośnie liczba przewoźników kolejowych. Według UTK w 2021 przewozy intermodalne realizowało 22 podmioty. Na rynku prym wiodli: PKP Cargo (30,73% udziału w przewozach), PKP LHS (3,27%), Captrain Polska (5,24%), DB Cargo (10,62%), PCC Intermodal (11,6%). Ecco Rail (6,79%), CTL Logistics (3,65%), Metrans Polonia (5,38%), LTE Polska (5,58%), Lotos Kolej (2,4%), Euroasian Railway Carrier (5,57%), Eurotrans (3,09%), przy czym od kilku lat maleje znaczenie narodowego przewoźnika PKP Cargo na rzecz podmiotów prywatnych (Rysunek 10).



Rysunek 10 Udział przewoźników realizujących przewozy intermodalne w rynku

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych UTK

Warto zauważyć, iż w branży transportu intermodalnego systematycznie przybierają na znaczeniu **operatorzy transportu intermodalnego**. Operator transportu intermodalnego to podmiot realizujący transport intermodalny na odcinku między miejscem, w którym została

zlecona usługa przewozu a miejscem odbioru przesyłki. W literaturze najpowszechniej występuje definicja operatora intermodalnego zaprezentowana przez [174], gdzie pojęcie to jest definiowane następująco:

Operator transportu intermodalnego – osoba fizyczna prowadząca działalność gospodarczą, osoba prawna lub jednostka organizacyjna niebędąca osobą prawną prowadzącą działalność gospodarczą, podejmująca się wykonania transportu intermodalnego towaru na całej jego długości na podstawie jednej umowy i ponosząca odpowiedzialność za wykonanie takiej umowy na zasadach z niej wynikających.

Zakres wykonywania przewozu na całym odcinku i na podstawie jednej umowy przez operatora transportu intermodalnego wynika zazwyczaj z rodzaju profilu biznesowego przedsiębiorstwa świadczącego tego rodzaju usługi. Obecnie wyróżnia się następujące rodzaje operatorów intermodalnych [124], [169], [201]:

- **uniwersalny operator logistyczny** – jest to podmiot definiujący, wdrażający i realizujący usługi intermodalne w imieniu strony trzeciej i jej ładunku. Operator projektuje usługę intermodalną od miejsca nadania do miejsca zdania jłti. Ustala m.in. terminal nadania i przybycia, harmonogram jazdy pociągów, masę oraz długość pociągu, rodzaje eksploatowanych wagonów oraz taryfę. Dokonuje on akwizycji usług u podwykonawców – tj. na przewóz kolejowy, przewóz drogowy oraz usługę przeładunkową w terminalach morskich oraz lądowych. Oferuje miejsca ładunkowe spedytorom, załadowcom oraz usługodawcom logistycznym. Operator ten ponosi pełną odpowiedzialność za wypełnienie miejsca w składzie pociągu. Często występuje jedynie w roli koordynatora serwisu intermodalnego nie dysponując własnym majątkiem. Poprzez zakup usługi transportowej u przewoźników pośrednio uczestniczy w rynku infrastrukturalnym,
- **przewoźnik kolejowy pełniący rolę operatora logistycznego** – w tym modelu biznesowym przewoźnik kolejowy tworzy własny serwis intermodalny. Oferuje usługę dowozową drzwi-drzwi (z ang. *door-to-door*) lub port-drzwi (z ang. *port-to-door*). Często praktyką wśród przewoźników kolejowych jest wydzielenie dedykowanej spółki córki świadczącej usługi transportowe,
- **usługodawca logistyczny/spedytor wchodzący w rolę operatora intermodalnego** – w niniejszym przypadku rolę operatora logistycznego odgrywa przewoźnik drogowy, spedytor lub załadowca (np. właściciel terminala intermodalnego). Powstaniu instytucji tego rodzaju operatora towarzyszy akwizycja małych przedsiębiorstw (terminali, przewoźników drogowych, kolejowych) realizowana przez dużych graczy rynkowych.

Celem łączenia małych przedsiębiorstw w duże przedsiębiorstwo jest stworzenie kompleksowych usług transportowych dla najbardziej wymagających klientów. Zbiegiem czasu operatorzy realizujący konsolidację rynku zaczęli otwierać się również na klientów o mniejszych potrzebach przewozowych. Pośrednim celem, który im przyświecał było wypełnienie bardzo kosztownych miejsc ładunkowych w składach pociągów.

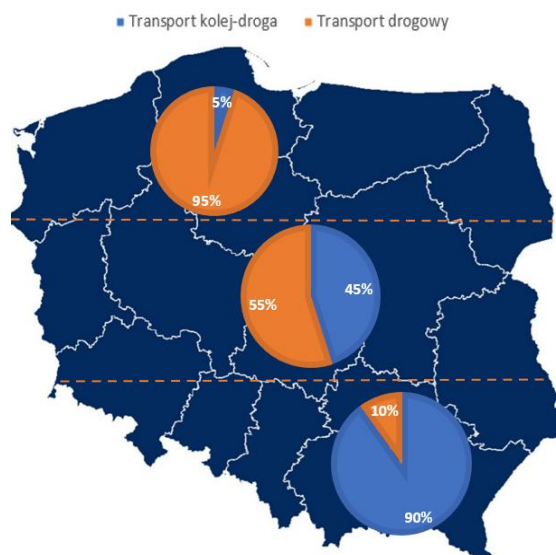
Współcześnie, wśród najważniejszych operatorów transportu intermodalnego operujących na polskim rynku znajdują się: Loconi Intermodal, PCC Intermodal, Metrans Polonia, OstSped, PKP Cargo Connect, Spedcont, A. P. Moller-Maersk (armator), Laude Smart Intermodal, Schavemaker Investment, Clip Intermodal.

Coraz częściej rolę operatorów transportu intermodalnego przejmują armatorzy morscy tj. MSC Cruises czy A. P. Moller-Maersk, którzy w kooperacji z przewoźnikami (nierzadko z terminalami), aranżują własne przewozy całopociągowe i realizują ambitne projekty. Przykładowym efektem takiej współpracy był najcięższy skład intermodalny w Polsce nadany do Gdańska w 2021 roku przez A. P. Moller-Maersk, Euroterminal Sławków oraz PKP Cargo. W składzie, którego masa brutto wynosiła 3335 ton przewieziono 90 kontenerów 20-stopowych. Nadanie składu o takiej masie brutto wymagało ścisłej synergii operacyjnej pomiędzy wieloma podmiotami.

1.4.7. Bariery rozwoju transportu intermodalnego

Pomimo coraz większej popularności, transport intermodalny wciąż napotyka na wiele barier rozwoju. Bariery te sprawiają, iż transport intermodalny nie jest atrakcyjny dla operatorów logistycznych na krótkich i średnich odcinkach w stosunku do transportu drogowego. Rysunek 11 przedstawia obszary na mapie Polski, w których transport ładunków skonteneryzowanych w relacji klient-port morski (i w relacji odwrotnej) odbywa się w przeważającej większości:

- wyłącznie transportem drogowym (ładunek jest podejmowany u klienta i dostarczany bezpośrednio transportem drogowym do portu),
- środkami kolejowo-drogowymi (kontenery zwykle podejmowane lub odwożone są z/do klienta transportem drogowym, ale przewóz na głównym odcinku trasy odbywa się przy udziale transportu kolejowego).



Rysunek 11 Szacunkowy udział klientów korzystających z transportu intermodalnego typu kolej-droga-morze oraz droga-morze

Źródło: Opracowanie własne

Wpływ na przebieg zilustrowanych granic ma kilka zasadniczych czynników, do których należą:

- **stawki transportowe:** z punktu widzenia kosztów przewozy kolejowe opłacalniejsze są na dłuższych odcinkach niż na krótszych. W kosztach transportu kolejowego dużą rolę odgrywają koszty stałe uruchamianych połączeń, których rola maleje na średnich i długich dystansach,
- **czas przewozu:** w przypadku odcinków krótkich realizowanych w transporcie kolejowym z przyczyn techniczno-organizacyjnych czas przewozu nie jest tak atrakcyjny, jak w przypadku odcinków długich i średnich,
- **niedobór na rynku kierowców zawodowych:** aby zaspokoić popyt na usługi przewozowe kierowcy niejednokrotnie wykonują kilka kursów w czasie trwania standardowego czasu pracy. Nadanie przesyłki z południa Polski na północ oznaczałoby zaabsorbowanie całego czasu pracy na jeden kurs. W obecnych realiach rynkowych niewiele firm jest w stanie sobie na to pozwolić,
- **lokalizacja dużych firm na południu i centrum Polski:** częstokroć duzi gracze na rynku importują oraz eksportują tygodniowo od 40 do 100 kontenerów. Niejednokrotnie wymagają dużych dostaw partii do portów bądź zakładów produkcyjnych. Transport kolejowy jest im to w stanie zagwarantować, ze względu na zbiorczy charakter przewozu,

- **duża masa kontenerów na południu kraju:** wynika z koncentracji przemysłu ciężkiego na południu Polski. Regulacje prawne zabraniają przewozu kontenerów ciężkich transportem drogowym na długich odcinkach, dlatego jedynym wyjściem jest dostarczanie kontenera do terminala intermodalnego i załadowania go na pociąg.

Szeroko bariery rozwoju i wady transportu intermodalnego w Polsce zostały opisane w pozycjach [12], [105], [175]. Autorzy raportów i artykułów zaliczyli do nich m.in.: opóźnienia w dostawach, które skutecznie zniechęcają klientów do korzystania z transportu kolejowego (około 2/3 wszystkich połączeń intermodalnych w Polsce w 2018 r. nie przyjechało na czas), niską gęstość terminali intermodalnych oraz nierównomierne rozłożenie sieci głównych linii kolejowych, braki we współpracy między podmiotami na rynku transportu intermodalnego (między zarządcą infrastruktury, przewoźnikami a terminalami), podatność na kradzieże, brak wyspecjalizowanego taboru do przewożenia naczep siodłowych i nadwozi wymiennych, brak zunifikowanego systemu informacyjnego dla przesyłek lądowych oraz morsko-lądowych, niewystarczająca ilość suprastruktury ładunkowej oraz ogólnie niedoinwestowanie infrastruktury terminali, niedobór oraz wiek taboru kolejowego (średnia wieku lokomotyw oraz wagonów wynosi około 30 lat), znaczące opłaty za dostęp do infrastruktury kolejowej, niedostateczna informacja o siatce połączeń kolejowych, długi czas oczekiwania na stawki przewozowe, silna konkurencja ze strony transportu drogowego (większa mobilność, niższe stawki za dostęp do infrastruktury, mniejsza liczba kosztów towarzyszących), przeciągające się inwestycje kolejowe prowadzące do kongestii na torach kolejowych i opóźnień w dostawach końcowych do klienta, nierównomierne obciążenie istniejących terminali intermodalnych, brak wystarczającego zaufania klientów do transportu intermodalnego. Dodatkowo należy wspomnieć, iż pociągi intermodalne mają jeden z najniższych priorytetów na trasach kolejowych. Oznacza to, że w przypadku kongestii torowej w pierwszej kolejności zostają uruchamiane pociągi pasażerskie, w drugiej kolejności pociągi z ładunkami masowymi a dopiero w trzeciej – pociągi intermodalne [211].

2. CEL I TEZA PRACY

Ze względu na postępujące zmiany w gospodarce, zmiany społeczne oraz klimatyczne wydaje się, iż znajdzie konieczność rozbudowy sieci terminali intermodalnych w Polsce. Sprzyjać temu będzie kilka widocznych tendencji.

Współczesne przedsiębiorstwa produkcyjne, logistyczne oraz magazynowo – dystrybucyjne starają się być bardziej przyjazne środowisku, dlatego też poszukują ekologicznych form transportu takich jak transport intermodalny. Przepustowość bardzo wielu istniejących kolejowo-samochodowych baz przeładunkowych zbliża się do osiągnięcia ich granicznych możliwości. W związku z tym pojawi się konieczność nie tylko wybudowania nowych terminali przeładunkowych, ale znalezienia dla nich również lokalizacji poza dużymi aglomeracjami. Nowe terminale powinny powstawać z dala od dużych miast, gdyż ruch pojazdów ciężkich je obsługujących zakłóca ruch drogowy i generuje wiele problemów społecznych dla mieszkańców. Rozbudowę sieci terminali determinują liczne regulacje prawne zarówno wewnątrz europejskie, jak i krajowe. Zakłada się, iż do 2050 roku 50% ruchu pojazdów ciężkich powinno być obsługiwanych przez transport intermodalny, co niestety nie będzie możliwe bez nowej infrastruktury. Według tychże przepisów nowa infrastruktura powinna być budowana w nowej konwencji pozwalającej na obsługę składów o długości 740/750 m. Obiekty obecnie funkcjonujące w Polsce zwykle umożliwiają przyjmowanie składów nie dłuższych niż 600 metrów i częstokroć nie ma możliwości przeprowadzenia ich modernizacji w celu wydłużenia długości obsługiwanych składów. Z drugiej strony, istniejące kolejowo-samochodowe bazy przeładunkowe w Polsce zlokalizowane są w kilku skupiskach, podczas gdy na mapie kraju widnieje wiele białych plam, w których nie istnieje żaden obiekt przeładunkowy dla jednostek ładunkowych transportu intermodalnego. Taki stan rzeczy powoduje dalszą centralizację biznesu wokół dużych ośrodków miejskich, hamując tym samym rozwój gospodarczy pozostałych regionów. Za budową nowych terminali przemawia rosnąca uciążliwość transportu drogowego dla środowiska i ludzi. W celu ograniczenia negatywnych skutków transportu drogowego należy rozważyć próbę przeniesienia ruchu kołowego na transport kolejowy. Pomóc w tym mogłyby terminale przeładunkowe umożliwiające realizację przeładunków w technologii poziomej naczep siodłowych oraz pojazdów jako całość. Od wielu lat rosną także koszty transportu drogowego na dłuższe odległości, a kierowcy zamiast wybierać dłuższe kursy z dostawami wołą realizować krótkie kursy i wracać na noc bądź na weekend do domu (taką możliwość daje transport intermodalny). Dodatkowo, wskutek rozwoju elektromobilności flota samochodów ciężarowych z napędem Diesla będzie stopniowo

wymieniana na flotę samochodów elektrycznych[160]. Samochody elektryczne charakteryzują się o wiele krótszym zasięgiem od samochodów spalinowych, dlatego pożądanym rozwiązaniem będzie skrócenie drogi dostawy jednostek ładunkowych transportu intermodalnego do terminala. Aby możliwe było skrócenie odległości dowozu lub odwozu jednostek ładunkowych transportu intermodalnego do i z terminala musi wzrosnąć ich liczność oraz gęstość. Niezbędne są zatem inwestycje poprzedzone analizami lokalizacyjnymi dla nowych terminali intermodalnych.

Biorąc powyższe uwarunkowania rozwoju sieci terminali intermodalnych, celem rozprawy jest:

opracowanie wieloaspektowej i użytecznej praktycznej metody oceny lokalizacji terminali intermodalnych, pozwalającej na wyznaczenie racjonalnych lokalizacji w aspekcie zrównoważonego rozwoju kraju.

W kontekście zdefiniowanego celu rozprawy postawiono następującą tezę pracy:
stosując wieloaspektową i użyteczną metodę oceny lokalizacji terminali intermodalnych i narzędzia programowania matematycznego możliwe jest racjonalne planowanie lokalizacji w aspekcie zrównoważonego rozwoju Polski.

Cel główny rozprawy zostanie zrealizowany w kilku etapach.

Pierwszym etapem rozwiązania problemu badawczego będzie pogłębienie wiedzy w zakresie problematyki transportu intermodalnego i terminali intermodalnych oraz metod i narzędzi wspomagania decyzji w zakresie lokalizacji obiektów. Metody te zostaną przeanalizowane zarówno w ujęciu jedno- jak i wielokryterialnym. Wybrane metody wspomagania decyzji lokalizacji obiektów zostaną przeanalizowane pod względem ich przydatności do rozwiązywania problemu lokalizacji terminali intermodalnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju kraju i przyjętych warunków brzegowych. Wskazane zostaną zalety oraz braki dotychczas stosowanych metod.

Następnie na tej podstawie opracowany zostanie model lokalizacji terminali intermodalnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju kraju. Istotnym elementem opracowanego modelu jest uwzględnienie w analizach wielu modeli jednokryterialnych i opracowanie modelu wielokryterialnego wspomagania decyzji wykorzystywanego do oceny rozwiązania problemu. Dla opracowanego modelu matematycznego zdefiniowane zostaną wielkości wejściowe, wyjściowe oraz zakłócenia modelu. Wielkościami wejściowymi są m.in. *regiony poszukiwań*³,

³ Miejsca na mapie kraju, w których brakuje terminali intermodalnych

potencjalne lokalizacje wyznaczone metodami jednokryterialnymi, kryteria oceny adekwatne do analizowanego problemu badawczego. Wielkość wyjściową modelu to lokalizacja terminala intermodalnego, która spełniać będzie przyjęte warunki brzegowe i wpisować się będzie w strategię zrównoważonego rozwoju kraju. Zakłócenia modelu to m. in. zmiana parametrów charakteryzujących kryteria oceny.

Opracowanie modelu lokalizacji terminali intermodalnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju kraju wymagało będzie:

- identyfikacji elementów składowych modelu lokalizacji terminali intermodalnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju kraju,
- opracowania procedury określania granic regionów poszukiwań,
- opracowania procedury wyznaczania lokalizacji terminali intermodalnych dla ustalonego regionu,
- opracowania metod jednokryterialnych wyznaczania lokalizacji terminali intermodalnych dla ustalonego regionu,
- sformułowania kryteriów oceny lokalizacji terminali intermodalnych umożliwiających budowanie rankingów oceny.

Kolejnym etapem dysertacji będzie opracowanie algorytmu i implementacja komputerowa metody lokalizacji terminali intermodalnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju kraju, która umożliwić będzie rozwiązywanie wcześniej sformułowanych problemów.

Metoda przydziału lokalizacji terminali intermodalnych, pozwalająca na wyznaczenie racjonalnych lokalizacji w aspekcie zrównoważonego rozwoju kraju zostanie po części zaimplementowana w wybranym języku programowania wysokiego poziomu oraz w dedykowanych aplikacjach. Przeprowadzone zostaną badania związane z weryfikacją oraz walidacją opracowanego algorytmu i jego implementacji komputerowej.

W ostatnim etapie badań zostaną przedstawione przykłady zastosowania opracowanej metody dla wybranych sytuacji decyzyjnych.

3. TERMINALE TRANSPORTU INTERMODALNEGO JAKO PUNKTY KONCENTRACJI I ROZDZIAŁU STRUMIENI ŁADUNKÓW

3.1. Rola intermodalnych terminali przeładunkowych w integracji różnych gałęzi transportu

Terminal intermodalny to punkt przeładunkowy pozwalający na szybkie i bezpieczne dokonanie przeładunku intermodalnych jednostek ładunkowych pomiędzy środkami transportu co najmniej dwóch różnych rodzajów transportu. W przypadku terminali lądowych przeładunku jłti najczęściej dokonuje się w relacji: kolej – droga, kolej – kolej, droga – droga oraz droga – żegluga śródlądowa. W terminalach morskich zlokalizowanych w portach morskich przeładunki jłti wykonywane są pomiędzy transportem morskim a transportem kolejowym i drogowym.

Terminale intermodalne umożliwiają zmianę modalną polegającą na przeniesieniu przewozów ładunków z transportu drogowego na bardziej ekologiczne rodzaje transportu (transport kolejowy, morski) [60], [65], [158]. Transport drogowy uznawany jest za jedną z najbardziej szkodliwych form działalności człowieka, gdyż odpowiedzialny jest za emisję zanieczyszczeń negatywnie oddziałujących na środowisko naturalne [118], [159]. Szacuje się, iż 73% szkodliwych substancji produkuje transport drogowy, 11% transport morski, 13% transport lotniczy, natomiast 2% transport kolejowy [113]. Duży udział transportu drogowego w przewozach ładunków oznacza także większe nakłady na eksploatację i utrzymanie infrastruktury drogowej [62]. Warto tutaj dodać, iż do pojazdów, które mają najbardziej destruktywny wpływ na środowisko naturalne zalicza się pojazdy ciężarowe o DMC > 10 t. Z danych Eurostatu wynika, iż najliczniejszą ze wszystkich krajów członkowskich liczbę pojazdów o DMC > 10 t w 2021 roku posiadały Polska z flotą liczącą 377 tys. pojazdów, Niemcy – 308 tys., Hiszpania – 270 tys., oraz Francja – 174 tys. Niepokojące w tym względzie wydaje się jest zjawisko systematycznego wzrostu w UE liczby pojazdów ciężarowych, co wydaje się sprzeczne z proekologicznymi celami zapisanymi w Białej Księdze Transportu.

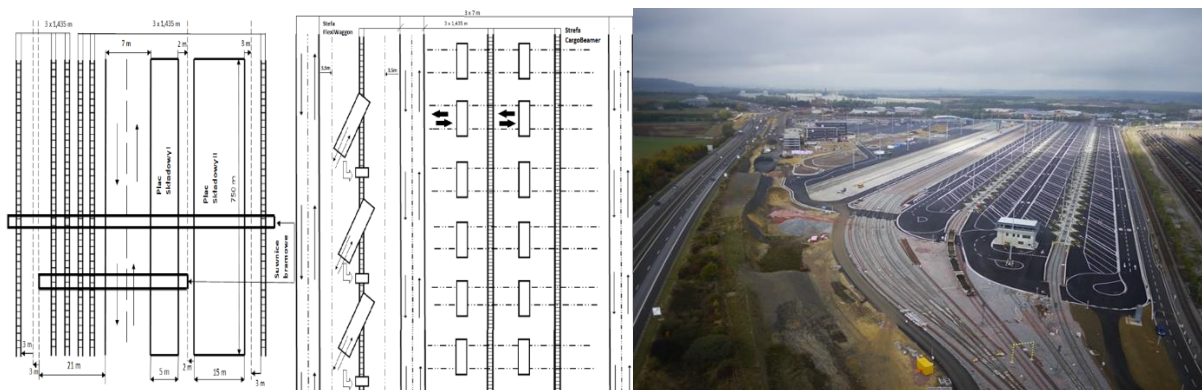
Ważnym zagadnieniem poruszonym w kontekście powstawania nowych terminali intermodalnych jest sposób ich implementacji do sieci transportowej pozwalający na przejęcie ładunków z transportu drogowego na rzecz transportu kolejowego. W 2020 roku, według danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS), w Polsce zarejestrowanych było prawie 270 tys. naczep siodłowych oraz 500 tys. ciągników siodłowych i samochodów ciężarowych. Tak duża flota pojazdów przyczynia się do generowania znaczącego ruchu endogenicznego pojazdów ciężarowych wewnątrz kraju. Z drugiej strony, centralne położenie Polski w Europie sprawia, iż na ruch krajowy nakłada się ruch egzogeniczny pojazdów poruszających się

tranzystem przez terytorium Polski. Wiedząc, jak uciążliwy może być dla życia ludzi oraz środowiska ruch ciężkich pojazdów drogowych wydaje się w pełni uzasadnionym podjęcie kroków przyspieszających przełożenie międzygałęziowe ciężarowego ruchu drogowego na kolej. Naturalnym narzędziem, które mogłoby odciążyc zarówno środowisko naturalne, jak i infrastrukturę drogową są terminale intermodalne, umożliwiające szybki przeładunek poziomy naczeu bądź zestawów drogowych. Z drugiej strony, postępująca konteneryzacja ładunków implikuje konieczność budowy dodatkowej infrastruktury do przeładunku kontenerów. Dlatego też rozsądnym wyjściem wydaje się planowanie nowych terminali intermodalnych w nowej konwencji dopuszczającej równoległą i niezależną obsługę naczeu siodłowych w systemie poziomym oraz kontenerów w systemie pionowym.

3.2. Rodzaje terminali intermodalnych

Współczesne terminale intermodalne funkcjonują zazwyczaj w jednym systemie przeładunkowym: RO-RO lub LO-LO [133]. Występują również terminale, które funkcjonują w dwóch systemach, zarówno przeładunków poziomych jak i pionowych. Przykładem takiego terminala jest CFL Multimodal Terminal o powierzchni 33 ha znajdujący się w Luksemburgu (Rysunek 12) [212].

Koncepcję terminala RO-RO/LO-LO przedstawili Brzeziński, Pyza [26], gdzie uwzględnia ona możliwość funkcjonowania terminala jednocześnie w trzech systemach m.in.: terminala kontenerowego do przeładunku kontenerów, terminala FlexiWaggon do przeładunku zestawów drogowych oraz terminala CargoBeamer do przeładunku naczeu siodłowych – Rysunek 12.



Rysunek 12 Terminal do obsługi kontenerów, zestawów drogowych oraz naczeu siodłowych (1),
Terminal CFL w Luksemburgu (2)

Źródło: [26], www.viaa.com [Dostęp: 05.04.2022]

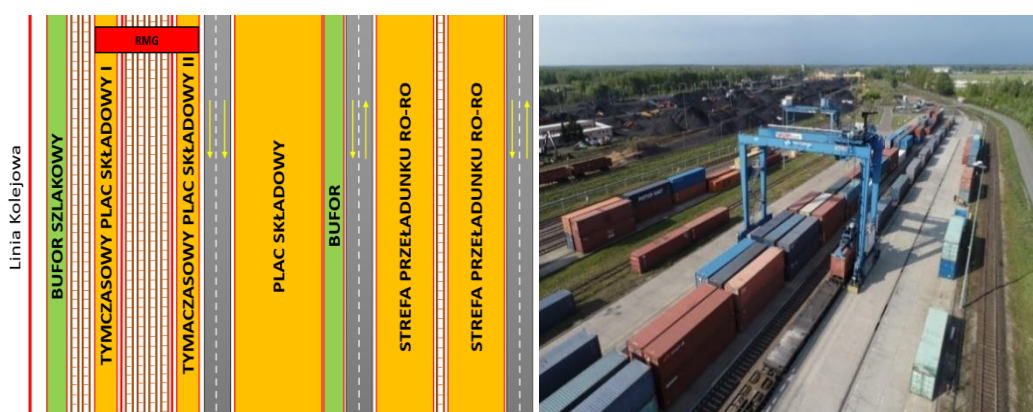
Obecnie wiadomo, iż koncepcja przeładunku zestawów drogowych w terminalach intermodalnych w technologii FlexiWaggon nie ma z różnych przyczyn racji bytu. Dlatego

należało zrewidować powyższe podejście – usuwając z zaproponowanej przez autorów [26] koncepcji moduł do przeładunku zestawów drogowych.

W zależności od pełnionej funkcji w sieci przewozów intermodalnych oraz układu funkcjonalno-przestrzennego i wyposażenia terminale intermodalne można podzielić na terminale: **tranzytowe, peryferyjne (antenowe/odgałęźne/regionalne), hub’y, kontenerowe porty morskie.**

W **terminalach tranzytowych** prowadzi się głównie operacje ładunkowe polegające na przeładunku kontenerów pomiędzy składami intermodalnymi przy pomocy suwnic bramowych RMG (z ang. *Rail Mounted Gantry*). W tego typu terminalach tory ładunkowe znajdują się możliwie blisko siebie w celu zminimalizowania czasu cyklu ładunkowego maszyny przenoszącej jednostki ładunkowe między sąsiednimi środkami transportu. Jego ukształtowanie funkcjonalno-przestrzenne pozwala na czasowe składowanie intermodalnych jednostek ładunkowych pod suwnicą lub na placu składowym, przy czym przenoszenie jednostek na plac składowy odbywa się zwykle przy pomocy wozów podnośnikowych. Obiekty te najczęściej lokalizuje się w punktach geograficznych, w których dochodzi do zmiany rozstawu torów kolejowych np. z normalnego na szeroki. W Polsce terminale tranzytowe obsługują 150-300 tys. TEU rocznie (oszacowano na podst. danych UTK [184]).

Koncepcja frontu ładunkowego terminala obsługującego jednocześnie naczepy siodłowe w systemie poziomym i kontenery przechodzące przez terminal w tranzycie w systemie pionowym oraz przykład terminala intermodalnego, który obecnie pełni funkcję tranzytową (bez systemu RO-RO) ilustruje Rysunek 13.



Rysunek 13 Koncept terminala do obsługi tranzytujących pociągów kontenerowych oraz naczep (1),
Terminal tranzytowy w Małaszewiczach (2)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów CPK (1), www.obserwatorlogistyczny.pl (2)
[Dostęp: 05.06.2022]

Terminale peryferyjne (antenowe/odgałęźne/regionalne) służą do obsługi regionalnej klientów w promieniu 100-150 km. W terminalach tego typu, intermodalne jednostki ładunkowe po załadunku u lokalnych kontrahentów konsolidowane są na pociąg i przewożone do większego terminala (terminala morskiego bądź hub'u). Zasada działania w drugą stronę jest podobna. W terminalu peryferyjnym obsługa kontenerów odbywa się zwykle przy wykorzystaniu wozów podnośnikowych bądź suwnic RTG (z ang. *Rubber Tyred Gantry*), a rzadziej przy użyciu suwnic typu RMG. Terminale peryferyjne w Polsce obsługują zwykle do 250 tys. TEU jednostek skonteneryzowanych rocznie (oszacowano na podstawie danych UTK [184]).

Koncepcja frontu ładunkowego terminala obsługującego jednocześnie naczepy siodłowe w systemie poziomym oraz kontenery w systemie pionowym dla ruchu regionalnego ilustruje Rysunek 14. Obok przykład terminala regionalnego Schavemaker w Kątach Wrocławskich.



Rysunek 14 Koncepcja frontu ładunkowego terminala regionalnego do obsługi pociągów kontenerowych oraz naczep (1), terminal o znaczeniu regionalnym w Kątach Wrocławskich (2)

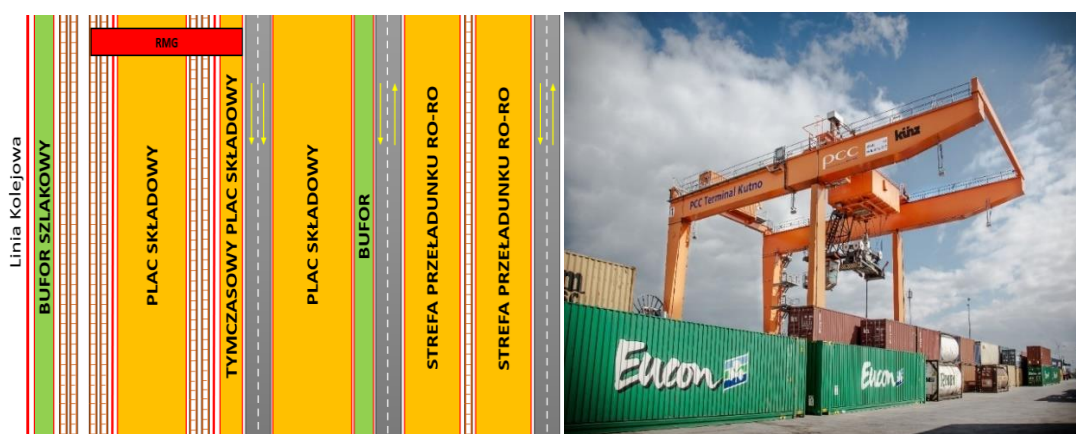
Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów CPK (1), www.schavemaker.pl (2) [Dostęp: 05.06.2022]

Terminale hub służą zarówno do obsługi ruchu regionalnego, jak i konsolidacji/dekonsolidacji intermodalnych jednostek ładunkowych z- i na- różne kierunki (terminale odgałęźne). Terminale tego typu funkcjonują w systemie *Hub&Spoke* (z pol. *system piasta-szprychy*), który zakłada istnienie węzła transportowego oraz zasilających go linii transportowych – zwanymi szprychami [150], [198].

Zazwyczaj są to obiekty o dużo większej powierzchni całkowitej niż terminale peryferyjne. Układ frontów ładunkowych umożliwia szybki przeładunek kontenerów z jednego pociągu na drugi oraz z placu na pociąg i odwrotnie. Na terminalu hub instaluje się w suwnice bramowe RMG, które pełnią funkcję głównych urządzeń ładunkowych. Poza suwnicami RMG, terminale

tego typu wyposaża się w wozy podnośnikowe pełniące funkcję wspierającą dla suwnic. W Polsce terminale hub obsługują 200-450 tys. TEU rocznie (oszacowano na podstawie danych UTK [184]).

Koncepcja frontu ładunkowego terminala hub, obsługującego jednocześnie naczepy siodłowe w systemie poziomym oraz kontenery w systemie pionowym ilustruje Rysunek 15. Obok przykład terminala pełniącego obecnie rolę hub'a w Kutnie.



Rysunek 15 Koncepcja frontu ładunkowego terminala hub do obsługi pociągów kontenerowych oraz naczep (1), terminal PCC typu hub w Kutnie (2)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów CPK (1), www.pccintermodal.pl (2) [Dostęp: 05.06.2022]

Wszystkie największe terminale intermodalne na świecie zlokalizowane są wzdłuż morskich linii brzegowych. Największym kontenerowym portem morskim w Polsce jest Baltic Hub. Drugie miejsce w rankingu zajmuje BCT Gdynia, której modernizacja wkrótce zapewni możliwość przyjmowania i obsługi statków oceanicznych. Najmniejszy port morski w Polsce zlokalizowany jest zaś w Szczecinie.

W kontenerowych portach morskich obsługuje się takie środki transportu jak: statki kontenerowe (oceaniczne oraz feederowe), pociągi intermodalne oraz zestawy drogowe z naczepami podkontenerowymi. W portach morskich zwykle stosuje się suwnice nabrzeżowe STS (*Ship to Shore*) do przeładunku kontenerów ze statku, suwnice RTG i wozy podsiębierne do obsługi placów składowych oraz suwnice RMG do przeładunku kontenerów z pociągu na samochód ciężarowy. Roczne obroty wolumenów w morskich terminalach intermodalnych mogą sięgać od kilkuset tysięcy do nawet kilkunastu milionów TEU. Terminale te umożliwiają jedynie przeładunek kontenerów w systemie pionowym.

3.3. Wymagania techniczne dla lądowych terminali intermodalnych

Funkcjonowanie lądowego terminala intermodalnego warunkowane jest jego odpowiednim układem przestrzenno-funkcjonalnym i wyposażeniem. Podstawowy układ funkcjonalno-przestrzenny zawiera [80], [132], [151]: układ torowy (w tym tory ładunkowe, odstawcze, oblotowe, żeberka ochronne, prowadnice suwnic), układ drogowy (w tym drogi wewnętrzne, dojazdowe, przeciwpożarowe), obiekty kubaturowe (w tym warsztaty, budynki administracyjno-socjalne, bramy wjazdowe, budynki agencji celnej, magazyny), sieć instalacji sanitarnych (w tym przyłącza mediów, kanalizacja, zbiorniki odpływowe), infrastrukturę elektroenergetyczną, parkingi dla pojazdów ciężarowych i osobowych, place składowe oraz fronty ładunkowe (w tym place manipulacyjne).

Powyższe składowe mają zasadniczy wpływ na ukształtowanie funkcjonalno-przestrzenne terminala intermodalnego. Ich parametry są jednak zależne od wielkości przepływu i rodzaju intermodalnych jednostek ładunkowych, decyzji inwestora, kwestii związanych z projektowaniem, regulacji prawnych i innych [101], [131]. Zestawienie czynników wpływających na ukształtowanie terminala intermodalnego przedstawia Tabela 5.

Tabela 5 Czynniki wpływające na ostateczny kształt terminala intermodalnego

| Czynnik | Wpływ na ostateczny kształt terminala |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Decyzja inwestora | 1. rodzaj implementowanego systemu (RORO/LOLO), |
| Kwestie projektowe | 1. przepustowość terminala 2. rodzaj stosowanych maszyn i urządzeń ładunkowych, 3. rodzaj operacji jakie miałyby być prowadzone na terminalu, 4. liczba i rodzaj obiektów kubaturowych 5. liczba torów ładunkowych i odstawczych, 6. organizacja dróg wewnętrznych, 7. organizacja torów oblotowych, 8. implementacja torów pozwalających na przejazd pociągu (wjazd i wyjazd na szlak po obu stronach terminala), 9. front ładunkowy (w tym wymiary korytarzy transportowych, placów manipulacyjnych, dróg pożarowych, placów składowych), 10. liczba i długość żeberk ochronnych, 11. szerokości stosowanych buforów bezpieczeństwa tj. buforów szlakowych i międzysystemowych, 12. długość użyteczna torów, 13. rodzaj i promień stosowanych łuków kolejowych, 14. powierzchnia obiektów sanitarnych i kubaturowych, |
| Regulacje prawne/normy | 1. szerokość międzytorza (umowa AGCT), 2. rozstaw torów (umowa AGCT), 3. długość torów ładunkowych (umowa AGCT/TEN-T), 4. szerokość dróg kołowych i promieni skrętów (ustawa o ruchu drogowym), 5. szerokość miejsc postojowych dla pojazdów ciężarowych i osobowych (ustawa o ruchu drogowym), |
| Pozostałe (kwestie administracyjne, biznesowe, środowiskowe, techniczno-inżynierskie) | 1. zasięg wykupu gruntów, 2. organizacja przyłącza terminala do dróg zewnętrznych, 3. przeszkody środowiskowe i cywilno-inżynierskie np. tereny zalewowe, wiadukty, tereny chronione, |

| Czynnik | Wpływ na ostateczny kształt terminala |
|---------|-----------------------------------------------------------------|
| | 4. konieczność budowy stacji zdawczo-odbiorczej przy terminalu. |

Źródło: opracowanie własne

Najważniejszym elementem każdego lądowego terminala intermodalnego jest **front ładunkowy**, gdyż to na nim dochodzi do obsługi jłti.

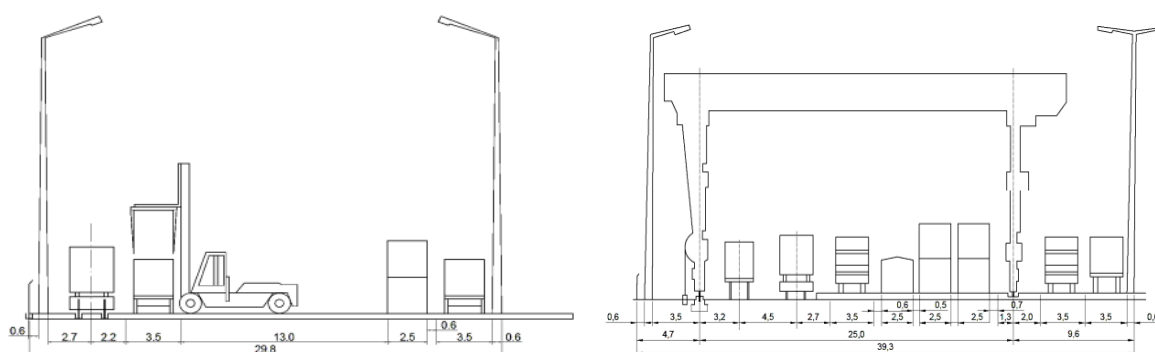
Front ładunkowy systemu RO-RO powinien zawierać parkingi dla pojazdów ciężarowych usytuowane równolegle do toru ładunkowego oraz drogi wewnętrzne, po których będą poruszały się pojazdy samochodowe. Elementy te sprawiają, iż powierzchnia terminala intermodalnego z systemem RO-RO charakteryzuje się znaczną zajętością terenu. W przypadku systemu Modalohr – front ładunkowy terminala intermodalnego musi mieć szerokość co najmniej 60 m (w przypadku CargoBeamer jest to 30-35 m). Koszt implementacji wspomnianych systemów jest bardzo wysoki, ze względu na konieczność wdrożenia urządzeń, które sterują wagonami, wybetonowania dużej powierzchni terenu i instalacji odwodnienia. Dane empiryczne pokazują, iż wysokość nakładów na budowę tego typu obiektu może wahać się od 7 do 32 mln € [195], [213], [224]. Tak znaczący koszt budowy kompensowany jest szybkością obsługi pociągu – bowiem w przypadku systemu CargoBeamer wynosi on około 15 min, natomiast w przypadku technologii Modalohr – 256 min. (4 min. na jedną jłti) [149].

Na front ładunkowy systemu LO-LO składa się tor lub grupa torów ładunkowych o odpowiedniej długości, droga wewnętrzna dla pojazdów ciężarowych oraz plac tymczasowego składowania jednostek ładunkowych. Tory ładunkowe dedykowane są dla składów intermodalnych oczekujących na zakończenie operacji ładunkowych. Obok frontu znajduje się zwykle plac składowy do średniego i długookresowego składowania. Plac składowy na terminalu LO-LO powinien być wybetonowany oraz uzbrojony w drenaż [81]. Przeładunku pionowego jłti na lądowych terminalach intermodalnych z systemem LO-LO dokonuje się głównie przy użyciu **suwnic bramowych** oraz wozów podnośnikowych typu **Reachstacker**.

Suwnica bramowa składa się z przemieszczającego się po torach lub powierzchni frontu ładunkowego konstrukcji nośnej i poruszającej się po niej wciągnika lub wciągarki. Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje suwnic: szynowe RMG (z ang. *Rail Mounted Gantry*) oraz kołowe RTG (z ang. *Rubber-Tyred Gantry Crane*) [97]. Suwnice RMG charakteryzują się większą nośnością konstrukcyjną oraz szybkością prowadzonych prac ładunkowych niż suwnice RTG. Niestety są dużo droższe i trudniejsze w implementacji ze względu na konieczność budowania szyn, po których się przemieszczają. Istotną wadą suwnic RMG jest brak możliwości zmiany obszaru pracy. Z drugiej strony pracę suwnicy RMG jest łatwiej zautomatyzować, gdyż ma

mniejszą liczbą stopni swobody niż RMG. Jednym z parametrów charakteryzującym suwnice jest ich rozpiętość. Parametr ten decyduje o wydajności suwnicy oraz ilości jłti i pojazdów, które mogą się znajdować w tym obszarze [69].

Reachstackery to wozy podnośnikowe przeznaczone do czynności manipulacyjnych wykonywanych na intermodalnych jednostkach ładunkowych [102]. Wozy te są znacznie tańsze w zakupie od suwnic, jednak ich późniejsza eksploatacja jest dużo droższa przez szybko zużywające się ogumienie. Wydajność ładunkowa wozów podnośnikowych jest także dużo niższa niż suwnic bramowych. Z drugiej strony, są łatwiejsze w implementacji od suwnic bramowych. Do celów eksploatacyjnych wymagany jest utwardzony plac przystosowany do przenoszenia nacisków o wartości 190-240 kN [80]. Prócz tego, Reachstackery wymagają zapewnienia odpowiedniego korytarza roboczego, w którym mogą realizować obsługę jłti. Minimalna szerokość korytarza roboczego w zależności od modelu wozu wynosi 13-16 metrów. Rzut pionowy na front ładunkowy z suwnicą RMG oraz wozem podnośnikowym przedstawia Rysunek 16.



Rysunek 16 Front ładunkowy z Reachstackerem (1), Front ładunkowy z suwnicą RMG (2)

Źródło: [69]

Na potrzeby niniejszej pracy przygotowano poglądowy rysunek terminala RO-RO/LO-LO (Załącznik 10). Projekt przygotowany został zgodnie z obowiązującymi wytycznymi i normami zawartymi w aktach normatywnych oraz własnej wiedzy i doświadczenia. Parametry techniczno-eksploatacyjne terminala przedstawia Tabela 6.

Tabela 6 Założenia projektowe dla terminali

| Element terminala | Jednostka | Wartość | Liczba sztuk | Uwagi |
|---------------------------------------|-----------|---------|--------------|---------------------|
| Rodzaj układu torowego | - | - | - | przelotowy |
| Funkcja | - | - | - | terminal regionalny |
| Długość toru ładunkowego system LO-LO | m | 750 | 2 | |
| Długość toru ładunkowego | m | 750 | 1 | |

| Element terminala | Jednostka | Wartość | Liczba sztuk | Uwagi |
|-------------------------------------------------------------|----------------|------------|--------------|------------------------------|
| Liczba obsługiwanych par poc. kontenerowych | poc/dobę | - | 1 | |
| Liczba obsługiwanych par poc. naczepowych | poc/dobę | - | 2 | |
| Żeberko ochronne | m | 30 | 1 | |
| Szerokość placu RO-RO | m/stronę | 30 | 2 | system Modalohr |
| Szerokość korytarza transportowego w strefie LO-LO | m | 16 | 1 | praca Reachstackera |
| Szerokość placu składowego dla kontenerów w techn. LO-LO | m | 12 | 1 | 3 pasma składowe |
| Miejsca parkingowe – poj. ciężarowe | m | 17.5x3.5 | 40 | parkowanie pod kątem prostym |
| Miejsca parkingowe – poj. osobowe | m | 5x2.3 | 12 | parkowanie pod kątem prostym |
| Szerokość dróg wewnętrznych dla poj. ciężarowych | m/pas | 3.5 | 2 | ruch lewo- i prawostronny |
| Szerokość drogi p. poż. | m | 4 | 1 | |
| Promień skrętu dla poj. ciężarowych – wewnętrzny/zewnętrzny | m | 15.5/21.5 | - | |
| Promienie rozjazdów kolejowych | m | 190/300 | 6 | rekomendowany min. R=300 m |
| Międzytorze | m | 4.2 | 1 | w strefie przeładunku LO-LO |
| Budynek administracyjno-socjalny | m | 20x20 | 1 | Budynek dwupiętrowy |
| Warsztat | m | 20x15 | 1 | Budynek jednopiętrowy |
| Brama wjazdowa | m | 20x20 | 1 | |
| Bufor bezpieczeństwa między systemami LO-LO/RO-RO | m | 10 | 1 | |
| Bufor bezpieczeństwa między szlakiem a terminalem | m | 5 | 1 | |
| Zbiornik odpływowy | m | 107.5x56.5 | 1 | 0.5 - 1 m głębokości |
| Pochylenie torów ładunkowych | % ₀ | 0,5 | - | wartość max. |

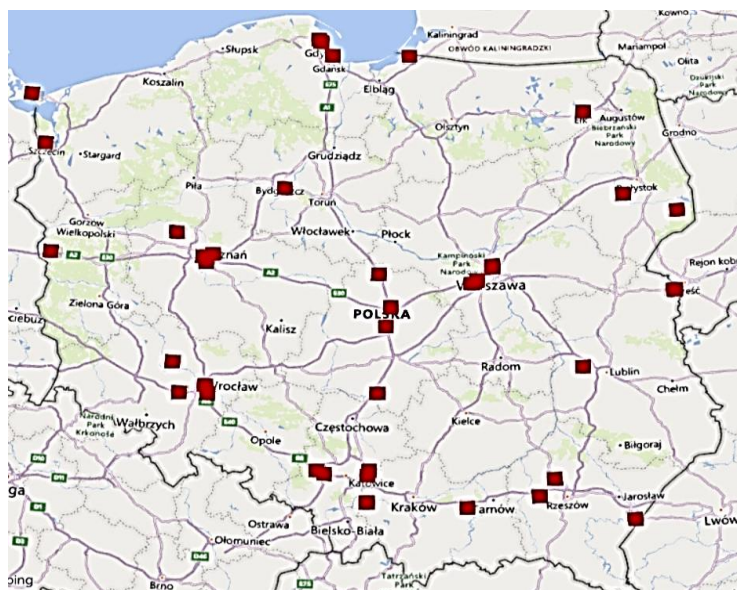
Źródło: opracowanie własne

4. ANALIZA AKTUALNYCH TENDENCJI LOKALIZACJI TERMINALI INTERMODALNYCH

4.1. Tendencje lokalizacji terminali intermodalnych w Polsce

W ostatniej dekadzie wraz ze wzrostem ilości przewiezionych ładunków znacząco wzrosła liczba terminali intermodalnych. Według danych GUS, w 2021 roku w Polsce funkcjonowały 44 terminale, z czego 38 obsługiwało przewozy kolejowo-drogowe a pozostałe 6 przewozy morsko-kolejowe oraz morsko-drogowe. Średnio 1 terminal intermodalny przypadał na 7 tys. km² powierzchni kraju, podczas gdy w Niemczech 1 terminal przypadał na 2 tys. km² [214]. W tym samym roku, łączna powierzchnia terminali intermodalnych w Polsce wynosiła 524,3 ha, a powierzchnia pól składowych prawie 200 tys. TEU. Ich sumaryczne możliwości przeładunkowe szacowano na 9 mln TEU rocznie [14]. Według danych UTK terminalami o największej przepustowości w Polsce są: Spedcont – Terminal Kontenerowy Łódź Olechów (450 tys. TEU/rok), Schavemaker Kąty Wrocławskie (300 tys. TEU/rok), Rail Hub Terminal Gadki – Metrans Polonia (385 tys. TEU/rok), PKP Centrum Logistyczne Małaszewicze (225 tys. TEU/rok), PCC Intermodal – Terminal PCC Kutno (250 tys. TEU/rok), Metrans Terminal Dąbrowa Górnicza (230 tys. TEU/rok), Gdynia Container Terminal (640 tys. TEU/rok), Euroterminal Sławków Sp. z o.o. (285 tys. TEU/rok), Deepwater Container Terminal DCT Gdańsk (3,25 mln TEU/rok), BCT-Bałtycki Terminal Kontenerowy – Gdynia (1,2 mln TEU/rok). Pozostałe terminale nie posiadają większych mocy przerobowych niż 200 tys. TEU/rok (Załącznik 2).

Usytuowanie terminali intermodalnych w Polsce charakteryzuje się dużą nierównomiernością (Rysunek 17). Najwięcej terminali znajduje się na północy kraju (województwo pomorskie), południu (województwo dolnośląskie, śląskie, małopolskie) oraz w centrum kraju (województwo łódzkie). Najmniejszą zaś gęstością terminali charakteryzują się obszary wschodniej części Polski (województwo podkarpackie, podlaskie, warmińsko-mazurskie), zachodniej części Polski (województwo lubuskie, zachodnio-pomorskie). W dwóch województwach: kujawsko-pomorskim oraz opolskim, nie występuje żaden terminal. Kolejowo-samochodowe bazy przeładunkowe w głównej mierze występują w kilku skupiskach (m. in. w okolicach Warszawy, Poznania, Łodzi, Katowic i Wrocławia).



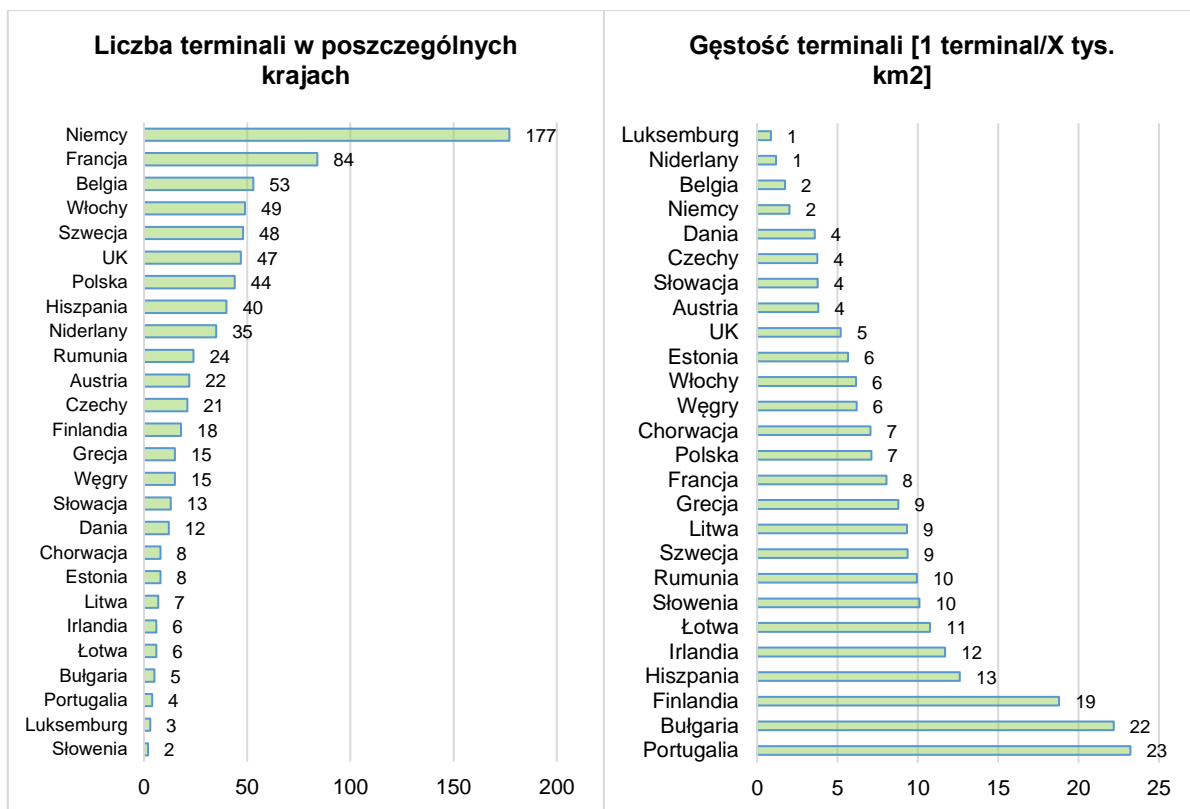
Rysunek 17 Rozmieszczenie terminali intermodalnych na mapie Polski

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych UTK

Aktualnie funkcjonujące terminale intermodalne powstały na miejscu ładowni kolejowych, które w początkowym okresie funkcjonowania wykorzystywane były do przeładunków innego rodzaju ładunków, m.in. ładunków sypkich i sztukowych. Z biegiem czasu i postępującą transformacją gospodarczą ładownie zaczęły przekształcać się w terminale dla transportu intermodalnego. W wielu przypadkach o zlokalizowaniu terminala intermodalnego na miejscu ładowni decydował czynnik kosztowy – budowa tego typu obiektu logistycznego na miejscu ładowni gwarantowała bowiem obniżenie kosztów całkowitych budowy infrastruktury i systemu przeładunkowego. Tak więc przez długi czas punkty ładunkowe dla transportu intermodalnego powstawały bez uwzględnienia strategii zrównoważonego rozwoju regionalnego. Takie podejście do lokalizowania terminali intermodalnych spowodowało, iż wiele średniej wielkości ośrodków miejskich obecnie nie ma dogodnego dostępu do intermodalnej infrastruktury przeładunkowej, a na terytorium Polski widnieje wiele białych plam, w których nie istnieje żaden terminal intermodalny w promieniu 50-100 km. Stanowi to poważny problem dla społeczeństwa, ponieważ obiekty logistyczne tego rodzaju stymulują rozwój regionalny poprzez ułatwianie wymiany handlowej. Ich brak w danym regionie powoduje blokadę jego dalszego rozwoju gospodarczego.

4.2. Europejskie terminale intermodalne

Więcej terminali intermodalnych niż w Polsce jest w Niemczech, Francji, Belgii, Włoszech, Szwecji i Wielkiej Brytanii. Największą gęstością terminali odznaczają się Niderlandy i Luksemburg, gdzie 1 terminal przypada na 1 tys. km² (Rysunek 18).

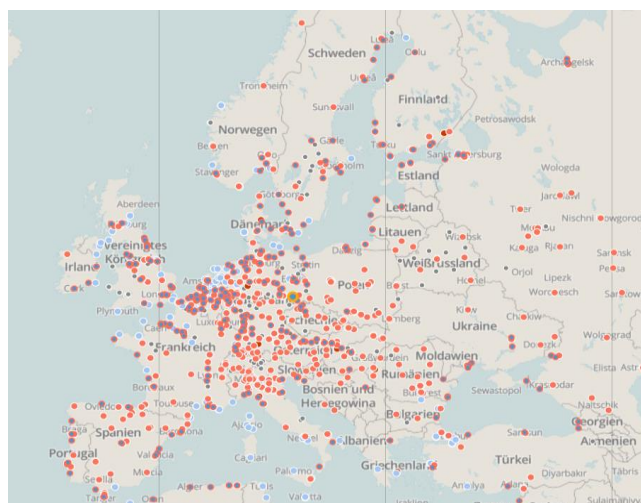


Rysunek 18 Liczba terminali (1) oraz powierzchnia poszczególnych państw przypadająca na 1 terminal w poszczególnych krajach UE (2)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Eurostat

Według UIC w całej Europie znajduje się 1204 terminali lądowych z czego zaledwie 25% obsługuje nadwozia wymienne i naczepy siodłowe.

Warto dodać, iż między rokiem 2009-2019 wolumen wymiany między europejskimi terminalami intermodalnymi wzrósł z 16,6 mln do 25,4 mln TEU. Największy przepływ kontenerów odnotowano między Włochami a Niemcami (1,5 mln TEU), Belgią a Włochami (0,7 mln TEU) oraz Czechami a Niemcami (0,7 mln TEU) [221]. Rozmieszczenie terminali morskich i lądowych w Europie przedstawia Rysunek 19.



Rysunek 19 Rozmieszczenie terminali intermodalnych w Europie

Źródło: www.intermodal-map.com [Dostęp: 05.09.2022]

Największe terminale intermodalne w Europie znajdują się przy wybrzeżach morskich. Według danych Eurostat w 2021 roku przeładowano w nich 98,1 mln TEU, przy czym w samych portach hiszpańskich 17,7 mln TEU. Największy port morski obsługujący intermodalne jednostki ładunkowe znajduje się w Rotterdamie. W 2020 roku przeładowano w nim 14,4 mln TEU. Liczbę TEU przeładowanych w największych portach w Europie przedstawia Tabela 7.

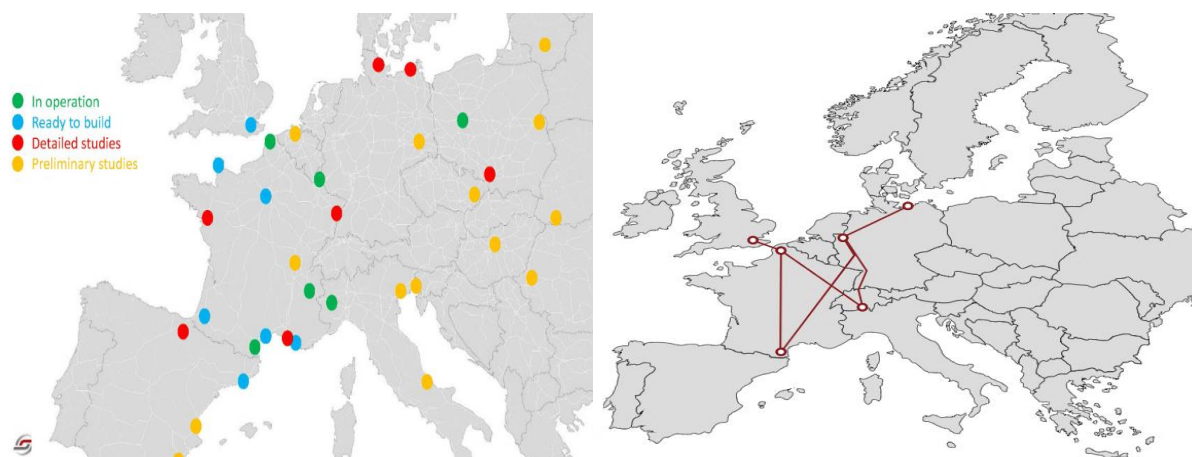
Tabela 7 Europejskie porty morskie i ich obroty w 2020 roku

| Port | Kraj | Przeladunek kontenerów [mln TEU] | Port | Kraj | Przeladunek kontenerów [mln TEU] |
|-------------|-----------------|----------------------------------|----------------|-----------|----------------------------------|
| Rotterdam | Niderlandy | 14,4 | Gioia Tauro | Włochy | 2,52 |
| Antwerpia | Belgia | 12 | Barcelona | Hiszpania | 3 |
| Hamburg | Niemcy | 8,5 | Le Havre | Francja | 2,4 |
| Pireus | Grecja | 5,3 | Marsaxlokk | Malta | 2,44 |
| Valencia | Hiszpania | 5,4 | Genua | Włochy | 2,5 |
| Algeciras | Hiszpania | 5,1 | St. Petersburg | Rosja | 2,1 |
| Bremerhaven | Niemcy | 4,5 | Gdańsk | Polska | 1,9 |
| Felixstowe | Wielka Brytania | 3,8 | | | |

Źródło: opracowanie własne na podstawie Eurostat

Od blisko dekady coraz większego znaczenia nabierają terminale intermodalne znajdujące się na styku dwóch różnych rozstawów torów m.in. na granicy francusko-hiszpańskiej oraz polsko-białoruskiej. Tam też powstają duże hub'y przeładunkowe obsługujące transkontynentalny oraz wewnątrz europejski ruch pociągów.

Od wielu lat, w Europie rośnie rola systemów poziomego załadunku w przewozach naczep siodłowych. W 2022 roku istniało 7 terminali oferujących przewóz naczep w systemie LOHR, 9 kolejnych było projektowanych a dla ponad 20 realizowano studium wykonalności. W systemie CargoBeamer funkcjonuje 6 terminali przeładunkowych, a kolejne są planowane (Rysunek 20).



Rysunek 20 Sieć terminali LOHR (1) i CargoBeamer (2)

Źródło: www.lohr.fr, www.cargobeamer.de [Dostęp: 05.09.2022]

4.3. Kryteria stosowane przy ocenie wyboru lokalizacji obiektów logistycznych dla wybranego obszaru w literaturze

Budner i Pawlicka [31] dzielą czynniki lokalizacyjne obiektów logistycznych na wewnętrzne oraz zewnętrzne. Uwarunkowania zewnętrzne odnoszą się do większego obszaru tj. kraj, województwo. Zalicza się do nich: politykę gospodarczą i transportową na szczeblu regionalnym i krajowym, warunki finansowania inwestycji, sytuację makroekonomiczną, dynamikę rozwoju kraju lub regionu, koszty pracy, sytuację demograficzno-zawodową (poziom zaludnienia, poziom bezrobocia i zatrudnienia, dostępność siły roboczej danej kategorii), kwestie regulacji prawnych na szczeblu krajowym i lokalnym (w tym przepisy środowiskowe, budowlane, planowania przestrzennego), wartość rynku logistycznego, dostęp do infrastruktury (w szczególności dróg krajowych i autostrad, linii kolejowych, lotnisk itd.).

Uwarunkowania wewnętrzne odnoszą się do konkretnego obszaru, w którym mogłaby zostać przeprowadzona inwestycja. Zalicza się do nich: warunki środowiskowe, sprzyjająca inwestycjom polityka administracyjna, współpraca na szczeblu samorządowym i naukowym, optymizm społeczny, dostęp do atrakcyjnych terenów inwestycyjnych, sprzyjające położenie komunikacyjne (tj. dostęp do korytarzy transportowych, portów, terminali itd.), rozwinięta infrastruktura transportowa i teleinformatyczna, obecność wykwalifikowanej siły roboczej.

Tadić i Krstić [177] na podstawie publikacji tj. [74], [116], [186], [192] podzielili czynniki lokalizacyjne dla terminali intermodalnych na dwa główne zbiory. Do zbioru pierwszego zakwalifikowano czynniki:

- najistotniejsze z punktu widzenia interesariuszy,
- związane z wymogami infrastrukturalnymi,
- związane z jakością świadczonych usług.

Pierwsza grupa czynników zbioru pierwszego obejmuje czynniki ekonomiczne tj. przyczynianie się do rozwoju lokalnego, regionalnego i krajowego rozwoju ekonomicznego, niskie nakłady inwestycyjne, niska cena zakupu gruntów, niskie koszty operacyjne, niskie koszty pracy ludzkiej, wpasowanie się do otoczenia inwestycyjno-środowiskowego, niski poziom wpływu hałasu i wibracji na otoczenie, niski poziom zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych, niski poziom kongestii drogowej, odporność lokalizacji na skutki wydarzeń mogących zakłócić jej funkcjonowanie (katastrofa naturalna, cyberatak). Druga grupa czynników zbioru pierwszego obejmuje m.in. możliwość rozbudowy, istnienie w danej lokalizacji odpowiednich obiektów i wyposażenia, możliwość korzystania z różnych środków transportowych, łatwy dostęp do lokalizacji, dostęp do mediów. Trzecia grupa czynników zbioru pierwszego obejmuje czynniki związane z jakością świadczonych usług. Zaliczono do nich m.in. sprawną realizację zadań, elastyczność usług, niezawodność, dostępność, logistykę wartości dodanej oraz bezpieczeństwo towarów, ludzi i środków pracy.

Do zbioru drugiego zakwalifikowano czynniki:

- najważniejsze z punktu widzenia zagadnienia rozwoju samego terminala intermodalnego,
- czynniki technologiczne,
- czynniki techniczne.

Pierwsza grupa czynników zbioru drugiego obejmuje m.in. połączenia transportowe z innymi terminalami, możliwość uzyskania subsydiów, polityka podatkowa jednostki administracyjnej, odpowiedni plan i strategia. Druga kategoria grupa czynników zbioru drugiego to czynniki technologiczne. Autorzy zaliczyli do nich m.in. poziom oferowanych usług, który przekłada się na atrakcyjność lokalizacji terminala intermodalnego, stosowanie nowoczesnych technologii, racjonalne planowanie obiektów i pomieszczeń, stosowanie odpowiedniego sprzętu, dostęp do wykwalifikowanej siły roboczej. Trzecia grupa czynników zbioru drugiego obejmuje czynniki techniczne, m.in. plany rozwojowe dla infrastruktury stycznej, krzyżowanie się różnych rodzajów transportu, przystosowanie się do różnych

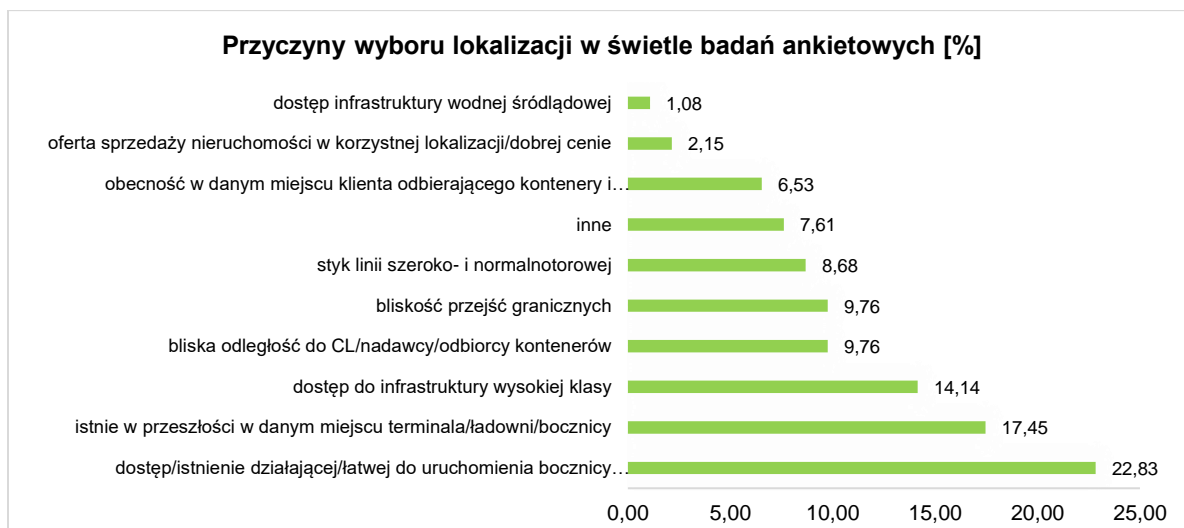
standardów i procedur operacyjnych, rozwój infrastruktury publicznej i uwarunkowania geograficzno-środowiskowe. Znaczna część przedstawionych kryteriów lokalizacyjnych pokrywa się z kryteriami przedstawionymi w publikacji [142]

Według innych, dostępnych w literaturze teorii terminale intermodalne powinno się lokalizować w miejscach [194]:

- o dużym potencjale produkcyjnym bądź konsumpcyjnym (np. aglomeracje),
- w końcu lub na początku łańcucha logistycznego,
- w punktach przecięcia kolejowych i drogowych szlaków komunikacyjnych (tj. arterie komunikacyjne),
- na styku różnych gałęzi transportu,
- w pobliżu stacji kolejowych towarowych w celu sprawnego prowadzenia prac manewrowych [204].

W trakcie lokalizowania terminali intermodalnych bardzo ważną rolę odgrywają również czynniki takie jak [194]: opłacalność rynku, umowy i kontrakty, perspektywy rozwoju, lokalny entuzjazm, lokalne konflikty, prawo transportowe, rozwój transportu kolejowego, działalność terminala, funkcjonalność, koszty, bezpieczeństwo, niezależność, transparentność, otwartość.

Na gruncie polskim, w ostatnich badaniach przeprowadzonych przez CUPT osoby związane z branżą intermodalną wskazały, iż najważniejszym czynnikiem mającym wpływ na lokalizację terminala intermodalnego w danym miejscu jest dostęp/istnienie działającej/łatwej do uruchomienia bocznicy kolejowej. Dla wielu ankietowanych ważnym było również istnienie terminala intermodalnego w przeszłości w rozpatrywanej lokalizacji oraz dostęp do wysokiej klasy infrastruktury. Pozostałe czynniki lokalizacyjne wymienione przez ankietowanych przedstawia Rysunek 21. Czynniki te można określić mianem „czynników tradycyjnych”, gdyż większość z nich reprezentuje jedynie czysto biznesowy punkt widzenia.



Rysunek 21 Przyczyny wyboru lokalizacji terminali intermodalnych według ankiety CUPT

Źródło: opracowanie własne na podstawie KRTI

Warto pamiętać, iż umiejscowienie terminali intermodalnych w określonej lokalizacji wpływa na rozwój infrastruktury liniowej (m. in. autostrad, dróg ekspresowych, linii o znaczeniu magistralnym) w całym regionie. Z jednej strony poprawa stanu infrastruktury przekłada się na wzrost transportowanych wolumenów generując przychody dla budżetu samorządowego, a z drugiej powoduje punktowy wzrost kongestii transportowej. Dlatego między innymi, w trakcie procesu podejmowania decyzji związanej z lokalizacją terminali intermodalnych wspólnie z samorządowcami i inwestorami powinny zostać omówione kwestie środowiskowe oraz społeczne, które potencjalnie mogą stanowić punkt zapalny do sporu z lokalną społecznością oraz ekologami. Terminale intermodalne generują bowiem hałas, drgania, zanieczyszczenia powodowane ruchem samochodów ciężarowych i trwałą zmianę krajobrazu.

Dodatkowo istotnym zagadnieniem w trakcie podejmowania decyzji o lokalizacji terminala intermodalnego jest aspekt konkurencji. W przypadku nowo powstałego obiektu istnieje wysokie ryzyko przejęcia potoku ruchu od sąsiadującego obiektu. Należy się liczyć z tym, iż jedno z przedsiębiorstw nie wytrzyma presji cenowej i w konsekwencji ogłosi upadłość [168].

W niniejszej dysertacji do wielokryterialnej oceny lokalizacji terminala zostaną użyte te kryteria lokalizacyjne, których wartości można skwantyfikować oraz określić na podstawie danych GUS, GIS (Systemu Informacji Geograficznej) i innych ogólnodostępnych zasobów literaturowych. Do grupy takich kryteriów zaliczają się kryteria istotne dla interesariuszy, które przedstawiono w publikacji [177]. W pracy zostaną zaś pominięte wszelkie kryteria trudno mierzalne oraz tradycyjne czynniki lokalizacyjne tj. *istnienie w przeszłości w danym miejscu*

boczniczy/terminala czy *dostęp do łatwej do uruchomienia w danym miejscu boczniczy*. Warto dodać, iż dla wielu ww. kryteriów niemożliwe jest pozyskanie wartości zmiennych diagnostycznych. Pozostałe czynniki, ze względu na charakter prowadzonych badań nie mają większego znaczenia.

4.4. Podstawowe wymagania stawiane lokalizacji terminali intermodalnych

W świetle nowych wyzwań prawnych i rynkowych zaproponowano, aby lokalizacja dla nowo planowanego obiektu uwzględniała co najmniej:

- popyt na obsługę **kontenerów** w systemie LO-LO oraz **naczep siodłowych** w systemie RO-RO, przy czym:
 - **kontenery** to jednostki ładunkowe transportu intermodalnego, które na terytorium Polski trafiają głównie poprzez hub'y przeładunkowe tj. DCT Gdańsk, BCT Gdynia, NTB Brementhaven, Eurogate Hamburg, CL Małaszewicze. Terminal kontenerowy powinien zostać zlokalizowany z dala od hub'ów przeładunkowych (w szczególności portów morskich), ponieważ przy zbyt krótkim dystansie między terminalem nadania a portem transport kolejowy nie będzie w stanie efektywnie konkurować o ładunki z transportem drogowym. Większość ładunków z lądowych terminali intermodalnych trafia do portów morskich. Przy zbyt bliskiej odległości koszty stałe uruchamianych połączeń kolejowych do portów połączeń będą wyższe od sumarycznych kosztów zorganizowania transportu drogowego,
 - **naczepy siodłowe** to jednostki ładunkowe transportu intermodalnego, dla których największy ruch obserwuje się przy drogach krajowych. Od strony popytowej, aby terminal był atrakcyjny dla przewozów naczep musi się znaleźć możliwie blisko ciągu komunikacyjnego. Dane o ruchu pojazdów ciężarowych w Polsce na poszczególnych trasach są jawne i dostępne na stronie Generalnej Dyrekcji Dróg i Autostrad.
- możliwość dojazdu i obsługi pociągów o długości 750 m – według licznych rozporządzeń zarówno krajowych, jak i unijnych nowe terminale (oraz stacje zdawczo-odbiorcze) powinny być projektowane w konwencji pozwalającej na przyjmowanie i obsługę pociągów o długości 750 m. W tym kontekście kłopotliwe może być zlokalizowanie gruntów odpowiednich do implementacji systemów przeładunkowych umożliwiających obsługę równoległych systemów LO-LO i RO-RO, gdzie długość torów ładunkowych wyniesie 750 m. Jest to problematyczne, ponieważ systemy te wymagają zarezerwowania znacznej powierzchni terenu dla planowanej inwestycji,

- aspekt korzyści dla inwestora⁴ – prywatnemu inwestorowi zawsze zależało będzie na maksymalizacji zysków wynikających ze świadczonych usług transportowo-logistycznych, dlatego będzie dążył do zlokalizowania terminala w miejscu, w którym z dużą dozą prawdopodobieństwa pojawi się znaczący popyt na usługi świadczone przez terminal intermodalny. W innym przypadku przedsiębiorca musiałby się liczyć z ryzykiem, że inwestycja nigdy się nie zwróci. Nakłady finansowe na budowę terminala intermodalnego wahają się bowiem od kilkudziesięciu milionów do nawet kilkuset milionów zł (kiedy cena *handlingu*⁵ będącego podstawową usługą terminala waha się obecnie w granicach 90-120 zł),
- aspekt zrównoważonego rozwoju regionalnego uwzględniającego ochronę środowiska i lokalnej społeczności [5], [203] – optymalny wybór lokalizacji dla budowy terminala intermodalnego z punktu widzenia inwestora nie zawsze jest jednak optymalnym wyborem z punktu widzenia jego najbliższego otoczenia. Infrastruktura terminala intermodalnego bywa szczególnie uciążliwa dla środowiska i lokalnej społeczności, gdyż generuje hałas, kongestie drogową, ingeruje w krajobraz oraz powoduje powstawanie dużej ilości zanieczyszczeń emitowanych przez samochody ciężarowe. Należy więc rozważyć jaką wartość może przynieść budowa terminala intermodalnego w danej lokalizacji inwestorowi oraz jak znaleźć konsensus między aspektem biznesowym a środowiskowym dla planowanego przedsięwzięcia. Pewnym rozwiązaniem dla opisanej sytuacji może być próba zlokalizowania terminala intermodalnego poza obszarami chronionymi i miast (np. na ich peryferiach).
Warto tutaj także zaznaczyć, iż w skali regionu przełożenie międzygałęziowe potoku ruchu z dróg na tory mogłoby pomóc w realizowaniu celów klimatycznych UE oraz w odciążeniu dróg kołowych na rzecz ekologicznego transportu kolejowego [65], [205].

Ponadto, w trakcie lokalizowania nowego terminala intermodalnego powinno się również uwzględniać zindywidualizowane cele polityki społecznej. Przykładem takiego celu może być wzrost rozwoju gospodarczego regionu. Wokół terminala intermodalnego powstawać będą obiekty magazynowe, które z reguły przynoszą wymierne wpływy do lokalnego budżetu oraz pozytywnie wpływają na poziom zatrudnienia w regionie.

⁴ Podmiot angażujący własne środki finansowe w budowę obiektu logistycznego

⁵ Koszt przeładunku jłti

5. METODY I NARZĘDZIA WYKORZYSTYWANE DO WYZNACZANIA LOKALIZACJI OBIEKTÓW LOGISTYCZNYCH W ASPEKCIE TERMINALI INTERMODALNYCH

5.1. Przegląd wybranych metod jednokryterialnego wspomaganie decyzji w zakresie wyboru lokalizacji dla obiektów logistycznych

Od drugiej połowy XIX wieku nieprzerwanie powstają teorie dotyczące lokalizacji zakładów przemysłowych i obiektów logistycznych. Od tego momentu, aż dotychczas powstało wiele interesujących narzędzi służących wspomaganie procesu decyzyjnego w zakresie ich lokalizowania [75], [76], [84], [121], [122], [171], [189].

Za prekursora badań nad lokalizacjami uznaje się Alfreda Webera. Jego teoria zakłada lokalizowanie przedsiębiorstw w miejscach, gdzie koszty zakupu surowców, transportu wyrobów gotowych i koszt ich wytworzenia są najniższe. Z kolei twórcy podejścia neoklasycznego Palander i Lösch [16], [146], [180] odwoływali się w swojej teorii do cen, konkurencji i znaczenia lokalnego rynku. Według Palander'a optymalna lokalizacja przedsiębiorstwa jest pochodną wielkości rynku zbytu, natomiast Lösch założył, iż zakład pracy powinien zostać zlokalizowany w miejscu, gdzie będzie generował największy przychód. Törnquist i Ramström [30], [136], [193] są ojcami podejścia behawioralnego. Autorzy tejże koncepcji przekonują, iż w trakcie lokalizowania przedsiębiorstwa najważniejszymi czynnikami są zachowania decydentów, natomiast racjonalność ekonomiczna ma ograniczone znaczenie. Do innych teorii lokalizacji zakładów przemysłowych powstających w kolejnych latach zaliczyć można: teorię cyklu życia produktów, teorię biegunów wzrostu Perroux'a, teorię gron Portera oraz teorię otoczenia innowacyjnego [21], [42], [44], [98], [170].

Od wielu lat postępująca globalizacja gospodarki determinuje powstawanie nowych obiektów logistycznych tj. magazyny, centra dystrybucyjne czy logistyczne [104], [125]. Istotną kwestią związaną z obiektami logistycznymi jest proces lokalizowania ich w sieci logistycznej. Zajmuje on szczególne miejsce w literaturze, gdyż warunkuje przepływ materiałów realizowany pomiędzy przedsiębiorstwami rozproszonymi w przestrzeni geograficznej. Dlatego też, na przestrzeni lat powstało wiele modeli jednokryterialnego wspomaganie decyzji w zakresie wyboru lokalizacji dla obiektów logistycznych. Obecnie dzieli się je na cztery podstawowe kategorie [23], [44], [64], [154]:

- modele analityczne: zakładają równomierny rozkład popytu w obszarze analiz, niezmiennie koszty lokalizacji obiektu oraz stałe jednostkowe koszty transportu. Modele analityczne dostarczają informacji o optymalnej wartości całkowitych kosztów

lokalizacji w relacji do liczby planowanych obiektów i kluczowych parametrów wejściowych,

- modele ciągłości przestrzeni: zakładają, że planowane obiekty mogą zostać zlokalizowane w dowolnym miejscu analizowanej przestrzeni. Sednem problemu jest tutaj wyznaczenie lokalizacji obiektu w taki sposób, aby zminimalizować ważne popytem odległości przewozowe,
- modele sieciowe: oparte są o sieć złożoną z węzłów i dróg łączących węzły. Zakłada się, iż węzły generują popyt, a sieć służy do projektowania algorytmu rozwiązującego konkretny problem lokalizacyjny,
- modele dyskretne: wykorzystują narzędzia programowania liniowego do rozwiązywania problemu lokalizacyjnego. Charakterystyczną cechą modeli dyskretnych jest oznaczenie miejsc powstawania popytu i miejsc potencjalnych lokalizacji.

Najprostsze i najczęściej wykorzystywane metody wspomaganie wyboru lokalizacji to [15], [20], [40], [56], [57], [110], [135], [189], [190], [200]: **metoda grawitacyjna i *minimax*** należące do grupy modeli ciągłości przestrzeni, **metoda pokrycia i *p-mediany*** należące do rodziny modeli dyskretnych oraz **metoda środka grafu** należąca do grupy modeli sieciowych. Poniżej omówiono charakterystyki poszczególnych z nich.

Metoda grawitacyjna pozwala na określenie pojedynczej lokalizacji dla obiektu logistycznego. Bardzo istotne znaczenie ma dla firm budujących własną sieć dostaw, które muszą podejmować decyzje co do usytuowania geograficznego magazynu, sklepu bądź zakładu produkcyjnego. W metodzie grawitacyjnej wykorzystuje się położenia geograficzne punktów nadań i odbiorów oraz wielkości podaży i popytu we wskazanych punktach sieci. Warunkiem stosowania niniejszej metody jest konieczność istnienia wielu dostawców oraz wielu rynków sprzedaży hurtowej bądź detalicznej. Proces optymalizacji polega na określeniu punktu węzłowego lokalizacji obiektu, zapewniającego najmniejszy sumaryczny koszt przewozu ładunków od dostawców do obiektu i z obiektu do odbiorców.

Decyzja o wyborze lokalizacji obiektu logistycznego nie powinna zapadać na podstawie jednego kryterium. Prócz niskich kosztów transportów ważna jest również np. możliwość zatrudnienia wykwalifikowanej kadry, dostępność wolnego terenu dla inwestycji czy dostęp do infrastruktury. Omówiona powyżej metoda nie uwzględnia tych aspektów. Metoda grawitacyjna stwarza również zagrożenie uzyskania rozwiązania nielogicznego (tj. uzyskanie lokalizacji na terenie zalewowym, zabudowanym, kompleksie przyrodniczym) [188]. Dlatego też nie należy traktować wyznaczonej lokalizacji jako ostatecznej. Jest ona jedynie wskazówką

dotyczącą identyfikacji przybliżonego miejsca lokalizacji, w którym istnieje możliwość przeprowadzenia inwestycji [110].

Dodatkowo, w tej metodzie do analiz niezbędne jest ustalenie: jednostkowego kosztu przewozu przeliczonego na tonokilometr, wielkości prognozowanych przewozów oraz odległości przewozowych. Odległości przewozowe ustalane są na podstawie położenia geograficznych, a nie na podstawie rzeczywistej drogi dzielącej obiekty. Sprawia to, że metoda grawitacyjna nie jest do końca obiektywna.

Do wyznaczania lokalizacji obiektów w metodzie grawitacyjnej stosuje się metrykę euklidesową oraz prostokątną. W przypadku metryki euklidesowej współrzędne geograficzne planowanego obiektu $WZ_0(XZ_0, YZ_0)$ wyznacza się według następujących zależności:

$$\begin{aligned} XZ_0 &= \frac{\sum_{ip=1}^{IP} a_{ip} \cdot c_{ip} \cdot x_{ip} + \sum_{jp=1}^{JP} b_{jp} \cdot c_{jp} \cdot x_{jp}}{\sum_{ip=1}^{IP} a_{ip} \cdot c_{ip} + \sum_{jp=1}^{JP} b_{jp} \cdot c_{jp}} \\ YZ_0 &= \frac{\sum_{ip=1}^{IP} a_{ip} \cdot c_{ip} \cdot y_{ip} + \sum_{jp=1}^{JP} b_{jp} \cdot c_{jp} \cdot y_{jp}}{\sum_{ip=1}^{IP} a_{ip} \cdot c_{ip} + \sum_{jp=1}^{JP} b_{jp} \cdot c_{jp}} \end{aligned} \quad (1)$$

przy czym: a_{ip}, b_{jp} – wielkość przewozu od ip – tego dostawcy do WZ_0 i z WZ_0 do jp – tego odbiorcy, c_{ip}, c_{jp} – jednostkowe koszty przewozu od ip – tego dostawcy do WZ_0 i z WZ_0 do jp – tego odbiorcy, x_{ip}, y_{ip} – współrzędne geograficzne ip – tego dostawcy, x_{jp}, y_{jp} – współrzędne geograficzne jp – tego odbiorcy.

Według autora [188] powyższe zależności są jednak niedokładne i mogą prowadzić do rozwiązania leżącego daleko od optymalnego. Taka sytuacja może mieć miejsce przede wszystkim wtedy, kiedy uwzględnia się zróżnicowaną wielkość ładunków bądź stawek transportowych. Dlatego proponuje się podejście oparte na mapie numerycznej. Istotą omawianego podejścia jest przeliczenie współrzędnych wyrażonych w stopniach na współrzędne kilometrowe.

Jedną z popularniejszych metod będących alternatywą dla metody grawitacyjnej jest **metoda środka grafu**. Metoda pozwala na uwzględnienie kształtu sieci transportowej oraz innych parametrów (np. masy ładunków). W przeciwieństwie do metody grawitacyjnej umożliwia dostarczenie rozwiązania jednoobiektowego oraz wieloobiektowego (np. dwa magazyny centralne). Metoda środka grafu wywodzi się wprost z teorii grafów i sieci. Według omawianej metody rozwiązaniem zadania optymalizacyjnego jest środek grafu znajdujący się w jednym z wierzchołków lub absolutny środek grafu znajdujący się w wierzchołku lub na gałęzi grafu. Co istotne, w metodzie środka grafu istnieje możliwość uwzględnienia w obliczeniach wagi

poszczególnych wierzchołków. To pozwala np. na odwzorowanie zapotrzebowania klientów na towar. Podstawowym założeniem algorytmu jest wyznaczenie punktu bądź grupy punktów, w celu zminimalizowania maksymalnego dystansu (DL) od każdego klienta do najbliższego obiektu. Formalnie algorytm środka grafu został zapisany w następującej postaci [2], [34], [35]:

$$fs = DL \rightarrow \min \quad (2)$$

przy ograniczeniach:

$$\begin{aligned} \sum_{jz \in JZ} x_{jz} &= pg \\ \forall iz \in IZ \sum_{jz \in JZ} y_{izjz} &= 1 \\ \forall iz \in IZ \forall jz \in JZ y_{izjz} - x_{jz} &\leq 0 \\ \forall iz \in IZ \sum_{jz \in JZ} d_{izjz} \cdot y_{izjz} &\leq DL \\ \forall iz \in IZ, \forall jz \in JZ x_{jz}, y_{izjz} &\in \{0,1\} \end{aligned} \quad (3)$$

przy czym: $IZ = \{iz: iz = \overline{1, IZ}\}$ – zbiór możliwych lokalizacji obiektów, $JZ = \{jz: jz = \overline{1, JZ}\}$ – zbiór punktów zapotrzebowania, pg – liczba lokalizacji obiektów, która ma zostać wyznaczona, d_{izjz} – długość łuku między wierzchołkiem iz oraz jz , x_{jz} – parametr, który przyjmuje wartość 1, kiedy terminal może zostać zlokalizowany w jz i 0 – w przeciwnym przypadku, y_{izjz} – zmienna o interpretacji liczby iz – tych wierzchołków przypisanych do jz – tego wierzchołka.

W metodzie środka grafu zadanie można zmodyfikować w taki sposób, aby wyznaczyć minimum całkowitych kosztów transportu.

Kolejną metodą wspomagającą wybór lokalizacji jest **metoda pokrycia**. Problem pokrycia lokalizacji znany jest również pod nazwą problemu pokrycia zestawu lokalizacji (z ang. *Location Set Covering Problem* (LSCP)) oraz problemu maksymalnego pokrycia lokalizacji (z ang. *Maximal Covering Location Problem* (MCLP)) [38], [58], [161].

Metoda pokrycia powstała z myślą o jednostkach ratowniczych, których celem jest ochrona ludności przed różnego rodzaju zagrożeniami. W jej klasycznej wersji metody maksymalizuje się liczbę ludności, która może zostać obsłużona przy zadanym dystansie (lub czasie) i ograniczonej liczbie obiektów/urządzeń/jednostek ratowniczych. W literaturze zagadnienie MCLP zostało zapisane formalnie w następujący sposób [161]:

$$\sum_{is \in IS} ws_{is} ys_{is} \rightarrow \max \quad (5)$$

przy założeniach:

$$\sum_{js \in JS} xs_{js} \geq ys_{is} \quad \forall is \in IS$$

$$\sum_{js \in JS} xs_{js} = ps \quad (6)$$

$$xs_{js}, ys_{is} \in \{0,1\} \quad \forall is \in IS \text{ oraz } \forall js \in JS$$

przy czym: $IS = \{is: is = \overline{1, IS}\}$ – zbiór węzłów generujących zapotrzebowanie na usługę ratowniczą, $JS = \{js: js = \overline{1, JS}\}$ – zbiór węzłów oznaczających lokalizacje obiektów/urządzeń/jednostek ratowniczych, ps – liczba obiektów/urządzeń/jednostek ratowniczych do zlokalizowania, ws_{is} – wartość reprezentująca wielkość zapotrzebowania na usługi ratownicze w is – tym węźle, $x_{s_{js}}$ – zmienna przyjmująca wartość 1 – gdy lokalizacja została przypisana do potencjalnej js – tej lokalizacji, 0 – w przeciwnym przypadku, ys_{is} – parametr, reprezentujący pokrycie is – tego węzła popytu, przy czym przyjmuje on wartość 1 – w przypadku gdy węzeł jest pokryty, 0 – w przeciwnym przypadku.

Modele pokrycia zawierają warunek określający, przy jakim dystansie (lub czasie) jednostki ratownicze mogą obsłużyć dane punkty geograficzne, tzn.:

$$ds_{isjs} \leq SS \quad \forall is \in IS, \forall js \in JS \quad (5)$$

gdzie: ds_{isjs} – najkrótszy dystans między węzłem o numerach is i js , SS – maksymalny zasięg działania służb ratowniczych.

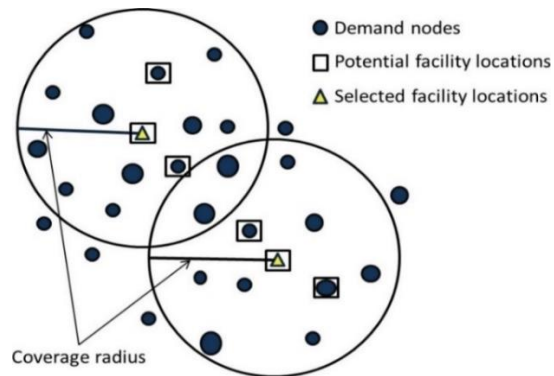
Na podstawie powyższego warunku tworzony się zbiór NS_{is} , w którym znajdują się wszystkie możliwe położenia jednostek ratowniczych mogących obsługiwać zgłoszenia is – tym w punkcie. Zbiór NS_{is} ma postać:

$$NS_{is} = \{ds_{isjs} \leq SS \text{ dla } js \in JS\} \quad (6)$$

W metodzie MCLP rozważane są węzły generujące zapotrzebowanie (popyt) na usługi ratownicze oraz proponowane węzły lokalizacyjne – przy czym węzeł lokalizacyjny może znaleźć się wewnątrz węzła popytowego. Każdemu węzłowi generującemu popyt przypisuje się poziom ważności skorelowany z wartością generowanego popytu. Tak jak już wspomniano, celem metody jest wyłonienie lokalizacji, która pozwoli na maksymalizowanie całkowitego

popytu w zasięgu założonego promienia oddziaływania. Ze względu na to, iż niektóre węzły generują duży popyt a niektóre niewielki – część z nich zostanie pokryta a część pozostanie bez pokrycia.

Węzły generujące popyt, węzły potencjalnych lokalizacji i miejsca wybranych lokalizacji pokrywających obszar o danym promieniu przedstawia Rysunek 22.



Rysunek 22. Graficzna ilustracja metody maksymalnego pokrycia

Źródło: [70]

Omawiana metoda w praktyczny sposób została zaimplementowana przez Churcha i ReVella [37]. Autorzy przedstawili problem optymalnego zapewnienia bezpieczeństwa rejonu będącego pod nadzorem służb ratowniczych. W wyniku rozwiązania przedstawionego problemu każda jednostka ratownicza miała przypisany określony obszar oddziaływania w taki sposób, że nie kolidowała z obszarem oddziaływania innej jednostki ratowniczej. Dzięki temu można było zapobiec sytuacji, w której mogłoby dojść do skierowania zbyt dużej ilości sił w jedno miejsce – pozostawiając pozostałe miejsca bez nadzoru. Sposobów rozwiązania niniejszego zagadnienia w literaturze istnieje bardzo wiele. Zostały szeroko opisane w pozycjach [17], [58], [70].

Problem p -mediany (P-PM) został zdefiniowany w celu zminimalizowania sumarycznego dystansu przejazdu od obiektu logistycznego do klienta. Polega on zlokalizowaniu i obsłudze każdego klienta z ustalonych obiektów, w taki sposób, aby zaspokoić potrzeby wszystkich klientów i zminimalizować całkowity dystans przewozu. Problem **P-PM** opiera się na następujących założeniach:

- znana jest liczba obiektów, która powinna zostać zlokalizowana,
- koszt budowy obiektu jest taki sam w każdym miejscu,
- obiekty logistyczne nie mają ograniczeń związanych z przepustowością,

- czynnikiem lokalizacyjnym jest koszt będący pochodną przebytego dystansu między klientem a proponowaną lokalizacją.

W literaturze zagadnienie **P-PM** zostało zapisane formalnie w następujący sposób [37], [39], [40], [114]:

$$\sum_{ik \in \mathbf{IK}} \sum_{jk \in \mathbf{JK}} ak_{ik} dk_{ikjk} xk_{ikjk} \rightarrow \min \quad (7)$$

przy założeniach:

$$\sum_{jk \in \mathbf{JK}} xk_{ikjk} = 1 \quad \forall ik \in \mathbf{IK}$$

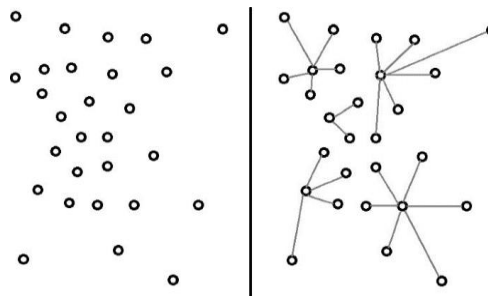
$$\sum_{jk \in \mathbf{JK}} yk_{ik} = pk \quad (8)$$

$$xk_{ikjk} \leq yk_{ik,k} \quad \forall ik \in \mathbf{IK} \text{ oraz } \forall jk \in \mathbf{JK}$$

$$xk_{ikjk}, yk_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall ik \in \mathbf{IK} \text{ oraz } \forall jk \in \mathbf{JK}$$

przy czym: $\mathbf{IK} = (ik: ik = \overline{1, IK})$ – zbiór węzłów generujących popyt (zapotrzebowanie na usługę), $\mathbf{JK} = (jk: jk = \overline{1, JK})$ – zbiór węzłów traktowanych jako potencjalne lokalizacje dla obiektów logistycznych, dk_{ikjk} – dystans między węzłem o numerze ik i potencjalną lokalizacją obiektu o numerze jk , ak_{ik} – waga reprezentująca ważność popytu w ik – tym węźle, xk_{ikjk} – zmienna decyzyjna. Przybiera wartość 1 – kiedy ik – ty węzeł został przypisany do obiektu logistycznego w punkcie jk , 0 – w przeciwnym razie, yk_{jk} – parametr, który przybiera wartość 1 – kiedy obiekt został zlokalizowany w punkcie jk , 0 – w przeciwnym razie.

Graficzną reprezentację omawianej metody ilustruje Rysunek 23.



Rysunek 23 Graficzna reprezentacja metody P-Mediany

Źródło: [18]

Omawiana metoda została zaimplementowana przez Hakimi [71], a następnie rozwinięta przez Beasleya [15] oraz Hanjoula i Peetersa [72].

Metoda *minimax* została opracowana na podobnej zasadzie co tzw. metoda *minisium*, która opiera się na minimalizowaniu zagregowanych lub średnioważonych odcinków podróży. Wadą tej metody jest możliwość pozyskiwania lokalizacji w miejscach irracjonalnych i dyskryminujących (np. lokalizacje o niskim stopniu zaludnienia). W odpowiedzi na mankamenty metody *minisium* powstała metoda *minimax*, która minimalizuje czasy podróży między potencjalną lokalizacją a klientem. Niestety i ona nie jest na tyle niezawodna, aby móc ją bezpiecznie używać. Rozwiązanie w tej metodzie może nie mieć sensu np. kiedy jeden z klientów jest wyizolowany i znajduje się z dala od grupy pozostałych. Metoda *minimax* minimalizuje dystans od tego pojedynczego wyizolowanego obiektu, co zaburza racjonalność otrzymanych wyników. Jej praktyczne zastosowanie, mimo wielu prób jej ulepszenia jest nadal ograniczone [54], [140].

5.2. Przegląd wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji

Metody służące wspomaganie decyzji mają rozległe zastosowanie w różnych dziedzinach nauki oraz gospodarki. Autorzy [112] znaleźli ich zastosowanie w procesie podejmowania decyzji na poziomie planowania oraz eksploatacji systemów produkcyjnych. Jeszcze szersze zastosowanie omawianych metod przedstawiono w pozycjach [22], [24], [150], [162]. W niniejszych pracach zaimplementowano je w kontekście planowania zrównoważonego rozwoju, gdzie dyskutowanymi zagadnieniami były kwestie społeczne, gospodarcze i środowiskowe. W literaturze [24] opisano ich udział przy wyznaczaniu lokalizacji obwodnicy miasta. W pozycji [67] zaimplementowano metodę ELECTRE i PROMETHEE do oceny projektu infrastruktury drogowej. W pozycji [6] wykorzystano metodę MAJA do oceny rozwiązań projektowych dla strefy składowania (SSM), natomiast w artykule [148] zaimplementowano metodę MAJA i ELECTRE przy ocenie systemu dystrybucji dóbr konsumpcyjnych. Wielokryterialne metody wspomaganie decyzji stosuje się także powszechnie w obszarze transportu kolejowego. Autorzy publikacji [82] zastosowali omawiane metody do wyznaczenia najlepszego wariantu modernizacji linii kolejowej. W trakcie trwania procesu decyzyjnego uwzględniono wielorakość celów istotnych z punktu widzenia decydenta. Z jednej strony chciano ograniczyć do minimum koszty inwestycyjne, eksploatacyjne czy zajętość terenu, a z drugiej strony dążono do zmaksymalizowania poziomu bezpieczeństwa, zwrotu nakładów inwestycyjnych, zredukowania czasu przejazdu i poziomu hałasu. Najlepszy wariant wyłoniono dzięki zsumowaniu zdobytych punktów dla każdego wariantu.

W zakresie transportu intermodalnego, w którym korzysta się z transportu kolejowego autorka pracy [165] posłużyła się metodą PROMETHEE do wyboru najlepszej technologii transportowej ze względu na kryterium kosztowe oraz środowiskowe. W artykule udowodniono, że transport Ro-La polegający na przewozie pojazdów drogowych na przystosowanych do tego wagonach daje najkorzystniejsze efekty z punktu widzenia przyjętych kryteriów. W pozycji [90] dokonano porównania kilku tras pociągów intermodalnych przy pomocy wielokryterialnej oceny wariantów. Oceniano tutaj m.in. czynniki techniczne, ekonomiczne, środowiskowe, operacyjne, przestrzenne i technologiczne. Prócz powyższych przykładów, metody oceny wielokryterialnej w zakresie branży intermodalnej stosowano również do wyboru lokalizacji terminali intermodalnych [120], [156], do wyboru najlepszej strategii obsługi jednostek intermodalnych [167] czy do wyłonienia najkorzystniejszej technologii intermodalnej z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju [202].

Poniżej omówiono charakterystykę najpopularniejszych metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, które potencjalnie mogłyby posłużyć do oceny lokalizacji terminali intermodalnych.

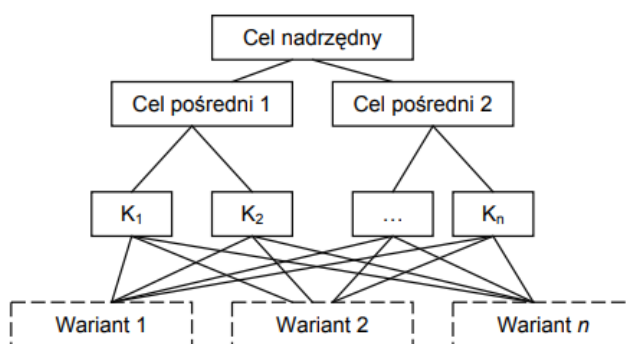
– **Metoda TOPSIS** (z ang. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) – to inaczej metoda podobieństwa do rozwiązania idealnego. Pochodzi z rodziny tzw. metod odległościowych. Została opracowana przez T. Hwanga i Yoona latach 80.XX. Zasada jej działania opiera się dwóch punktach referencyjnych, które noszą nazwę rozwiązania idealnego oraz antyidealnego. Rozwiązanie idealne oraz antyidealne traktuje się jako punkty odniesienia dla rozważanych wariantów. Rozwiązanie optymalne znajduje się jednocześnie najbliżej rozwiązania idealnego i najdalej od rozwiązania antyidealnego. Rozwiązanie idealne powoduje maksymalizowanie kryteriów typu zysk (stymulanty) i minimalizowanie kryteriów typu strata (destymulanty). W przypadku rozwiązania antyidealnego sytuacja jest odwrotna – maksymalizowane są kryteria typu strata, a minimalizowane są kryteria typu zysk. Dzięki temu możliwe jest określenie wartości miernika syntetycznego, wskazującego miejsce poszczególnych wariantów w rankingu [24].

Metoda TOPSIS w wersji klasycznej opiera się na macierzy decyzyjnej zawierającej kryteria oceny. Dostarczenie macierzy leży zwykle po stronie decydenta. Złożoność problemów powoduje, iż czasami decydent ma kłopoty z określeniem dokładnych wartości ocen. Wtedy w niniejszej metodzie korzysta się z innych form prezentacji danych. Są to analizy przedziałowe, liczby rozmyte lub zbiory rozmyte [91].

– **Metoda AHP** (z pol. *Proces Analitycznej Hierarchizacji*) to technika określania ocen z zastosowaniem bezwzględnej skali dla kryteriów mierzalnych oraz niemierzalnych. Została

opracowana przez T.L. Saaty'ego w latach 70.XX. Jest szczególnie przydatna w przypadku, kiedy nie jest znana zależność funkcyjna pomiędzy poszczególnymi elementami problemu decyzyjnego opisanego w postaci hierarchii celów oraz kiedy możliwe jest określenie rezultatu występowania danych i ich efektu praktycznego [79]. W metodzie tej warianty decyzyjne analizuje się w ramach oceny porównawczej bądź diagnostycznej. Zasadniczo metoda AHP składa się z czterech etapów [24], [55], [109].

Etap pierwszy metody AHP polega na zbudowaniu modelu graficznego hierarchii celów. W etapie drugim identyfikuje się, a następnie dekomponuje problem decyzyjny. Dzięki temu możliwe jest opisanie struktury problemu, osiągnięcie celów nadrzędnych i pośrednich, pozyskanie kryteriów ocen oraz wariantów decyzyjnych. Schemat struktury hierarchicznej przedstawia – Rysunek 24.



Rysunek 24 Schemat struktury hierarchicznej w metodzie AHP

Źródło: [55]

W trzecim etapie tworzy się macierz względnej ważności kryteriów. Decydent porównuje pary elementów zlokalizowanych na każdym z poziomów hierarchicznych. Rezultatem tego jest określenie elementu dominującego w sensie preferencyjnym. Do określenia dominacji stosuje się 9-cio stopniową skalę preferencji (tzw. *skala Saaty'ego*), która przyporządkowuje poszczególnym stopniom liczby ze zbioru liczb naturalnych. W kroku czwartym określa się preferencje w odniesieniu do kryteriów i wariantów decyzyjnych [181]. Na poziomie niniejszego etapu oblicza się także m.in. współczynnik zgodności i spójności. Końcowa część etapu polega na sporządzeniu rankingu alternatyw przy pomocy wyliczonej funkcji użyteczności danych wariantów.

Metoda AHP umożliwia podjęcie racjonalnej decyzji w przypadku występowania wielu alternatywnych wariantów. Niestety odznacza się występowaniem subiektywnych ocen kryteriów, jak również wariantów, które wynikają zwykle z nieobiektywnych ocen decydenta. Ponadto występowanie większej liczby kryteriów niż 3 znacząco obniża poziom spójności

otrzymywanych rezultatów. Omawiane zagadnienie próbował rozwiązać autor metody AHP poprzez wprowadzenie wskaźnika CR. W kolejnych latach metoda doczekała się wielu modyfikacji. Na przestrzeni lat znalazła swoje praktyczne zastosowanie w badaniu łańcuchów dostaw, satysfakcji klientów, wsparciu wyboru dostawców, informatyce, energetyce i wielu innych sektorach [79]. W metodzie AHP wyróżnia się 11 kroków, które pozwalają na uzyskanie rankingu i wskazanie racjonalnego układu wariantów:

- **Krok 1:** Pozyskanie danych wejściowych, ustalenie celu, kryteriów oraz wariantów decyzyjnych, przy czym zbiór wariantów decyzyjnych **BO** i zbiór kryteriów **LO** zapisywany jest następująco:

$$BO = \{bo_1, \dots, bo_i, \dots, bo_j, \dots, bo_N\}$$

$$LO = \{lo_1, lo_2 \dots lo_k, \dots lo_K\}$$

gdzie: bo_i, bo_j – warianty decyzyjne, i, j – numery wariantów decyzyjnych, lo_k – kryterium oceny, k – numer kryterium oceny.

- **Krok 2:** Przygotowanie hierarchicznej struktury procesu decyzyjnego, przy czym: poziom pierwszy struktury określa cel analizy, poziom drugi – kryteria lub podkryteria, poziom trzeci – warianty.
- **Krok 3:** Opracowanie macierzy porównań kryteriów parami. Krok ten pozwala na określenie priorytetów decyzyjnych. Potencjalny decydent wpisuje wartości z zakresu 1-9 w poszczególnych polach macierzy, porównując tym samym ważność jednego kryterium względem innych. Ocena wagi kryterium o numerze k ($\delta_{kk'}$) względem kryterium o nr k' wynosząca $\delta_{k'k}$ przyjmie wartość:

$$\delta_{kk'} = \frac{1}{\delta_{k'k}} \quad (9)$$

gdzie oceniane będzie kryterium o numerze k' względem kryterium o numerze k .

- **Krok 4:** Normalizacja ocen i wyznaczanie priorytetu. W tym kroku wyznacza się tzw. priorytety globalne – czyli ranking ważności kryteriów dla potencjalnego decydena. Normalizacji poddaje się wszystkie elementy macierzy zawierającej porównania kryteriów parami $\theta = [\delta_{k'k}]_{K \times K}$, zgodnie ze wzorem:

$$\delta'_{kk'} = \frac{\delta_{kk'}}{\sum_{k''=1}^K \delta_{k''k'}} \quad (10)$$

na ich podstawie oblicza się wagi kryteriów decyzyjnych (priorytety):

$$f_k = \frac{1}{K} \sum_{k'=1}^K \delta'_{kk'} \quad k = 1, \dots, K \quad (11)$$

Kolumna macierzy z wyznaczonymi priorytetami stanowi wektor $\mathbf{F} = [f_k]_{K \times 1}$.

- **Krok 5:** Sprawdzenie spójności wag kryteriów. Etap ten polega na wyznaczeniu wskaźnika Saaty'ego (tzw. wskaźnik CR), który pomaga sprawdzić, czy ustalone ważności kryteriów są spójne. W tym celu oblicza się iloczyn macierzy $\mathbf{\theta}$ oraz kolumny zawierającej „priorytet” wektora \mathbf{F} . Następnie wyznacza się wskaźnik $\gamma\rho$ oraz wskaźnik spójności CR:

$$\begin{aligned} \mathbf{\theta F} = \mathbf{M} &= [m_k]_{K \times 1} \\ \gamma &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{m_k}{f_k} \\ MI &= \frac{\gamma\rho - K}{K - 1} \\ CR &= \frac{MI}{DR} \end{aligned} \quad (12)$$

gdzie: MI – wskaźnik zgodności, DR – indeks spójności.

- **Krok 6,7,8:** Porównywanie wariantów względem kryteriów. W tym kroku każdy wariant decyzyjny porównywany jest z każdym wariantem dla każdego z zaproponowanych kryteriów. Wyznaczone priorytety lokalne wariantów w stosunku do każdego kryterium umożliwiają przygotowanie rankingu. Priorytet dla k -tego kryterium tworzy macierz $\mathbf{R}_k = [r_k]_{N \times 1}$.
- **Krok 9:** Przygotowanie rankingu wariantów decyzyjnych. Przygotowanie rankingu metodą AHP determinuje wyznaczenie iloczynu macierzy \mathbf{F} oraz \mathbf{R} :

$$\mathbf{RF} = \mathbf{C} = [c_i]_{N \times 1} \quad (13)$$

Wynik powyższych obliczeń zawiera ocenę poszczególnych wariantów. Wariant z największą wartością wyznacza rozwiązanie problemu decyzyjnego.

- **Krok 10:** Analiza wrażliwości. Etap ten pozwala na dostarczenie informacji o rozwiązywanym problemie i zależnościach jakie w nim występują.
- **Krok 11:** Wybór najlepszego rozwiązania. W tym kroku decydent podejmuje decyzje o wyborze rozwiązania.

– **Metody z rodziny ELECTRE** (z fr. ÉLimination Et Choix Traduisant la REalité) – to metody stosowane w dosyć złożonych problemach decyzyjnych. Są szczególnie pomocne w momencie, kiedy zbiór dobranych kryteriów przyjmuje charakter heterogeniczny – tzn., kiedy cechy systemu znacząco różnią się od siebie. Wymagają zastosowania co najmniej 5-6 kryteriów oceny, a warianty decyzyjne ocenia się na skali porządkowej lub słabej skali interwałowej. W momencie agregowania ocen nie dopuszcza się kompensowania niskich not uzyskanych na podstawie pojedynczego kryterium kosztem wysokich not uzyskanych na podstawie pozostałych kryteriów. Fakt ten odróżnia metody ELECTRE od innych metod wspomagania decyzji opartych na teorii użyteczności wieloatrybutowej. W nich bowiem wybiera się wariant decyzyjny, którego funkcja użyteczności przyjmuje wartość maksimum.

W rodzinie metod ELECTRE zakłada się tzw. aksjomat ograniczonej porównywalności, który oparty jest na czterech zasadniczych relacjach: 1) równoważności, 2) silnej preferencji, 3) słabej preferencji, 4) nieporównywalności. W przypadku silnej preferencji należy się spodziewać, iż różnica wdrożenia dwóch wariantów przemawia na korzyść jednego z nich. W przypadku słabej preferencji decydent waha się z uznaniem równoważności i silnej preferencji. Nieporównywalność zaś informuje o braku istnienia relacji równoważności lub preferencji pomiędzy wariantami. W metodzie ELECTRE preferencje modeluje się za pomocą binarnej relacji przewyższenia, co oznacza, że np. „p-ty” wariant jest tak dobry jak „n-ty” wariant ze względu na „k-te” kryterium. Relacja przewyższenia dotyczy sytuacji równoważności, słabej i silnej preferencji. W celu rozróżnienia silnej i słabej preferencji wprowadza się progi równoważności oraz preferencji. Następnie przechodzi się do agregacji ocen. Metoda ELECTRE obejmuje zwykle pięć etapów [33], [59], [79], [137]:

- **Krok 1, 2:** Zdefiniowanie zbioru wariantów decyzyjnych oraz przygotowanie zbioru kryteriów oceny:

$$BQ = \{bq_1, \dots, bq_i, \dots, bq_{jq}, \dots, bq_{NQ}\}$$

$$MQ = \{mq_1, mq_2 \dots mq_{kq}, \dots, mq_{KQ}\}$$

gdzie: bq_{iq}, bq_{jq} – warianty decyzyjne, iq, jq – numery wariantów decyzyjnych, mq_{kq} – kryterium oceny, kq – numer kryterium oceny.

- **Krok 3:** Określenie wag kryteriów nq_{kq} oraz wartości współczynników weta $γq_{kq}$. Wartość każdego kq – tego kryterium musi zawierać się w przedziale:

$$nq_{kq} \geq 0 \wedge nq_{kq} \leq 1 \quad (14)$$

przy czym:

$$\sum_{kq=1}^{KQ} nq_{kq} = 1$$

- **Krok 4:** Porównanie wariantów decyzyjnych parami. Na tym etapie weryfikowana jest hipoteza o zgodności bądź niezgodności.
- **Krok 4.1:** Wyznaczanie współczynnika zgodności dla każdej pary obiektów:

$$fq(bq_{iq}, bq_{jq}) = \sum_{kq=1}^{KQ} nq_{kq} \mu_{kq}(bq_{iq}, bq_{jq}) \quad (15)$$

przy czym: μ_{kq} – relacja binarna na zbiorze wariantów, przyjmująca wartości:

$$\mu_{kq}(bq_{iq}, bq_{jq}) = \begin{cases} 1, & mq_{kq}(bq_{iq}) \geq mq_{kq}(bq_{jq}) \\ 0, & mq_{kq}(bq_{iq}) < mq_{kq}(bq_{jq}) \end{cases} \quad (16)$$

gdzie: $mq_{kq}(bq_{iq})$ – wartość iq – tego wariantu dla kq – tego kryterium.

Na podstawie wartości $\mu_{kq}(bq_{iq}, bq_{jq})$ buduje się zero-jedynkową macierz \mathfrak{q}_{kq} :

$$\mathfrak{q}_{kq} = [\mu_{kq}(bq_{iq}, bq_{jq}) \in \{0,1\}; bq_{iq} \in \mathbf{BQ}, bq_{jq} \in \mathbf{BQ}]; kq = 1, \dots, KQ$$

- **Krok 4.2:** Sprawdzenie warunku zgodności:

$$fq(bq_{iq}, bq_{jq}) \geq qu \wedge qu \in < 0.5; 1 > \quad (17)$$

gdzie: qu – próg zgodności.

- **Krok 4.3:** Przygotowywanie zbioru zgodności par wariantów:

$$\mathbf{FQ}_{qu} = [(bq_{iq}, bq_{jq}) \in \mathbf{BQ} \times \mathbf{BQ}: fq(bq_{iq}, bq_{jq})] \geq qu \wedge qu \in < 0.5; 1 > \quad (18)$$

- **Krok 4.4:** Opracowywanie zbioru niezgodności. Obejmuje wyznaczenie w zbiorze zgodności par wariantów, dla których powinno zastosować się weto. Warunek braku zgodności przedstawiono poniżej:

$$mq_{kq}(bq_{iq}) + yq_{kq}[mq_{kq}(bq_{iq})] \geq mq_{kq}(bq_{jq}) \quad (19)$$

gdzie: yq_{kq} – wartość progu weta.

Zbiór zgodności zapisuje się natomiast następująco:

$$RQ_{yq} = \{(bq_{iq}, bq_{jq}) \in BQ \times BQ: \exists mq_{kq}(bq_{iq}) \in MQ: mq_{kq}(bq_{iq}) + yq_{kq}[mq_{kq}(bq_{iq})] < mq_{kq}(bq_{jq})\}$$

- **Krok 4.5:** Badanie relacji przewyższenia. W celu zbadania wzajemnego przewyższenia tworzy się zbiór $QU(qu, yq)$, który jest częścią zbioru FQ_{sq} i RQ_{yq}

$$QU(qu, yq) = FQ_{sq} \cap \overline{RQ}_{yq} \quad (20)$$

gdzie:

$$\overline{RQ}_{yq} = (BQ \times BQ) \setminus RQ_{yq} \quad (21)$$

- **Krok 5:** Tworzenie grafu zależności, którego łuki wskazują na przewyższenia pomiędzy wariantami decyzyjnymi

Metoda ELECTRE pierwszy raz została zaimplementowana przez Roya w latach 60.XX. Stosuje się w różnych dziedzinach nauki i gospodarki tj. problemy lokalizacyjne, zarządzanie bezpieczeństwem, logistyka i łańcuch dostaw, systemy produkcyjne [79].

– **Metoda PROMETHEE** (z ang. *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) – jedna z najpopularniejszych na świecie metod przewyższania relacji. Została opracowana przez Brasna w latach 80.XX. W niniejszej metodzie ranking wariantów tworzy się poprzez porównywanie obiektów parami i relacje przewyższania. Implementuje się ją, kiedy [79], [95], [96], [185]:

- decydent jest w stanie wyrazić swoje preferencje pomiędzy dwoma wariantami na podstawie przyjętych kryteriów,
- decydent jest w stanie określić ważność poszczególnych kryteriów oceny,
- różnice między wartościami ocen mają sens,
- decydent jest świadomy co może się zdarzyć, kiedy zostanie dodany lub usunięty dany wariant i jest świadomy wpływu tego zabiegu na ostateczną decyzję.

Celem metod z grupy PROMETHEE jest określenie najlepszego wariantu uwzględniającego wszystkie kryteria, których wagi mogą być płynnie modyfikowane. W przypadku metody PROMETHEE II proces badawczy składa się z co najmniej ośmiu etapów [32]:

- **Krok 1, 2:** Zdefiniowanie zbioru wariantów decyzyjnych, zbioru kryteriów oceny oraz określenie wag kryteriów:

$$\mathbf{BV} = \{bv_1, \dots, bv_{iv}, \dots, bv_{jv}, \dots, bv_{NV}\}$$

$$\mathbf{MV} = \{mv_1, mv_2, \dots, mv_{kv}, \dots, mv_{KV}\}$$

$$nv_{kv} \geq 0 \wedge nv_{kv} \leq 1$$

$$\sum_{kv=1}^{KV} nv_{kv} = 1$$

gdzie: bv_{iv}, bv_{jv} – warianty decyzyjne, iv, jv – numery wariantów decyzyjnych, mv_{kv} – kryterium oceny, kv – numer kryterium oceny, nv_{kv} – waga kv – tego kryterium.

- **Krok 3:** Przygotowanie zbioru ocen wariantów decyzyjnych ze względu na ustalone kryterium:

$$\mathbf{MVBV} = \{mv_{kv}(bv_{iv}) : mv_{kv} \in \mathbf{R}; bv_{iv} \in \mathbf{BV} \wedge mv_{kv} \in \mathbf{MV}; iv = 1, 2, \dots, NV; kv = 1, 2, \dots, KV\}$$

- **Krok 4:** Normalizacja ocen wariantów decyzyjnych, dla kryteriów maksymalizowanych:

$$tv_{iv}^{kv} = \frac{mv_{kv}(bv_{iv}) - \min_{bv_{jv} \in \mathbf{BV}} \{mv_{kv}(bv_{jv})\}}{\max_{bv_{jv} \in \mathbf{BV}} \{mv_{kv}(bv_{jv})\} - \min_{bv_{jv} \in \mathbf{BV}} \{mv_{kv}(bv_{jv})\}} \quad iv = 1, 2, \dots, NV; kv = 1, 2, \dots, KV \quad (22)$$

oraz dla kryteriów minimalizowanych:

$$tv_{iv}^{kv} = \frac{\max_{bv_{jv} \in \mathbf{BV}} \{mv_{kv}(bv_{jv})\} - mv_{kv}(bv_{iv})}{\max_{bv_{jv} \in \mathbf{BV}} \{mv_{kv}(bv_{jv})\} - \min_{bv_{jv} \in \mathbf{BV}} \{mv_{kv}(bv_{jv})\}} \quad iv = 1, 2, \dots, NV; kv = 1, 2, \dots, KV \quad (23)$$

- **Krok 5:** Wyznaczanie dla wszystkich par wariantów wartości funkcji preferencji:

$$\mu v_{kv}(bv_{iv}, bv_{jv}) = \begin{cases} 0, & tv_{iv}^{kv} - tv_{jv}^{kv} < 0 \\ tv_{iv}^{kv} - tv_{jv}^{kv}, & tv_{iv}^{kv} - tv_{jv}^{kv} \geq 0 \end{cases} \quad (24)$$

- **Krok 6:** Wyznaczanie zagregowanej funkcji preferencji:

$$\prod (bv_{iv}, bv_{jv}) = \frac{\sum_{kv=1}^{KV} nv_{kv} \cdot \mu v_{kv}(bv_{iv}, bv_{jv})}{100\%} \quad (25)$$

- **Krok 7:** Wyznaczanie przepływów dominacji wejścia, wyjścia oraz netto. Dla wyjścia:

$$\rho v^+(iv) = \frac{\sum_{jv=1}^{nv} \Pi(bv_{iv}, bv_{jv})}{NV - 1} \quad (26)$$

dla wejścia:

$$\rho v^-(iv) = \frac{\sum_{jv=1}^{nv} \Pi(bv_{jv}, bv_{iv})}{NV - 1} \quad (27)$$

netto:

$$\rho v(iv) = \rho v^+(iv) - \rho v^-(iv) \quad (28)$$

przy czym: NV – liczba wariantów decyzyjnych.

- **Krok 8:** Przygotowanie rankingu wariantów.

Ranking wariantów tworzy się poprzez uporządkowanie malejąco przepływów netto.

– Metoda **MAJA** to metoda wykorzystująca szczegółowe oceny wariantów i uwzględniająca ważność kryteriów cząstkowych. Implementuje się ją do oceny rozwoju systemów transportowych. Polega na stosowaniu relacji dominacji zdefiniowanej przy pomocy wskaźników zgodności oraz niezgodności, które służą do wyznaczenia najlepszego wariantu.

Po raz pierwszy metoda MAJA została zastosowana przez M. Jacynę do oceny systemów transportowych. Obecnie badania prowadzone omawianą metodą można znaleźć w wielu publikacjach [78][77]. Metoda MAJA składa się z 10 kroków:

- **Krok 1, 2:** Zdefiniowanie zbioru wariantów decyzyjnych oraz przygotowanie zbioru kryteriów oceny:

$$\mathbf{BR} = \{br_1, \dots, br_{ir}, \dots, br_{jr}, \dots, br_{NR}\}$$

$$\mathbf{MR} = \{mr_1, mr_2, \dots, mr_{kr}, \dots, mr_{KR}\}$$

gdzie: br_{ir}, br_{jr} – warianty decyzyjne, ir, jr – numery wariantów decyzyjnych, mr_{kr} – kryterium oceny, kr – numer kryterium oceny.

- **Krok 3:** Przygotowanie zbioru ocen wariantów decyzyjnych ze względu na ustalone kryterium:

$$\begin{aligned} \mathbf{MRBR} &= \{mr_{kr}(br_{ir}): mr_{kr} \in \mathbf{R}; br_{ir} \in \mathbf{BR} \wedge mr_{kr} \in \mathbf{MR}; ir = 1,2, \dots, NR; kr \\ &= 1,2, \dots, KR\} \end{aligned}$$

W omawianej metodzie oceny wariantów są oznaczane jako tr_{irjr} i zapisywane są w macierzy \mathbf{TR} opisanej następująco:

$$\begin{aligned} \mathbf{TR} &= \{tr_{irkr}: tr_{irkr} \equiv mr_{kr}(br_{ir}) \in \mathbf{R}^+, br_{ir} \in \mathbf{BR} \wedge mr_{kr} \in \mathbf{MR}; ir = 1,2, \dots, NR; kr \\ &= 1,2, \dots, KR\}_{NR \times KR} \end{aligned}$$

- **Krok 4:** Normalizacja ocen wariantów decyzyjnych:

$$sr_{ir}^{kr} = \begin{cases} \frac{tr_{irkr}}{\max_{ir=1, \dots, NR} \{tr_{irkr}\}} & \text{dla stymulant} \\ \frac{\min_{ir=1, \dots, NR} \{tr_{irkr}\}}{tr_{irkr}} & \text{dla destymulant} \end{cases} \quad (29)$$

Uzyskane wartości sr_{ir}^{kr} zapisuje się w następującej macierzy:

$$\mathbf{DR} = [sr_{ir}^{kr}: sr_{ir}^{kr} \in (0,1 >; ir = 1, \dots, NR; kr = 1,2, \dots, KR)]_{NR \times KR}$$

- **Krok 5:** Określenie wag kryteriów:

$$nr_{kr} \geq 0 \wedge nr_{kr} \leq 1$$

gdzie:

$$\sum_{kr=1}^{KR} nr_{kr} = 1$$

- **Krok 6:** Konstruowanie macierzy zgodności.

Macierz zgodności buduje się na podstawie wyników porównania parami dowolnych wariantów (br_{ir}, br_{jr}) , dla których wariant br_{ir} otrzymuje lepsze oceny niż wariant br_{jr} .

Dla kryteriów spełniających niniejszy warunek dodaje się ich wagi i dzieli przez ich sumę (nr).

Wskaźnik zgodności wyraża się wzorem:

$$ar_{irjr} = \frac{1}{nr} \sum_{kr=1, \dots, KR: sr_{ir}^{kr} > sr_{jr}^{kr}} nr_{kr} \quad (30)$$

Ostatecznie wskaźnik zgodności zapisywany jest w macierzy $\mathbf{AR} = [ar_{irjr}]_{NR \times NR}$.

- **Krok 7:** Konstruowanie macierzy niezgodności

Macierz zgodności buduje się na podstawie wyników porównania parami dowolnych wariantów (b_{ir}, b_{jr}) , dla których wariant b_{ir} otrzymuje gorsze oceny niż wariant b_{jr} .

Wskaźnik niezgodności wyraża się wzorem:

$$vr_{irjr} = \frac{1}{dr} \max_{kr=1, \dots, KR: sr_{jr}^{kr} > sr_{ir}^{kr}} \{sr_{jr}^{kr} - sr_{ir}^{kr}\} \quad (31)$$

gdzie:

$$dr = \max_{ir=1, \dots, NR: kr=1, \dots, KR} \{sr_{ir}^{kr}\} - \min_{ir=1, \dots, NR: kr=1, \dots, KR} \{sr_{ir}^{kr}\} \quad (32)$$

Ostatecznie wskaźnik niezgodności zapisywany jest w macierzy $\mathbf{VR} = [vr_{irjr}]_{NR \times NR}$.

- **Krok 8:** Określenie progu zgodności i niezgodności.

W niniejszym kroku wyznacza się próg zgodności fd oraz próg niezgodności fg . Dzięki nim możliwe jest wyselekcjonowanie wariantów spełniających kryteria określone przez oba progi.

Wariant b_{ir} określa się jako lepszy niż b_{jr} kiedy:

$$ar_{irjr} \geq fd \wedge vr_{irjr} \leq fg \quad (33)$$

- **Krok 9:** Przygotowanie binarnej macierzy dominacji wariantów $\mathbf{QR} = [qr_{irjr}]_{NR \times NR}$, w której element qr_{irjr} określa się w sposób następujący:

$$qr_{irjr} = \begin{cases} 1 & \text{dla } ar_{irjr} \geq fd \wedge vr_{irjr} \leq fg \\ 0 & \text{w innym przypadku} \end{cases} \quad (34)$$

- **Krok 10:** Sporządzenie grafu dominacji $GR = \langle \mathbf{WR}, \mathbf{UR} \rangle$, w którym:

\mathbf{WR} – zbiór wierzchołków odwzorowujący zbiór \mathbf{BR} ,

\mathbf{UR} – zbiór łuków (ir, jr) , takich, że:

$qr_{irjr} = 1$ – istnieje łuk skierowany od wierzchołka ir do jr ,

$qr_{irjr} = 0$ – nie istnieje łuk skierowany od wierzchołka ir do jr .

Graf w metodzie MAJA stanowi podstawę do wyboru wariantu decyzyjnego. Wierzchołek, z którego wychodzi najwięcej łuków stanowi najlepsze rozwiązanie.

W modelu niniejszej rozprawy konieczne było zastosowanie metody, dla której istnieje możliwość ustalenia wag poszczególnych kryteriów oraz przygotowania rankingów wariantów. Dlatego do dalszych badań postanowiono wybrano metodę PROMETHEE II (która *nota bene* daje taką możliwość). W metodzie PROMETHEE II wykorzystuje się porównania parami

i relację przewyższenia. Pozytywne oraz negatywne przepływy preferencji pozwalają na określenie jak bardzo dany wariant przewyższa lub jak sam jest przewyższany przez pozostałe warianty. W niniejszej rozprawie pozwoliło to na zilustrowanie rozbieżności w otrzymanych punktach między kolejnymi wariantami (które teoretycznie mogą nie być zbyt znaczące, a które potencjalnie mogą wpłynąć na decyzje inwestora). Ostatecznie o wyborze metody zdecydowała możliwość prowadzenia badań na licznych kryteriach bez konieczności posługiwania się skomplikowanymi parametrami [164]. Takie udogodnienie znacznie ułatwiło prowadzenie badań w niniejszej rozprawie.

5.3. ITLP – Problem lokalizacji terminali intermodalnych

W literaturze zagadnienie lokalizacji terminali intermodalnych zostało przedstawione przez Arnolda, Peetersa i Thomasa [9]. Nosi ono nazwę ITLP (z ang. *Intermodal Terminal Location Problem*). Problem ITLP stanowi rozwinięcie problemu HLP (z ang. *Hub Location Problem*). W problemie ITLP [130] nie jest znana liczba lokalizowanych terminali intermodalnych (zależy ona wprost od kosztów całkowitych ich uruchomienia). Każdy obiekt w sieci charakteryzuje się inną przepustowością oraz kosztem uruchomienia, a nadanie przesyłek od nadawców do odbiorców może się odbywać kilkoma drogami jednocześnie. Dodatkowo przesyłki mogą być nadawane w trybie bezpośrednim transportem drogowym lub przez terminal intermodalny. W przypadku nadania ładunku przy użyciu transportu intermodalnego, ładunek musi zostać przesłany przez co najmniej dwa terminale intermodalne. Należy tutaj zauważyć, iż dwa ostatnie założenia odróżniają model HLP od ITLP.

Aplikacyjnie problem ITLP został implementowany przez Abbassiego, Alaoui, Hilaliego i Boukachoura [1], [115]. Jego rozwiązanie polegało na znalezieniu optymalnej sieci transportowej dla przesyłek. Siecią optymalną nazwano taką sieć, która pozwala na zminimalizowanie kosztów całkowitych transportu intermodalnego lub unimodalnego ładunków oraz stałych kosztów uruchomienia lokalizacji terminala intermodalnego [163]. Zagadnienie ITLP formalnie zostało zapisane następująco [117], [93]:

$$\sum_{iw,jw \in IW} \sum_{kw,mw \in KW} cW_{iwjw}^{kw,mw} xW_{iwjw}^{kw,mw} + \sum_{iw,jw \in IW} cW_{iwjw} WW_{iwjw} + \sum_{kw \in KW} FW_{kw} YW_{kw} \rightarrow \min \quad (35)$$

przy założeniach:

$$\begin{aligned} xW_{iwjw}^{kw,mw} &\leq qW_{iwjw} YW_{kw}, \forall kw, mw \in KW, \forall iw, jw \in IW \\ xW_{iwjw}^{kw,mw} &\leq qW_{iw,w} YW_{mw}, \forall kw, mw \in KW, \forall iw, jw \in IW \end{aligned} \quad (36)$$

$$\sum_{kw,mw \in KW} xW_{iwjw}^{kw,mw} + wW_{iwjw} = qW_{iwjw}, \forall iw, jw \in IW$$

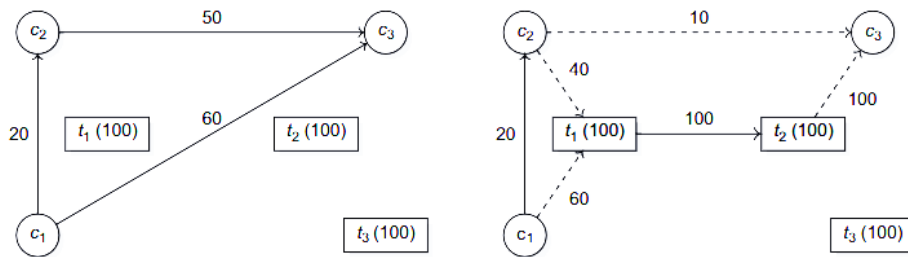
$$\sum_{iw, jw \in IW} \sum_{mw \in KW} xW_{iwjw}^{kw,mw} + \sum_{iw, jw \in 1} \sum_{mw \in KW} xW_{iwjw}^{kw,mw} \leq CW_{kw}, \forall kw \in KW$$

$$wW_{iwjw} \geq 0, xW_{iwjw}^{kw,mw} \geq 0, xW_{iwjw}^{kw,mw} = 0, \forall kw, mw \in KW, \forall iw, jw \in IW$$

$$yW_{kw} \in \{0,1\}, \forall kw \in KW$$

przy czym: KW – zbiór możliwych lokalizacji dla terminali, IW – zbiór wszystkich nadań/punktów odbioru, qW_{iwjw} – wielkość ładunku (popyt) na łuku $iwjw$ transportowanego gałęzią unimodalną, wW_{iwjw} – zmienna decyzyjna reprezentująca część transportowanego towaru (popytu) na łuku $iwjw$ transportem unimodalnym, $xW_{iwjw}^{kw,mw}$ – zbiór zmiennych decyzyjnych powiązanych z ułamkiem towaru qW_{iwjw} transportowanego intermodalnie przez terminale kw, mw , $cW_{iwjw}^{kw,mw}$ – koszt jednostkowy nadania przesyłki na łuku $iwjw$ z uwzględnieniem terminala kw oraz mw , cW_{iwjw} – koszt jednostkowy nadania przesyłki na łuku $iwjw$ z pominięciem terminala (transport unimodalny), CW_{kw} – przepustowość kw – tego terminala, FW_{kw} – koszt stały uruchomienia kw – tego terminala, yW_{kw} – parametr, przyjmujący wartość: 1 – kiedy kw – ty/mw – ty terminal otwarty, 0 – w przeciwnym razie.

Graficzną interpretację problemu ITLP przedstawia Rysunek 25.



Rysunek 25 Graficzna reprezentacja problemu ITLP

Źródło: [163]

Do rozwiązania problemu ITLP w literaturze stosowano różnego rodzaju procedury – np. metaheurystyczną procedurę GRASP (z ang. *Greedy Randomised Adaptive Search Procedure*) oraz ABHC (z ang. *Attribute-Based Hill Climber method*) [163]. Autorzy [141] skorzystali natomiast z algorytmu genetycznego.

Inne podejście do problemu lokalizacji terminali intermodalnych zostało zaprezentowane w pozycji [165]. W niniejszym artykule eksperci wyznaczyli lokalizację terminala przy pomocy metody łączącej analizę SWOT (z ang. *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*)

z wielokryterialną metodą wspomaganie decyzji. Ich model badawczy składał się z kilku kroków:

- **Krok 1:** Przygotowanie wariantów lokalizacyjnych polegające na opracowaniu kilku propozycji lokalizacji dla terminali intermodalnych.
- **Krok 2:** Wybór kryteriów oceny lokalizacji, które podzielono na grupy według analizy SWOT, przy czym:
 - do kryteriów zakwalifikowanych do *mocnych stron* zaliczono: warunki terenowe, status własności terenu, przynależność do sieci TEN-T, odległość od strefy zurbanizowanej, możliwość skorzystania z istniejącej infrastruktury, dostęp do sieci kolejowej (mierzony liczbą linii kolejowych, z którymi połączony jest terminal), połączenie z infrastrukturą drogową, połączenia kolejowe z portem,
 - do kryteriów zakwalifikowanych do *słabych stron* zaliczono: koszty inwestycji, koszty operacyjne, wpływ na strefę chronioną, rezerwa pod rozbudowę, brak połączenia ze stacją zdawczo-odbiorczą, zmiana sposobu użytkowania terenu,
 - do kryteriów zakwalifikowanych do *szans* zaliczono: możliwość poprawy stanu lokalnej infrastruktury, rozwój centrum logistycznego oraz usług dodatkowych,
 - do kryteriów zakwalifikowanych do *zagrożeń* zaliczono: bliskość innych terminali, spowodowanie wzrostu lokalnego ruchu pojazdów ciężarowych, ryzyko niekorzystnych warunków meteorologicznych.
- **Krok 3:** Przypisanie wagi do poszczególnych kryteriów.
- **Krok 4:** Przygotowanie rankingu wariantów.

Rezultatem badań było wyłonienie najkorzystniejszej lokalizacji dla terminala oraz jej ocena.

5.4. Narzędzia do wspomagające wybór lokalizacji terminala intermodalnego

Ze względu na specyficzny charakter terminali intermodalnych, które wymagają dostępu do infrastruktury kolejowej nie jest możliwe wskazanie ich lokalizacji wyłącznie przy udziale jednokryterialnych metod wspomaganie wyboru lokalizacji. Dlatego też, przy wyznaczaniu fizycznych lokalizacji dla terminali intermodalnych należy posłużyć się zasobami GIS.

Systemu Informacji Geograficznej to komputerowy system, który służy do przechwytywania, przechowywania, weryfikowania oraz wyświetlania danych związanych z pozycjami geograficznymi na powierzchni globu. System ten zapewnia głęboki wgląd w dane, pozwala zauważyć i zaobserwować wzorce, badać relacje i zależności pomagając użytkownikowi w podejmowaniu racjonalnych decyzji. W oparciu o dane GIS, narzędzia

pochodne oraz ogólnodostępne bazy danych w przypadku lokalizowania terminali intermodalnych transportu intermodalnego należy przeanalizować:

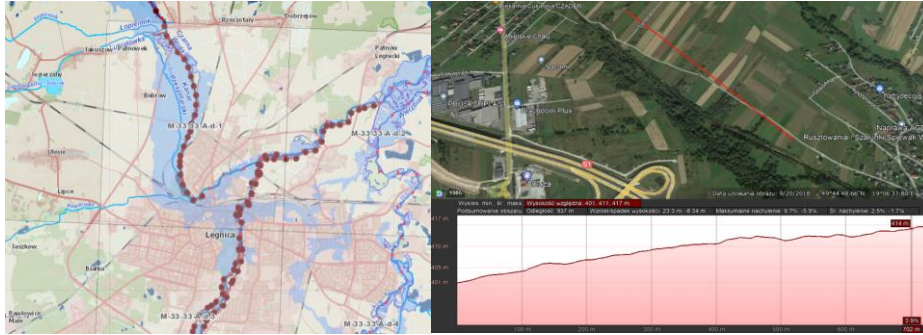
I. Dostęp terminala intermodalnego do infrastruktury zewnętrznej, w tym:

- **infrastruktury kolejowej** – terminal powinien znajdować się przy torze szlakowym, blisko stacji kolejowej. Jeżeli w pobliżu nie istnieje stacja, która umożliwiałaby przyjmowanie pociągów o długości 750 m należy zaplanować jej wybudowanie. W przypadku stacji modernizowanych zaleca się budowę toru wyciągowego lub dojazdowego łączącego stację i terminal, aby prowadzone manewry pociągowe nie kolidowały z ruchem innych pociągów. Nie rekomenduje się lokalizowania terminali przy liniach drugorzędnych oraz przeznaczonych wyłącznie do ruchu pasażerskiego.
- **dróg szybkiego ruchu** (m.in. dróg krajowych: autostrad/dróg ekspresowych bądź dróg wojewódzkich) – włączanie się do ruchu pojazdów ciężarowych przy głównych ciągach komunikacyjnych musi odbywać się w możliwie sprawny sposób. Nie rekomenduje się przyłączania terminali do dróg o klasie mniejszej niż klasa Z (tj. kl. L, D).
- **infrastruktury elektroenergetycznej** (tj. sieci wysokiego lub średniego napięcia) – energia elektryczna konieczna jest do zapewnienia ciągłości procesów ładunkowych, składowania czy sterowania systemem przeładunkowym. Na ogół maszyny ładunkowe, jednostki chłodnicze oraz oświetlenie terminala intermodalnego konsumują bardzo duże ilości energii. Dlatego też obiekt ten powinien znaleźć się w takiej lokalizacji, gdzie nie będą występowały problemy z dostawami energii elektrycznej.
- **pozostałych mediów i przyłączy** (tj. gazu, wody, kanalizacji, sieci ciepłowniczej).

Brak dostępu lokalizacji terminala intermodalnego do infrastruktury kolejowej i drogowej powinien zdyskwalifikować lokalizację z dalszych analiz.

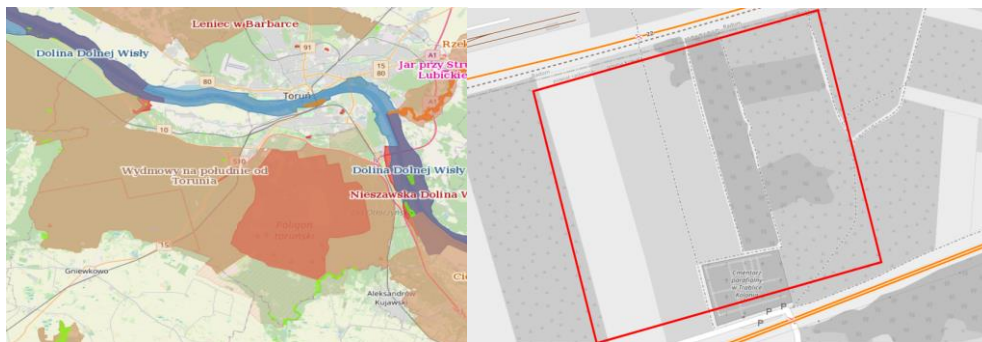
II. Ograniczenia środowiskowe, przestrzenne oraz inżynierjno-techniczne, w tym:

- **zagrożenia hydrologiczne** – terminal nie może znaleźć się na terenach zalewowych, podmokłych, zagrożonych powodzią. Wybór takiego miejsca mogłyby narażać na niebezpieczeństwo zarówno sam obiekt jak i ładunki, które się na nim znajdują (Rysunek 26).
- **rzeźbę terenu** – terminal nie powinien być usytuowany na terenach górzystych, wyżynnych, pagórkowatych. Wybudowanie obiektu w takim miejscu wiązałoby się z wykonaniem dużych ilości prac ziemnych (wywóz, przywóz ziemi, równanie terenu) oraz problemami z wprowadzeniem w ruch ciężkiego składu towarowego (Rysunek 26).



Rysunek 26 Przykład obszarów szczególnie zagrożonych powodzią (przy LK 296 i LK 298 na wysokości Legnicy) (1), Przykład miejsca o pochyleniu 2,5% na wysokości Żywca przy LK 139 (2)
 Źródło: GIS, Hydroportal (1), GoogleEarth (2)

- **ochronę środowiska** – terminal nie powinien znajdować się w obszarze prawnie chronionym tj. parki narodowe, rezerваты przyrody, Natura2000, pomniki przyrody, która na ogół są miejscem bytowania cennych gatunków zwierząt i roślin (Rysunek 27).
- **ochronę zabytków** – terminal nie powinien kolidować z walorami kulturowymi (tj. pomniki, cmentarze, zabytki, zespoły parkowe itd.). Przykład takiego miejsca ilustruje Rysunek 27.



Rysunek 27 Przykład obszaru prawnie chronionego (przy LK 18 i LK 353 na wysokości Torunia) (1),
 Przykład potencjalnej lokalizacji dla terminala (Radom między LK 8 a 22 z przeszkodą w postaci cmentarza) (2)

Źródło: GIS, Geoserwis (1), www.openrailwaymap.org (2)

Pomimo, iż teren wydaje się atrakcyjny ze względu na obecność strefy przemysłowej i położenia między dwoma liniami kolejowymi (o nr 8 i 22), to zlokalizowanie tutaj terminala mocno ogranicza obecność cmentarza, którego nie można przenieść w inne miejsce.

- **kwesie społeczne** – terminal intermodalny nie powinien ingerować w sferę społeczno-kulturową. Ingerencja w sferę bytową ludzi bardzo często budzi znaczący opór społeczny, który niejednokrotnie zamyka drogę dla prowadzenia inwestycji. Szczególny opór

społeczny może wywołać kongestia drogowa spowodowana spiętrzeniem się na drogach publicznych ruchu samochodów osobowych oraz generowanego przez terminal intermodalny ruchu pojazdów ciężarowych. Dodatkowo terminale intermodalne wytwarzają także hałas uciążliwy dla życia okolicznych mieszkańców. Dlatego, aby uniknąć protestów należy przeprowadzić rekonesans pośród lokalnej ludności celem oszacowania potencjalnego ryzyka jakie niesie wybór danego miejsca pod jego budowę. Przykład lokalizacji terminala intermodalnego, który wywołuje od lat protesty mieszkańców ilustruje Rysunek 28.

- **zagospodarowanie przestrzenne** – terminal intermodalny nie powinien kolidować z planowanym zagospodarowaniem przestrzennym. Przykład miejsca, gdzie nie powinien zostać zlokalizowany terminal ze względu na istniejący plan zagospodarowania przestrzennego ilustruje Rysunek 28.

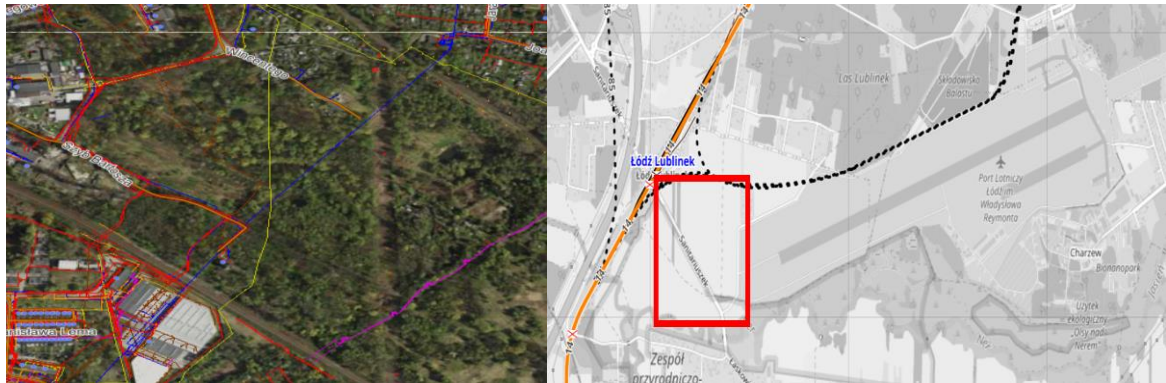


Rysunek 28 Przykład lokalizacji terminala intermodalnego pośród gęstej zabudowy (Metrans Pruszków) (1), Potencjalna działka dla terminala intermodalnego w kolizji z zagospodarowaniem przestrzennym (przy LK 131/LK 201 Zag. Prz. ozn. MPZP023) (2)

Źródło: GoogleEarth (1), GIS, Geoportal (2)

- **uzbrojenie terenu** – przykład miejsca, gdzie nie powinien zostać zlokalizowany terminal intermodalny ze względu na zbyt gęste uzbrojenie terenu ilustruje Rysunek 29. Koszt budowy terminala intermodalnego w miejscu o gęstym uzbrojeniu terenu mógłby zostać znacząco podniesiony przez konieczność przebudowy sieci elektroenergetycznej, ciepłowniczej, gazowej i wodociągowej.
- **infrastrukturę cywilną** – terminal intermodalny nie powinien kolidować z lotniskami, wiaduktami, drogami, infrastrukturą strategiczną itp. Zdarzają się takie przypadki, że wybudowanie dużego obiektu jest technicznie niewykonalne, finansowo nieopłacalne bądź niebezpieczne z punktu widzenia sterowania ruchem drogowym, lotniczym bądź

kolejowym. Przykład miejsca, gdzie nie powinien zostać zlokalizowany terminal intermodalny ze względu na ograniczenia cywilno-inżynierskie ilustruje Rysunek 29.



Rysunek 29 Przykład kolizji z uzbrojeniem terenu (przy LK 137 w Rudzie Śląskiej) (1), Przykład kolizji z infrastrukturą cywilną (lotnisko w Łodzi) (2)

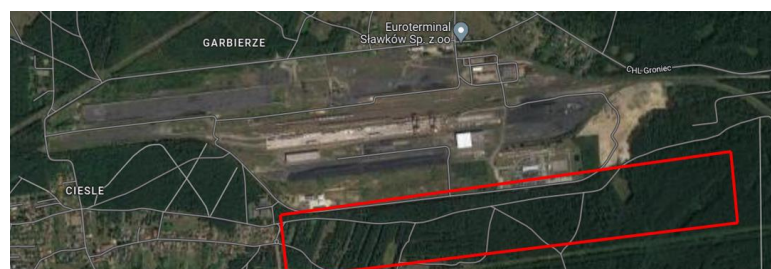
Źródło: GIS, Geoportal (1), www.openrailwaymap.org (2)

Chociaż miejsce wydaje się atrakcyjne z biznesowego punktu widzenia, powodem, dla którego terminal intermodalny w niniejszym miejscu nie może zostać zlokalizowany jest ograniczenie widoczności w pasie startowym lotniska.

Często także, budowa dużego obiektu logistycznego może spowodować konieczność przebudowy drogi publicznej odcinając lokalnym mieszkańcom swobodny przejazd między destynacjami, co może prowadzić do protestów lokalnej społeczności.

- **rezerwę pod rozbudowę** – warto jest zabezpieczyć możliwość rozbudowy terminala intermodalnego o kolejne komponenty, ponieważ terminale intermodalne to obiekty, które wraz z rozwojem modelu biznesowego oferują coraz większy wachlarz usług. Częstokroć komponenty te wymagają dużej ilości dodatkowej przestrzeni. Zdarza się, iż wokół terminali powstają całe centra logistyczne (np. Clip w Gądkach pod Poznaniem).

Przykładem terminala intermodalnego, który teoretycznie posiada dodatkowe możliwości ekspansji jest Euroterminal Sławków – Rysunek 30.



Rysunek 30 Przykład terminala z potencjalną rezerwą terenu pod rozbudowę

Źródło: GoogleEarth

- **nasadzenia** – terminal intermodalny nie powinien zostać umiejscowiony na terenach pokrytych połaciami lasów, krzewów, zbóż i drzew owocowych. W przypadku lasów wycinka drzew bardzo często wiąże się z koniecznością przeprowadzenia kompensacji przyrodniczej, co skutkuje wzrostem kosztów budowy obiektu logistycznego. Natomiast fakt, iż na danym terenie rosną np. sady owocowe lub zboże może oznaczać, iż na terenie gruntów znajdują się wysokiej klasy gleby. Ingerencja w ziemię rolników niesie ze sobą ryzyko wybuchu protestów społecznych. Dlatego przy wyborze lokalizacji terminala intermodalnego rekomenduje się wybór miejsca pozbawionego różnego rodzaju nasadzeń rolnych.

Ogółem obiekty logistyczne nie powinny być lokalizowane na czarnoziemach, czarnych ziemiach, madach, rędzinach, ziemiach bagiennych i płowych. Zabrania tego prawo.

- **pozostałe** – terminal intermodalny nie powinien znajdować się np. w miejscu osuwisk, wyrobisk i terenów pogórnicych. Budowa terminala intermodalnego w takim miejscu mogłaby zagrażać infrastrukturze cywilnej oraz zdrowiu i życiu ludzi.

6. WYBRANE METODY PROGNOZOWANIA WARTOŚCI KRYTERIÓW WIELOKRYTERIALNEGO PODEJMOWANIA DECYZJI W KONTEKŚCIE LOKALIZACJI TERMINALI INTERMODALNYCH

6.1. Uwagi ogólne

Wybór miejsca lokalizacji terminala intermodalnego wymaga uwzględnienia wielu kryteriów oceny. Analizy w tym aspekcie należy prowadzić nie tylko dla ustalonych wartości kryteriów w danej chwili, ale również w aspekcie ich zmian w czasie. Takim podejściem są analizy prognostyczne, które badają zachowanie się wartości kryteriów w przyszłości, a następnie uwzględniają te prognozy w wielokryterialnym podejmowaniu decyzji. W tym kontekście, w omawianym rozdziale zostaną omówione wybrane metody prognozowania, które pozwalają na przewidywanie przyszłości na podstawie ogólnodostępnych danych historycznych. Niniejszy przegląd literatury pozwoli na zidentyfikowanie i implementację odpowiedniej metody prognozowania do modelu zaprezentowanego w tej dysertacji.

6.2. Metody prognozowania

Aby prawidłowo zarządzać zasobami przedsiębiorstwa zarówno tymi materialnymi jak i niematerialnymi, należy potrafić przewidywać przyszłość w obszarze techniki oraz ekonomii. Jak się okazuje, czynniki takie jak inflacja, tendencje w eksploatacji wyrobów, nowe techniki produkcyjne, zmiany demograficzne są w pewnym stopniu przewidywalne, dlatego większość liczących się na rynku przedsiębiorstw produkcyjno-usługowych prowadzi działalność prognostyczną. Pod tym względem, firmy coraz częściej starają się przewidywać zachowanie się takich zjawisk jak: wydajność pracy, wykorzystanie czasu pracy, koszty, rentowność, analiza portfolio, badania zaufania do marki, badania selektywności rynku [126] itp.

Do najczęściej opisywanych w literaturze i stosowanych praktyce modeli prognostycznych zalicza się **klasyczny model regresji liniowej** [29], [41], [179], [187], **model Holta** [138], [147], [196], **model Wintersa** [196], [199] i **model Browna** [73], [129], [153].

W **klasycznym modelu regresji liniowej** znajomość jednej zmiennej pozwala na określenie drugiej zmiennej. Do zbioru pomierzonych danych dopasowywana jest linia trendu, która jest opisana zależnością:

$$y = \varphi + \mu \cdot t \quad (37)$$

przy czym współczynnik kierunkowy prostej (μ) oblicza się ze wzoru:

$$\mu = \frac{\sum_{t=1}^{SH} (t - \bar{t}) \cdot (y_t - \bar{y})}{\sum_{t=1}^{SH} (t - \bar{t})^2} \quad (38)$$

natomiast wartość parametru φ oblicza się ze wzoru:

$$\varphi = \bar{y} - \mu \cdot \bar{t} \quad (39)$$

Wartość \bar{t} – oznacza średnią arytmetyczną liczoną dla okresów t , a wartość \bar{y} – oznacza średnią arytmetyczną wartości procesu. Liczy się je z następującej zależności:

$$\begin{aligned} \bar{t} &= \frac{1}{SH} \sum_{t=1}^{SH} t \\ \bar{y} &= \frac{1}{SH} \sum_{t=1}^{SH} y_t \end{aligned} \quad (40)$$

przy czym: SH – liczba okresów pomiarów.

Prognozę dla okresów $\tau > SH$ oblicza się ze wzoru:

$$y_t^* = \varphi + \mu \cdot \tau \quad (41)$$

natomiast błąd prognozy (ϑ_t):

$$\vartheta_t = \sqrt{rd^2 \cdot \left[\frac{1}{SH} \cdot \frac{(\tau - \bar{t})^2}{\sum_{t=1}^{SH} (t - \bar{t})^2} \right]} \quad (42)$$

gdzie rd^2 – jest średniokwadratowym odchyleniem standardowym, liczonym ze wzoru:

$$\begin{aligned} rd^2 &= \left[\frac{1}{SH} \cdot \sum_{t=1}^{SH} (y_t - y_t^*)^2 \right] \text{ dla } SH > 30 \\ rd^2 &= \left[\frac{1}{SH - 1} \cdot \sum_{t=1}^{SH} (y_t - y_t^*)^2 \right] \text{ dla } SH \leq 30 \end{aligned} \quad (43)$$

przy czym: prognozę *ex-post* liczona jest z zależności $y_t^* = \varphi + \mu \cdot t$, dla $t = \overline{1, SH}$.

Model Holta stosuje się, kiedy konieczne jest wygładzenie szeregu czasowego, w którym występują wahania przypadkowe oraz tendencja rozwojowa. Model Holta można zapisać za pomocą następujących zależności [7], [157], [172], [178]:

$$\begin{aligned} WF_t &= \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (WF_{t-1} + SK_{t-1}) \\ SK_t &= \beta \cdot (WF_t - WF_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot SK_{t-1} \end{aligned} \quad (44)$$

gdzie: WF_{t-1} – wygładzona wartość analizowanego szeregu czasowego w okresie $t - 1$, SK_{t-1} – wygładzona wartość trendu w okresie $t - 1$, α, β – parametry modelu wyrównywania wykładniczego z przedziału $[0,1]$.

Prognozę dla kolejnych (przyszłych) okresów $SH + k$ wyznacza się z zależności:

$$y_{SH+k}^* = WF_{SH} + k \cdot SK_{SH} \quad (45)$$

przy czym: SH – liczba okresów pomiarów.

Błąd prognozy obliczany jest z poniższego wzoru:

$$cs^* = \sqrt{\frac{1}{SH} \sum_{t=1}^{SH} (y_t - y_t^*)^2} \quad (46)$$

Model Wintersa stosuje się, kiedy w analizowanym zbiorze wartości mierzalnych występują wahania sezonowe, przypadkowe oraz tendencje rozwojowe. Jest to rozszerzona wersja modelu Holta. W metodzie tej oblicza się wskaźnik sezonowości oznaczany jako (CF_t) z udziałem parametru γ – oznaczającego liczbę chwil tworzących cykl sezonowy. Występują dwie odmiany modelu Holta: **addytywna** oraz **multiplikatywna**. W modelu addytywnym, bezwzględny poziom wahań sezonowych jest stały – tzn. nie zmienia się wokół słabego trendu lub poziomu. W modelu multiplikatywnym poziom wahań sezonowych wokół trendu rośnie lub maleje. Ich względny poziom jest w przybliżeniu stały. Postać multiplikatywną modelu Wintersa można przedstawić następująco [178]:

$$\begin{aligned} WF_t &= \alpha \cdot \frac{y_t}{CF_{t-r}} + (1 - \alpha) \cdot (WF_{t-1} + SK_{t-1}) \\ SK_t &= \beta \cdot (WF_t - WF_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot SK_{t-1} \\ CF_t &= \gamma \cdot \frac{y_t}{WF_{t-r}} + (1 - \gamma) \cdot CF_{t-r} \end{aligned} \quad (47)$$

gdzie: γ – parametr modelu z przedziału $[0,1]$, r – liczba faz cyklu.

Dla modelu multiplikatywnego, prognozę dla kolejnych okresów $SH + k$ wyznacza się przy pomocy następującego równania:

$$y_{SH+k}^* = (WF_{SH} + k \cdot SK_{SH}) \cdot CF_{t-r} \quad (48)$$

W wersji addytywnej model Wintersa przybiera postać:

$$\begin{aligned}
WF_t &= \alpha \cdot (y_t - CF_{t-r}) + (1 - \alpha)(WF_t - SK_t) \\
SK_t &= \beta \cdot (WF_t - WF_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot SK_{t-1} \\
CF_t &= \gamma \cdot (y_t - CF_{t-r}) + (1 - \gamma) \cdot CF_{t-r}
\end{aligned}
\tag{49}$$

Dla modelu addytywnego, prognozę dla kolejnych okresów $SH + k$ wyznacza się przy pomocy poniższego równania:

$$y_{SH+k}^* = (WF_{SH} + k \cdot SK_{SH}) + CF_{t-r} \tag{50}$$

Błąd prognozy oblicza się analogicznie jak w przypadku metody Holta.

Model Browna służy do prognozowania wyłącznie na jeden okres. Metoda ta została przygotowana przez R.G. Browna pod koniec lat 50.XX. Algorytm stosuje się, kiedy w szeregu czasowym występuje prawie stały poziom zmiennej prognozowanej oraz wahań przypadkowych. Poniżej przedstawiono regułę predykcji w postaci rekurencyjnej dla pierwszego i kolejnych okresów czasowych [36], [178]:

$$\begin{aligned}
y_1^* &= y_0 \\
y_t^* &= \alpha \cdot y_{t-1} + (1 - \alpha) \cdot y_{t-1}^*
\end{aligned}
\tag{51}$$

Błąd prognozy oblicza się analogicznie jak w przypadku metody Holta i Wintersa.

W kontekście lokalizacji terminali intermodalnych warto zaznaczyć, iż inwestycja w tego typu obiekt logistyczny wymaga ogromnych nakładów finansowych, a zwrot z inwestycji często trwa latami. Dlatego też należy prowadzić analizy w zakresie zmian zmiennych diagnostycznych w kolejnych latach np. 10, 20 i 30 lat, a następnie badać ich wpływ na miejsce lokalizacji terminala intermodalnego. W tym celu, w wybranej metodzie wielokryterialnego podejmowania decyzji należy dokonać predykcji niektórych wartości zmiennych diagnostycznych należących do zbioru kryteriów stosowanych przy ocenie efektywności wyboru lokalizacji. Informacji na temat skali zmian ich wartości w czasie mogą dostarczyć prognozy oparte o klasyczny model regresji liniowej. W przeciwieństwie do pozostałych wyżej opisanych modeli pozwala on na prognozowanie wartości zmiennych diagnostycznych na więcej niż jeden okres.

7. METODA OCENY LOKALIZACJI TERMINALI INTERMODALNYCH

7.1. Założenia ogólne metody oceny lokalizacji terminali intermodalnych

W odpowiedzi na potrzeby kontynuowania polityki zrównoważonego rozwoju kraju i regionów zaproponowano model, wspomagający proces podejmowania decyzji w zakresie wyboru lokalizacji dla terminali intermodalnych. Przygotowanie odpowiedniego modelu decyzyjnego jest niezbędne, gdyż decyzje o rozpoczęciu inwestycji w terminal LO-LO/RO-RO nie powinny zapadać bez przygotowania ekspertyzy popartej odpowiednio szczegółowymi analizami. Po pierwsze dlatego, iż o usytuowaniu terminala intermodalnego w danym miejscu mogą zadecydować uwarunkowania geograficzne, techniczne, kulturalno-społeczne itp. Po drugie, jak już wspomniano – koszt budowy terminala nie należy do najniższych, dlatego zlokalizowanie go w nieodpowiednim miejscu, może spowodować problemy finansowe przedsiębiorstwa, które nim zarządza. Po trzecie, są to obiekty mogące wpływać negatywnie (bądź pozytywnie) na rozwój danego obszaru.

W niniejszej pracy na metodę oceny lokalizacji terminala intermodalnego składa się pięć etapów:

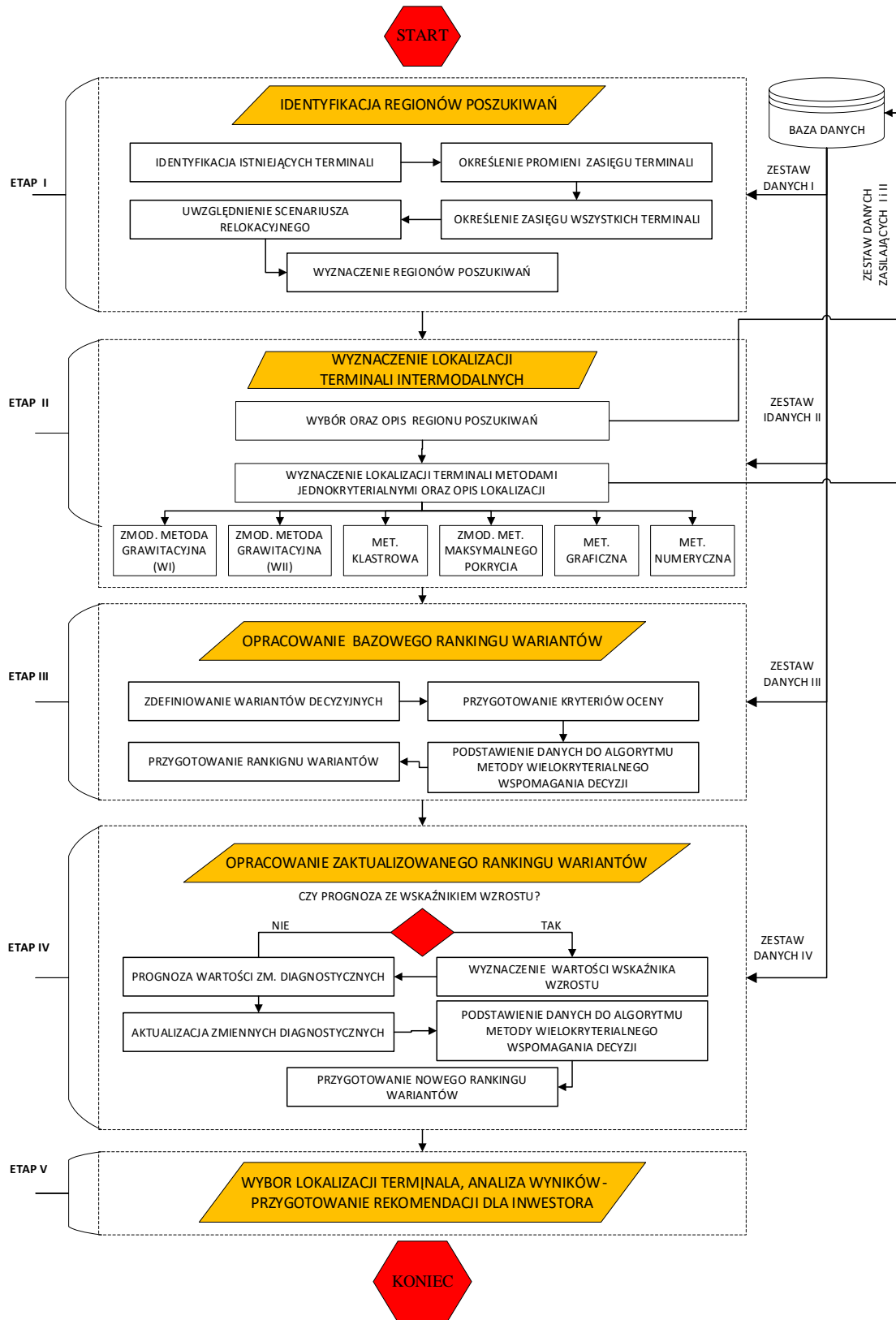
- ETAP I – identyfikacja regionów poszukiwań,
- ETAP II – wyznaczenie lokalizacji dla terminala intermodalnego ze względu na przyjęte kryteria,
- ETAP III – opracowanie *bazowego*⁶ rankingu wariantów lokalizacyjnych z uwzględnieniem wielokryterialnej metody wspomaganie decyzji,
- ETAP IV – przygotowanie *zaktualizowanego*⁷ rankingu wariantów lokalizacyjnych z uwzględnieniem wielokryterialnej metody wspomaganie decyzji i analiz wartości zmiennych diagnostycznych,
- Etap V – analiza wyników, wybór miejsca lokalizacji intermodalnego terminala przeładunkowego oraz przygotowanie rekomendacji dla inwestora.

Wykonanie kroków zawartych w pierwszych czterech etapach modelu, umożliwia dokonanie interpretacji wyników oraz przygotowanie rekomendacji dla potencjalnego inwestora (Etap V). Do realizacji Etapów I – IV wymagane są dane, które posłużą do przeprowadzenia analiz i obliczeń w studium przypadku.

⁶ Ranking wariantów wyznaczony metodą wielokryterialnego wspomaganie decyzji dla roku odniesienia (pierwszego hipotetycznego roku funkcjonowania terminala intermodalnego)

⁷ Ranking wariantów wyznaczony metodą wielokryterialnego wspomaganie decyzji dla kolejnych lat funkcjonowania terminala intermodalnego

Uproszczony schemat modelu badawczego wyboru lokalizacji terminali intermodalnych
 ilustruje – Rysunek 31.



Rysunek 31 Metoda oceny lokalizacji terminali intermodalnych

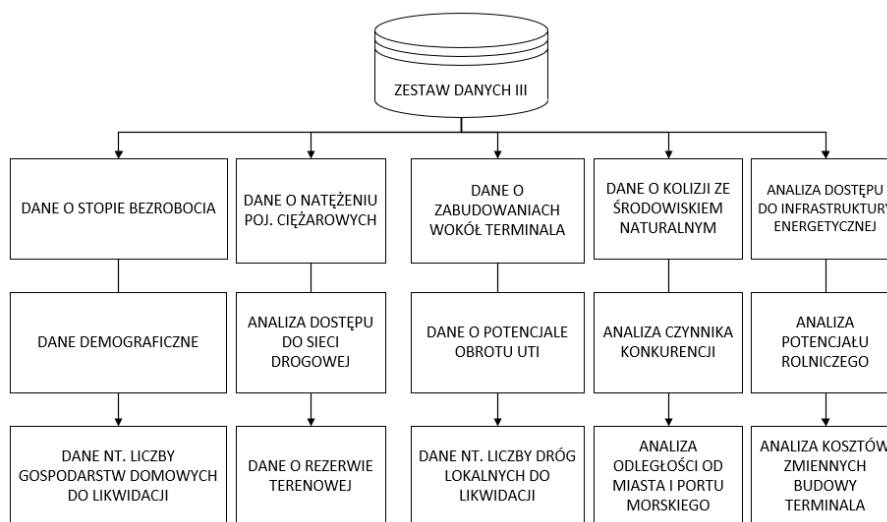
Źródło: opracowanie własne

Poniżej dokonano rozwinięcia lingwistycznego kolejnych elementów modelu.

- **Dane wejściowe**

Na potrzeby pracy zostaną przygotowane cztery zestawy danych wejściowych, które stworzą **Bazę Danych**:

- **Zestaw danych I** – posłuży do prowadzenia analiz w Etapie I. Obejmie on dane o terminalach intermodalnych tj. nazwy przedsiębiorstw zarządzających obiektem, lokalizacje terminali, ich współrzędne geograficzne, rodzaj terminala intermodalnego, przepustowość.
- **Zestaw danych II** – posłuży do prowadzenia analiz w Etapie II. Obejmie on dane niezbędne do wyznaczenia lokalizacji terminala intermodalnego metodami jednokryterialnymi tj. dane demograficzne, dane o natężeniu ruchu drogowego, dane o powierzchni użytków rolnych, dane o zakładach pracy w regionie poszukiwań.
- **Zestaw danych III** – posłuży do prowadzenia analiz w Etapie III. Obejmie on dane niezbędne do wyznaczenia bazowego rankingu wariantów. Poszczególne elementy Zestawu III danych obrazuje – Rysunek 32.



Rysunek 32 Dane wejściowe

Źródło: opracowanie własne

- **Zestaw danych IV** – posłuży do prowadzenia analiz w Etapie IV. Obejmie on dane historyczne, które wykorzystano do prognozowania wartości zmiennych diagnostycznych podlegających aktualizacji tj. dane o powierzchni użytków

rolnych, dane o natężeniu ruchu, dane o liczbie zakładów pracy, dane demograficzne, dane o cenach gruntów, dane o stopie bezrobocia.

Źródłem danych w **Bazie Danych** są **dane zasilające** pozyskane na Etapie II badań. Obejmują one:

- **Zestaw danych zasilających bazę danych I** – zostanie przygotowany na podstawie analizy uwarunkowań mikro i makrootoczenia, mającej istotny wpływ na rozwój szeroko rozumianego transportu intermodalnego i biznesu operatorów prowadzących działalność w jego obszarze. Uwarunkowania mikro i makrootoczenia stanowią m.in. czynniki techniczne, środowiskowe, kulturowe, ekonomiczne, popytowe i podażowe. Posłużą one m.in. do wyznaczenia lokalizacji terminala intermodalnego na Etapie II, do sprawdzenia czy przeprowadzenie inwestycji terminalowej w danym obszarze ma sens ekonomiczny oraz czy inwestycja będzie wykonalna ze środowiskowego i technicznego punktu widzenia.
 - **Zestaw danych zasilających bazę danych II** – zostanie przygotowany po wyznaczeniu lokalizacji terminali intermodalnych na drodze szczegółowych analiz tych lokalizacji. Zakres omawianych danych będzie tożsamy z Zestawem danych III.
- **Etap I – Identyfikacja regionów poszukiwań dla terminala intermodalnego**

W niniejszym etapie na podstawie **Zestawu danych I** należy zidentyfikować położenie wszystkich terminali intermodalnych na mapie Polski. Następnie konieczne jest określenie ich promienia *zasięgu*⁸. Początek tego promienia zostanie umiejscowiony we współrzędnych geograficznych terminala intermodalnego. Założono, iż jego długość jest funkcją przepustowości danego obiektu. W dalszej kolejności wszystkie zidentyfikowane terminale intermodalne należy nanieść na mapę Polski oraz zilustrować ich oddziaływanie. Na tym etapie powinno się również uwzględnić scenariusz, w którym część z terminali intermodalnych w przyszłości zostanie relokowana w inne miejsce z powodu możliwości wystąpienia konfliktów społecznych. Konflikty te mogą zostać sprowokowane np. przez uciążliwy dla życia okolicznych mieszkańców hałas generowany np. przez samochody. Bardzo często opisana sytuacja ma miejsce, gdy terminal położony jest pośród gęstej zabudowy np. w centrum miasta. Po wykreśleniu z analiz terminali intermodalnych, które w przyszłości powinny zostać

⁸ Zasięg terminala intermodalnego odnosi się do strefy wokół obiektu o określonym promieniu, w której znajdują się klienci korzystający z usług tegoż obiektu z racji jego konkurencyjnej odległości. W rozprawie założono, iż zasięg terminala intermodalnego jest wysoce skorelowany z przepustowością obiektu (promień oddziaływania terminala intermodalnego standardowo szacuje się na około 50 km [8], [81], [88], [217]).

relokowane w inne miejsce stanie się możliwe wyznaczenie regionów poszukiwań (analiza ta umożliwi zweryfikowanie czy nowa lokalizacja terminala intermodalnego znajdzie się poza zasięgiem oddziaływania istniejących obiektów). W tej części analiz należy założyć, iż nie można określić z jakiego terminala intermodalnego korzysta klient zlokalizowany poza wspomnianym zasięgiem oraz z jaką gałęzią transportu realizuje dostawy.

Ostateczne granice regionów poszukiwań w tej części należy dookreślić w sposób ekspercki kierując się m.in. następującymi kryteriami: gęstością sieci dróg i linii kolejowych, charakterem danego regionu (np. rolniczy, usługowy, kulturowo-środowiskowy), punktami charakterystycznymi danego obszaru (np. obszary dużych miast, granice województw), gęstością zaludnienia, poziomem zamożności społeczeństwa w danym obszarze oraz rzeźbą terenu (np. teren wyżynny, nizinny, pojezierza).

- **Etap II – Wyznaczenie lokalizacji dla terminala intermodalnego ze względu na przyjęte kryteria**

Etap II rozpocznie się od wyboru i opisu regionu poszukiwań, który będzie brany w dalszych analizach. Badania na tym etapie przyniosą m.in. odpowiedź na temat miejsc w regionie poszukiwań, w których powinno unikać się lokalizowania terminali intermodalnych. Na podstawie opisu regionu poszukiwań zostanie przygotowany **Zestaw danych zasilających bazę danych I**.

Następnie, z wykorzystaniem **Zestawu danych II**, dla wybranego regionu poszukiwań zostaną wyznaczone lokalizacje terminali intermodalnych przy udziale jednokryterialnych metod wspomaganie decyzji. Na potrzeby pracy przygotowano pięć metod, które zostaną w odpowiedni sposób zaadoptowane do specyfiki problemu rozwiązywanego w dysertacji. Są to:

- A. zmodyfikowana metoda grawitacyjna, dzięki której wyznaczona zostanie lokalizacja o największym potencjale demograficznym. Analizy w tej metodzie przeprowadzone zostaną w dwóch wariantach:
 - dla ludności zamieszkującej wyłącznie miasta,
 - dla ludności zamieszkującej powiaty, w tym miasta i wsie.
- B. metoda klastrowa, dzięki której wyznaczona zostanie lokalizacja o największym potencjale rolniczym,
- C. zmodyfikowana metoda maksymalnego pokrycia, dzięki której wyznaczona zostanie lokalizacja o największym potencjale biznesowym (zakładowo-przemysłowym),

- D. autorska metoda graficzna, dzięki której wyznaczona zostanie najbezpieczniejsza lokalizacja z punktu widzenia kryterium konkurencji,
- E. metoda numeryczna, dzięki której wyznaczona zostanie lokalizacja o największym ruchu pojazdów ciężarowych z naczepą w danym regionie.

Przygotowane metody w większości przypadków pozwolą na wyznaczenie przybliżonych lokalizacji (tj. współrzędnych geograficznych bądź obszaru administracyjnego miast). Fizyczne miejsca dla lokalizacji intermodalnego terminala przeładunkowego należy dookreślić na podstawie zasobów GIS. Zadanie to sprowadza się do znalezienia odpowiedniej wielkości gruntów, na których można by było w przyszłości wybudować terminal intermodalny. Warunkiem koniecznym do lokalizacji terminala na danym terenie powinna być bliska odległość do linii kolejowych, bliska odległość do dróg szybkiego ruchu, wyposażenie w podstawowe media (gaz, ciepło, wodę, energię elektryczną, kanalizację) oraz brak znaczących przeciwwskazań środowiskowych, społecznych i technicznych.

Etap II kończy się opisem szczegółowym wybranych lokalizacji. Na jego podstawie zostanie przygotowany **Zestaw danych zasilających bazę danych II**.

- **Etap III – Opracowanie bazowego rankingu wariantów lokalizacyjnych z uwzględnieniem wielokryterialnej metody wspomaganie decyzji**

Na poziomie Etapu III wszystkie wskazane w poprzednim podrozdziale lokalizacje dla terminali intermodalnych należy poddać ocenie wielokryterialnej. W tym celu konieczne jest poprawne zdefiniowanie zbioru wariantów decyzyjnych oraz zbioru kryteriów, którym należy przypisać wagi ocen. Do oceny wybranych lokalizacji wybrano metodę PROMETHEE II pozwalającą na sporządzenie syntetycznego rankingu alternatyw. Aby metoda mogła w pełni zadziałać, należy dostarczyć jej silnika wartości zmiennych diagnostycznych (**Zestaw danych III**).

- **Etap IV – Opracowanie rankingu wariantów lokalizacyjnych z uwzględnieniem wielokryterialnej metody wspomaganie decyzji i analiz wartości zmiennych diagnostycznych**

Na poziomie Etapu IV należy zweryfikować, w jaki sposób zmieni się ranking wariantów w perspektywie kolejnych lat/dekad. W tym celu konieczne jest przygotowanie prognozy dla poszczególnych wartości zmiennych diagnostycznych (**Zestaw danych IV**). Do algorytmu wybranej metody prognozowania niezbędne będzie pozyskanie danych historycznych dla kryteriów prognozowanych. Jako źródło danych można wykorzystać dane publikowane przez

GUS, GDDKiA⁹ oraz ogólnodostępne strony internetowe zawierające dane archiwalne. Ostatecznie nowy ranking wariantów powstanie na podstawie wartości zmiennych diagnostycznych aktualizowanych o wskaźniki ilustrujące wzrost bądź spadek wybranych wartości zmiennych diagnostycznych w stosunku do wariantu bazowego. W przypadku braku danych historycznych, analizy te można przeprowadzić wykorzystując dane pokrewne (np. liczbę zakładów pracy można prognozować na podstawie wskaźnika przedsiębiorczości obrazującego liczbę zarejestrowanych firm w poszczególnych latach).

- **Etap V – Wybór miejsca lokalizacji terminala przeladunkowego, analiza wyników oraz przygotowanie rekomendacji dla inwestora**

W niniejszym etapie zostanie przeprowadzona analiza związana ze zilustrowaniem różnic pomiędzy wariantami oraz zmian w rankingu wariantów jakie mogą nastąpić w kolejnych latach ze względu na modyfikację wartości zmiennych diagnostycznych. Różnice pomiędzy wariantami zobrazowane zostaną głównie przy pomocy wykresów zawierających dane o wartościach poszczególnych zmiennych diagnostycznych. Zmiany w rankingu wariantów zostaną zaś zilustrowane przy pomocy różnicy w punktach przyznanych każdemu z wariantów.

Celem niniejszego etapu jest przygotowanie wskazówek dla potencjalnego inwestora co do wyboru miejsca pod inwestycję. Wybór lokalizacji dla terminala intermodalnego może bowiem zależeć od wielu czynników, preferencji inwestora i nie jest oczywisty jak wskazują na to chociażby badania CUPTu.

7.2. Identyfikacja elementów składowych modelu oceny lokalizacji dla terminala intermodalnego

Model oceny lokalizacji dla terminala intermodalnego (*MWLTI*) opisany w niniejszej pracy zapisano w postaci czwórki uporządkowanej:

$$MWLTI = \langle RP, JM(rp), ZRW, ZRW'(\tau) \rangle \quad (52)$$

gdzie: *RP* – zbiór regionów poszukiwań, *JM(rp)* – zbiór lokalizacji terminali intermodalnych wyznaczonych jednokryterialnymi metodami wspomaganie decyzji dla *rp* – tego regionu poszukiwań, *ZRW* – zbiór rankingów wariantów wyznaczonych z uwzględnieniem wielokryterialnej metody wspomaganie decyzji, *ZRW'(\tau)* – zbiór rankingów wariantów lokalizacyjnych wyznaczonych dla zaktualizowanych wartości

⁹ Generalna Dyrekcja Krajowych Dróg i Autostrad

zmiennych diagnostycznych w okresie τ , przy wykorzystaniu wybranej metody prognozowania.

Realizacja działań przyjętych w zaproponowanym modelu determinuje m.in.: pozyskanie informacji na temat lokalizacji i granic regionów poszukiwań (**RP**), przygotowanie zbioru metod wspomagających proces decyzyjny w zakresie wyboru lokalizacji dla terminala intermodalnego (**JM(rp)**), wyznaczenie rankingu bazowego przy pomocy wybranej wielokryterialnej metody wspomagania decyzji (**ZRW**), wyznaczenie rankingu wariantów po aktualizacji wartości zmiennych diagnostycznych (**ZRW'(τ)**).

7.3. Procedura określania granic regionów poszukiwań

Przyjęto, iż omawiane w dysertacji regiony poszukiwań tworzą zbiór w postaci:

$$\mathbf{RP} = (rp: rp = \overline{1, RP})$$

gdzie: rp – numer rp – tego regionu poszukiwań.

Na tym etapie nie ma możliwości dokładnego wyznaczenia powierzchni dla pojedynczego regionu poszukiwań, jednak istnieje możliwość graficznego odwzorowania ich sumarycznej powierzchni bazując na dziedzinie zbiorów. Matematycznie, sumaryczną powierzchnię wszystkich regionów poszukiwań (**SPRP**) zapisano w następujący sposób:

$$SPRP = \sum_{rp=1}^{RP} PRP_{rp} = PKR \setminus ZBT \quad (53)$$

gdzie: PKR – powierzchnia kraju, ZBT – zasięg wszystkich terminali w kraju, PRP_{rp} – powierzchnia rp – tego regionu poszukiwań.

Zasięg biznesowy wszystkich terminali zdefiniowano niniejszym wzorem:

$$ZBT = \sum_{u(X_u, Y_u)=1}^{U(X_u, Y_u)} \pi \cdot \left(v_{u(X_u, Y_u)}(\delta) \right)^2 \quad (54)$$

gdzie: $u(X_u, Y_u)$ – numer u – tego terminala intermodalnego o współrzędnych geograficznych (X_u, Y_u) , $v_{u(X_u, Y_u)}(\delta)$ – promień oddziaływania u – tego terminala zależny od jego rocznej przepustowości (δ [$\frac{TEU}{rok}$]), przy czym:

$$u(X_u, Y_u) = (u(X_u, Y_u): u(X_u, Y_u) = \overline{1, U(X_u, Y_u)})$$

7.4. Procedury wyznaczania lokalizacji terminali intermodalnych dla ustalonego regionu

7.4.1. Założenia ogólne procedury

Ze względu na to, iż większość omówionych metod wspomagających wybór lokalizacji ma ograniczone zastosowanie w kontekście transportu kolejowego jak również transportu intermodalnego zbiór **lokalizacji terminali** wyznaczony zostanie przy udziale przygotowanych na potrzeby pracy pięciu metod jednokryterialnych. Ich współrzędne geograficzne tworzą zbiór $JM(rp)$:

$$JM(rp) = \{L_{rp}^1(X_{LOK/M}^{Zrew}(rp), Y_{LOK/M}^{Zrew}(rp)), L_{rp}^2(X_{LOK/P}^{Zrew}(rp), Y_{LOK/P}^{Zrew}(rp)), \\ L_{rp}^3(X_{LOK/K}(rp), Y_{LOK/K}(rp)), L_{rp}^4(X_{LOK/Z}(rp), Y_{LOK/Z}(rp)), \\ L_{rp}^5(X_{LOK/G}(rp), Y_{LOK/G}(rp)), L_{rp}^6(X_{LOK/N}(rp), Y_{LOK/N}(rp))\} \quad (55)$$

gdzie: $L_{rp}^1(X_{LOK/M}^{Zrew}(rp), Y_{LOK/M}^{Zrew}(rp))$ – lokalizacja terminala wyznaczona zmodyfikowaną metodą grawitacyjną dla potencjału miejskiego w rp – tym regionie poszukiwań, $L_{rp}^2(X_{LOK/P}^{Zrew}(rp), Y_{LOK/P}^{Zrew}(rp))$ – lokalizacja terminala wyznaczona zmodyfikowaną metodą grawitacyjną dla potencjału miejskiego i wiejskiego w rp – tym regionie poszukiwań, $L_{rp}^3(X_{LOK/K}(rp), Y_{LOK/K}(rp))$ – lokalizacja terminala wyznaczona metodą klastrową w rp – tym regionie poszukiwań, $L_{rp}^4(X_{LOK/Z}(rp), Y_{LOK/Z}(rp))$ – lokalizacja terminala wyznaczona zmodyfikowaną metodą pokrycia dla potencjału biznesowego w rp – tym regionie poszukiwań, $L_{rp}^5(X_{LOK/G}(rp), Y_{LOK/G}(rp))$ – lokalizacja terminala wyznaczona metodą graficzną w rp – tym regionie poszukiwań, $L_{rp}^6(X_{LOK/N}(rp), Y_{LOK/N}(rp))$ – lokalizacja terminala wyznaczona metodą numeryczną dla kryterium obsługi największego potoku ruchu pojazdów ciężarowych w rp – tym regionie poszukiwań.

7.4.2. Lokalizacja wyznaczania terminali zmodyfikowaną metodą grawitacyjną

W niniejszej metodzie terminal zlokalizowany zostanie w miejscu zapewniającym najkorzystniejszą obsługę ludności zamieszkującej region poszukiwań. Badania zmodyfikowaną metodą grawitacyjną prowadzone będą przy wykorzystaniu algorytmu stosowanego w tradycyjnej metodzie grawitacyjnej. W stosunku do tradycyjnej metody należy dokonać pewnych uproszczeń. W analizach nie uwzględniane będą m.in. jednostkowe koszty transportu, które w przypadku dostaw drogowych realizowanych „na ostatniej mili” z terminala nie przyjmują charakteru jednostkowego. Koszty te w przeciwieństwie do klasycznych przewozów drogowych przyjmują charakter strefowy.

Lokalizacje terminali intermodalnych wyznaczone przy użyciu zmodyfikowanej metody grawitacyjnej, dla:

- **miejskiego potencjału demograficznego – Wariant I**

Miasta to jednostki osadnicze charakteryzujące się dużą intensywnością zabudowy i niewielką powierzchnią rolną. Mieszkańcy miast zwykle zajmują się działalnością pozarolniczą. Ze względu na pełnione funkcje, można wyróżnić miasta o funkcji: uzdrowskiej – miasta z ośrodkami wypoczynkowo-rehabilitacyjnymi, religijnej – miasta istotne z punktu widzenia kultu religijnego, usługowej – miasta, w którym znajdują się m.in. szpitale, szkoły, sklepy itd., przemysłowej – miasta z zakładami przemysłu ciężkiego bądź lekkiego, transportowej – miasta portowe, z magistralą kolejową lub lotniskiem międzynarodowym.

Niezależnie od pełnionej funkcji miasta muszą być nieprzerwanie zaopatrywane w dużą ilość dóbr konsumpcyjnych. W miarę wzrostu poziomu urbanizacji – wokół nich powstają centra logistyczne, z których korzystają sklepy małe, średnio i wielkopowierzchniowe. W omawianych sklepach na co dzień zaopatruje się miejscowa ludność oraz mieszkańcy okolicznych wsi. Z drugiej strony miasta przyciągają do siebie kapitał. Na ich obrzeżach powstają fabryki, które wymagają zaopatrzenia w surowce produkcyjne. Z biegiem czasu firmy rozwijają się, zatrudniają coraz więcej ludzi oraz zaczynają produkować większą ilość dóbr materialnych. Wraz ze wzrostem produkcji rośnie zapotrzebowanie na usługi transportowe. Na tej podstawie stwierdzono, iż terminal intermodalny prawdopodobnie będzie się najszybciej rozwijał, jeśli znajdzie się w punkcie geograficznym, z którego możliwe będzie zapewnienie najszybszej obsługi możliwie największej liczbie ludności miast w regionie.

Badania lokalizacyjne dla miejskiego potencjału demograficznego należy poprzedzić zidentyfikowaniem wszystkich miast w obszarze poszukiwań. Po identyfikacji nazw jednostek w regionie należy przypisać im współrzędne geograficzne, a następnie, na podstawie danych GUS odczytać ich liczbę mieszkańców. Lokalizację terminala intermodalnego $L^1(X_{LOK/M}^{Zrew}(rp), Y_{LOK/M}^{Zrew}(rp))$ w tej metodzie wyznacza się z poniższych zależności:

$$\begin{aligned}
 X_{LOK/M}^{Zrew}(rp) &= \frac{\sum_{ic(rp)=1}^{IC(rp)} X_{ic(rp)}^{MS} \cdot L_{ic(rp)}^{MS}}{\sum_{ic(rp)=1}^{IC(rp)} L_{ic(rp)}^{MS}}; \\
 Y_{LOK/M}^{Zrew}(rp) &= \frac{\sum_{ic(rp)=1}^{IC(rp)} Y_{ic(rp)}^{MS} \cdot L_{ic(rp)}^{MS}}{\sum_{ic(rp)=1}^{IC(rp)} L_{ic(rp)}^{MS}}
 \end{aligned}
 \tag{56}$$

gdzie: $X_{ic(rp)}^{MS}$ – współrzędna długości geograficznej *ic* – tego miasta w *rp* – tym regionie, $Y_{ic(rp)}^{MS}$ – współrzędna szerokości geograficznej *ic* – tego miasta w *rp* – tym regionie, $L_{ic(rp)}^{MS}$ – liczba ludności zamieszkująca *ic* – te miasto w *rp* – tym regionie. Miasta analizowanego regionu tworzą zbiór postaci: $IC(rp) = \{ic(rp): ic(rp) = \overline{1, IC(rp)}\}$.

- **miejsko-wiejskiego potencjału demograficznego – Wariant II**

Według danych GUS w 2021 ok. 40% ludności Polski mieszkało na wsiach. Istnieje zatem potrzeba, aby w badaniach uwzględnić liczbę ludności wiejskiej. Niestety w przypadku wsi, których w Polsce jest około 43 tys. trudno będzie każdej miejscowości z osobna przypisać współrzędne geograficzne. Dlatego niniejszy wariant poddano uproszczeniu. Poszukiwanie lokalizacji niniejszą metodą polegać będzie na zidentyfikowaniu wszystkich powiatów znajdujących się w regionie oraz określeniu ich liczby mieszkańców. Populację ludności wiejskiej zamieszkującą wybrany powiat należy przypisać do miasta powiatowego. Ludność miejską należy uwzględnić w analizach analogicznie jak w poprzednim wariantcie omawianej metody. Ostatecznie po ustaleniu liczby ludności wiejskiej nowa lokalizacja terminala intermodalnego $L_{rp}^2(X_{LOK/P}^{Zrew}(rp), Y_{LOK/P}^{Zrew}(rp))$ wyznaczona zostanie z poniższej zależności:

$$X_{LOK/P}^{Zrew}(rp) = \frac{\sum_{ic(rp)=1}^{IC(rp)} X_{ic(rp)}^{MS} \cdot L_{ic(rp)}^{MS} + \sum_{pc(rp)=1}^{PC(rp)} X_{pc(rp)}^{POW} \cdot L_{pc(rp)}^{WSI}}{\sum_{pc=1}^{PC} L_{pc(rp)}^{POW}} \quad (57)$$

$$Y_{LOK/P}^{Zrew}(rp) = \frac{\sum_{ic(rp)=1}^{IC(rp)} Y_{ic(rp)}^{MS} \cdot L_{ic(rp)}^{MS} + \sum_{pc=1}^{PC} Y_{pc(rp)}^{POW} \cdot L_{pc(rp)}^{WSI}}{\sum_{pc=1}^{PC} L_{pc(rp)}^{POW}}$$

gdzie: $X_{pc(rp)}^{POW}$ – współrzędna długości geograficznej centrum *pc* – tego miasta powiatowego w *rp* – tym regionie (numer miasta powiatowego jest tożsamy z numerem powiatu, gdyż na jeden powiat przypada tylko jedno miasto powiatowe), $Y_{pc(rp)}^{POW}$ – współrzędna szerokości geograficznej centrum *pc* – tego miasta powiatowego w *rp* – tym regionie, $L_{pc(rp)}^{WSI}$ – liczba ludności wiejskiej zamieszkująca *pc* – ty powiat w *rp* – tym regionie, przy czym:

$$L_{pc(rp)}^{WSI} = L_{pc(rp)}^{POW} - \sum_{ic(pc,rp)}^{IC(pc,rp)} L_{ic(pc,rp)}^{MS} [\text{mieszkańców wsi}] \quad (58)$$

gdzie: $L_{pc(rp)}^{POW}$ – liczba mieszkańców zamieszkująca *pc* – ty powiat w *rp* – tym regionie, $L_{ic(pc,rp)}^{MS}$ – liczba mieszkańców zamieszkująca *ic* – te miasto, w *pc* – tym powiecie, *rp* –

tego regionu, $PC(rp) = \{pc(rp): pc(rp) = \overline{1, PC(rp)}\}$ – zbiór *pc* – tych powiatów w *rp* – tym regionie, $IC(pc, rp) = \{ic(pc, rp): ic(pc, rp) = \overline{1, IC(pc, rp)}\}$ – zbiór *ic* – tych miast wchodzących w skład *pc* – *tego* powiatu, *rp* – *tego* regionu, przy czym: *ic*(*pc*, *rp*) – *ic* – *te* miasto leżące w obrębie *pc* – *tego* powiatu, *rp* – *tego* regionu.

Ze względu na ograniczone metody, koordynaty terminala intermodalnego muszą zostać dookreślone metodą ekspercką.

7.4.3. Lokalizacja wyznaczania terminali metodą klastrową

Biorąc pod uwagę postępujący proces konteneryzacji produktów rolnych tj. zboże, owoce, ziemniaki zasadne jest, aby jedna z lokalizacji wyznaczona została w powiecie należącym do klastra o największym potencjale rolniczym. W celu wyznaczenia lokalizacji terminala metodą klastrową należy wykonać następujące kroki:

Krok 1: Zdefiniowanie klastra rolnego

W omawianym przypadku klastrów to obszar składający z terytorium powiatu o bardzo dużej powierzchni użytków rolnych i terytorium użytków rolnych innych powiatów bezpośrednio z nim sąsiadujących. Przyjęto:

$SM(rp) = \{sm(rp): sm(rp) = \overline{1, SM(rp)}\}$ – zbiór *sm* – tych klastrów w *rp* – tym regionie wyznaczonych ze względu na powierzchnię użytków rolnych, $PC(sm, rp) = \{pc(sm, rp): pc(sm, rp) = \overline{1, PC(sm, rp)}\}$ – zbiór *pc* – tych powiatów wchodzących w skład *sm* – *tego* klastra, w *rp* – tym regionie, przy czym: *pc*(*sm*, *rp*) – jest *pc* – tym powiatem składającym się na *sm* – *ty* klastr, w *rp* – tym regionie.

- **Krok 2:** Wyznaczenie sumy użytków rolnych w klastrze

Powierzchnię użytków rolnych w *pc* – tych powiatach, wchodzących w skład *sm* – *tego* klastra, w *rp* – tym regionie ($PUZ_{pc(sm, rp)}$) wyznaczono z poniższej zależności:

$$PUZ_{pc(sm, rp)} = \sum_{pc(sm, rp)=1}^{PC(sm, rp)} \omega_{pc(sm, rp)} [ha] \quad (59)$$

gdzie: $\omega_{pc(sm, rp)}$ – powierzchnia użytków rolnych *pc* – *tego* powiatu, które tworzy *sm* – *ty* klastr w *rp* – tym regionie.

Krok 3: Wyznaczenie klastra o największej powierzchni użytków rolnych

Numer klastra o największej powierzchni użytków rolnych w *rp* – tym regionie zostanie wyznaczony zgodnie z poniższym wzorem:

$$sm(rp)^* = \max_{pc(sm,rp) \in PC(sm,rp)} \{PUZ_{pc(sm,rp)}\} \quad (60)$$

Krok 4: Wyznaczenie lokalizacji terminala intermodalnego

Lokalizację terminala intermodalnego wyznaczono w $pc(rp)$ – tym powiecie $sm(rp)$ – tego klastra o największej powierzchni użytków rolnych wyłoniono zgodnie z poniższym wzorem:

$$pc(rp)^* = sm(rp)^* \quad (61)$$

W metodzie grunty pod budowę terminala intermodalnego należy wskazać metodą ekspercką. Ich koordynaty zostaną oznaczone jako $L_{rp}^3(X_{LOK/K}(rp), Y_{LOK/K}(rp))$.

7.4.4. Lokalizacja wyznaczania terminali zmodyfikowaną metodą pokrycia dla potencjału biznesowego

Strategia lokalizowania terminala intermodalnego powinna uwzględniać położenie zakładów pracy generujących popyt na przewozy intermodalne bądź położenie przedsiębiorstw, które w przyszłości mogą zdecydować się na konteneryzację swoich ładunków. Takimi zakładami pracy są m.in. fabryki przemysłowe, magazyny oraz centra logistyczne.

Na potrzeby badań niniejszą metodą należy zidentyfikować wszystkie przedsiębiorstwa w regionie, które potencjalnie mogłyby być zainteresowane usługami świadczonymi przez terminal intermodalny. Z analiz należy wykluczyć:

- detaliczne sieci handlowe, do których realizacja dostaw odbywa się z centrów dystrybucyjnych,
- zakłady pracy, które posiadają znikomy potencjał na konteneryzację ładunków (ciepłownie, oczyszczalnie ścieków, elektrownie, szpitale itp.),
- zakłady pracy potencjalnie mogące realizować kolejowo-drogowe dostawy, ale ich skala działalności jest mało istotna.

Zidentyfikowane zakłady należy sklasyfikować według następujących kryteriów:

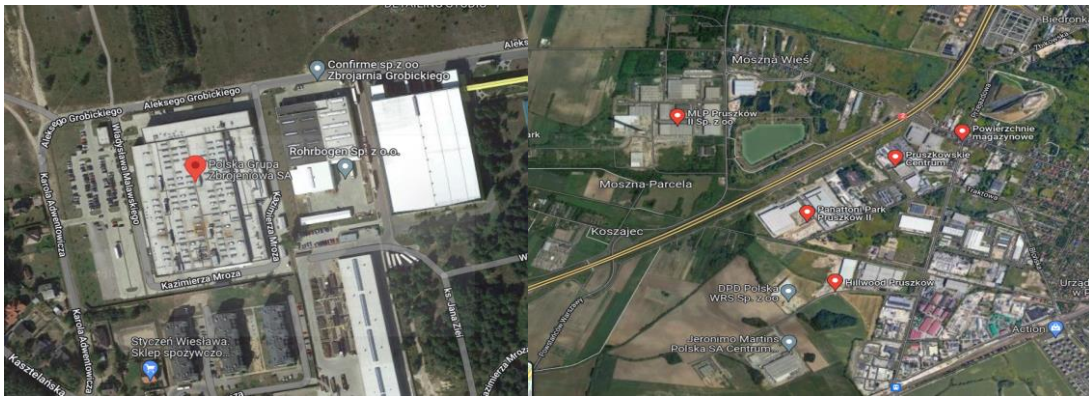
- Małe (MAL) – zakład pracy o niewielkiej skali działalności (np. mała fabryka o zatrudniająca nie więcej niż kilka- kilkadziesiąt osób). Przykład takiego zakładu pracy ilustruje Rysunek 33.
- Średnie (SRE) – zakład pracy średniej wielkości (np. pojedyncza fabryka o dużej powierzchni, zatrudniająca do 100-250 osób). Przykład takiego zakładu pracy ilustruje – Rysunek 33.



Rysunek 33 Przykład małego zakładu pracy (Fruit Family w Aleksandrówce) (1) Przykład zakładu pracy średniej wielkości (AgraFoods w Lesznie) (2)

Źródło: www.googlemaps.com

- Duże (DUZ) – pojedynczy zakład pracy o znaczącej skali działalności (np. fabryka z własnym zapleczem logistycznym lub park logistyczny o dużej powierzchni zatrudniającej 250-500 osób). Przykład takiego zakładu pracy obrazuje – Rysunek 34.
- Bardzo Duże (BD) – zakład pracy o bardzo dużej skali działalności (np. fabryka posiadająca własne zaplecze logistyczne, zatrudniająca ponad 500 osób lub park logistyczny skupiający kilka magazynów lub firm o dużej powierzchni). Przykład takiego zakładu pracy obrazuje ilustruje – Rysunek 34.



Rysunek 34 Przykład zakładu dużej wielkości (PGZ w Radomiu) (1), Przykład zakładu pracy bardzo dużej wielkości (Park logistyczny Pruszków) (2)

Źródło: www.googlemaps.com

Poszczególnym zakładom pracy należy przypisać potencjał wolumenowy jaki teoretycznie mogą generować oraz współrzędne geograficzne miejscowości, w których się znajdują. Potencjał wolumenowy powinien odnosić się do liczby dostaw całopojazdowych (FTL)/całokontenerowych (FCL), które szacunkowo mogą być realizowane do danego przedsiębiorstwa w przeciągu np. tygodnia.

Lokalizację terminala intermodalnego w niniejszej metodzie należy wyznaczyć odpowiednio modyfikując metodę maksymalnego pokrycia. W niniejszej pracy, metoda ta składa się z kilku kroków:

Krok 1: Zidentyfikowanie wszystkich zakładów produkcyjnych w regionie poszukiwań oraz przypisanie im numerów porządkowych. Przyjęto:

$NH(rp) = \{nh(rp): nh(rp) = \overline{1, NH(rp)}\}$ – zbiór zakładów pracy generujących popyt na przewozy intermodalne w rp – tym regionie. Współrzędne geograficzne nh – tego zakładu pracy w rp – tym regionie przyjmują postać $(X_{nh(rp)}^Z, Y_{nh(rp)}^Z)$.

Krok 2: Zgodnie z algorytmem metody maksymalnego pokrycia należy zaproponować kilka potencjalnych lokalizacji dla terminali. Przyjęto:

$PZ(rp) = \{pz(rp): pz(rp) = \overline{1, PZ(rp)}\}$ – zbiór węzłów traktowanych jako potencjalne lokalizacje terminali intermodalnych w rp – tym regionie. Współrzędne geograficzne pz – tej potencjalnej lokalizacji terminala intermodalnego w rp – tym regionie przyjmują postać $(X_{pz(rp)}^0, Y_{pz(rp)}^0)$.

Krok 3: Określenie popytu jaki może generować zakład pracy w danym regionie. Przyjęto: $L_{nh(rp)}^Z$ – popyt generowany przez nh – ty zakład pracy zlokalizowany w rp – tym regionie w zależności od wielkości zakładu pracy (MAL, SRE, DUZ, BD).

Krok 4: Sprawdzenie jak duży potencjał wolumenowy ($PH_{pz(rp)}$) generuje pz – ta lokalizacja w rp – tym regionie. Do tego celu należy wykorzystać następującą zależność:

$$PH_{pz(rp)} = \sum_{nh(rp)=1}^{NH(rp)} TH_{nh(rp)}^{pz(rp)} \cdot L_{nh(rp)}^Z \left[\frac{\text{dostaw}}{\text{tydzień}} \right] \quad (62)$$

przy czym należy zweryfikować czy $nh(rp)$ – ty zakład pracy leży w obrębie oddziaływania $pz(rp)$ – tej lokalizacji. Do tego celu należy wykorzystać wzór na fizyczną odległość dwóch punktów na Ziemi. Formalnie można go zapisać w poniższej postaci:

$$TH_{nh(rp)}^{pz(rp)} = \begin{cases} 1 - \text{jeżeli} & \sqrt{\left(X_{nh(rp)}^Z - X_{pz(rp)}^0 \right)^2 + \left(\cos \left(\frac{X_{pz(rp)}^0 \cdot \pi}{180} \right) \cdot \left(Y_{nh(rp)}^Z - Y_{pz(rp)}^0 \right) \right)^2} \cdot \frac{40075,7}{360} \leq FH \\ 0 - \text{w przeciwnym razie} & \end{cases} \quad (63)$$

gdzie: FH – promień zasięgu terminala (wartość *constans*).

Krok 5: Wyznaczanie numeru lokalizacji, w której powinno zostać rozważone wybudowanie terminala. Przyjęto, że terminal znajduje się w $pz(rp)$ – tej lokalizacji, dla której zachodzi niniejsza zależność:

$$pz(rp)^* = \max_{pz(rp) \in PZ(rp)} PH_{pz(rp)} \quad (64)$$

W metodzie grunty pod budowę terminala intermodalnego należy wskazać metodą ekspercką. Na potrzeby pracy współrzędne wyznaczonej lokalizacji oznaczono jako $L_{rp}^4(X_{LOK/Z}(rp), Y_{LOK/Z}(rp))$.

7.4.5. Lokalizacja wyznaczania terminali metodą graficzną

Wyznaczenie lokalizacji terminala metoda graficzną wymaga realizacji następujących kroków:

Krok 1: Zidentyfikowanie zasięgu terminali intermodalnych bezpośrednio sąsiadujących z regionem poszukiwań lub znajdujących się na jego terenie.

W niniejszym przypadku można skorzystać z wniosków zawartych w Etapie I metody. Na potrzeby badań przyjęto, iż zasięg terminala intermodalnego będzie wynosił ZBT .

Krok 2: Określenie zasięgu $ZBTN(uz, rp)$ nowego $uz - tego$ terminala intermodalnego planowanego w $rp - tym$ regionie. Zasięg dla tak zdefiniowanego terminala opisany jest zależnością:

$$ZBTN(uz, rp) = \pi \cdot (v_{uz(X_{uz}, Y_{uz})}^{rp})^2 \quad (65)$$

gdzie: $v_{uz(X_{uz}, Y_{uz})}^{rp}$ – promień oddziaływania nowego $uz - tego$ terminala intermodalnego lokalizowanego w $rp - tym$ regionie poszukiwań, o współrzędnych (X_{uz}, Y_{uz}) . Przy czym: $UZ = \{uz: uz = \overline{1, UZ}\}$ – zbiór zaproponowanych lokalizacji terminali intermodalnych w metodzie graficznej.

Krok 3: Wyznaczenie obszaru znajdującego się poza regionem poszukiwań ($PZRG$). Obszar ten należy określić na podstawie poniższej zależności:

$$PZRG = PKR \setminus PRP(rp) \quad (66)$$

gdzie: $PRP(rp)$ – powierzchnia $rp - tego$ regionu poszukiwań określona w Etapie I metody.

Krok 4: Zidentyfikowanie na mapie lokalizacji dla terminala intermodalnego, gdzie część wspólna powyższych zbiorów przyjmuje *minimum*.

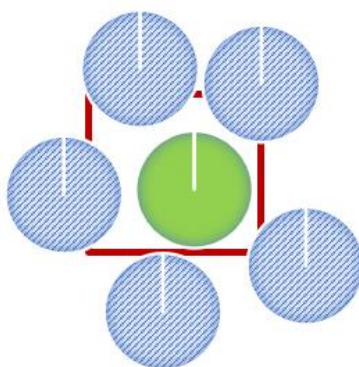
$$\bigvee_{uz \in UZ} \{ZBT \cap ZBTN(uz, rp) \cap PZRG\} \rightarrow \min \quad (67)$$

Niniejszą metodą można wyznaczyć kilka lokalizacji dla terminali intermodalnych, jednak każda kolejna lokalizacja ($uz + 1$) powinna spełniać co najmniej jeden dodatkowy warunek:

$$ZBTN(uz, rp) \cap ZBTN(uz + 1, rp) = \emptyset \quad (68)$$

W praktyce wyznaczanie nowej lokalizacji dla terminala intermodalnego metodą graficzną będzie polegało na: utworzeniu okręgu o promieniu $v_{uz(x_{uz}, y_{uz})}^{rp}$ ilustrującego zasięg nowego terminala intermodalnego, umieszczeniu jego środka na przebiegu wybranej linii kolejowej i *przesuwaniu go*, aż do chwili wyjścia poza inne okręgi, które ilustrują zasięg istniejących obiektów. W trakcie przesuwania okręgu należy kierować się tym, aby nowy terminal intermodalny znalazł się w racjonalnym położeniu np. w pobliżu większego miasta. Do znalezienia lokalizacji terminala intermodalnego niniejszą metodą będzie potrzebny program graficzny, do którego można zaimportować ortofotomapę.

Sposób poszukiwania lokalizacji dla terminala intermodalnego metodą graficzną przedstawia Rysunek 35 (czerwone linie obrazują powierzchnię regionu poszukiwań, niebieskie okręgi zasięg istniejących terminali, zielony okrąg – zasięg nowego obiektu).



Rysunek 35 Sposób wyznaczania lokalizacji terminala intermodalnego metodą graficzną
Źródło: opracowanie własne

Współrzędne nowej lokalizacji terminala intermodalnego w metodzie graficznej zostaną oznaczone jako $L_{rp}^5(X_{LOK/G}(rp), X_{LOK/G}(rp))$. W tej metodzie, decydent samodzielnie dokonuje wyboru gruntów dla budowy obiektu w trakcie realizowania algorytmu.

7.4.6. Lokalizacja wyznaczania terminali metodą numeryczną dla kryterium obsługi największego potoku ruchu pojazdów ciężarowych

W procedurze lokalizowania terminala intermodalnego metodą numeryczną dla kryterium obsługi największego potoku ruchu pojazdów ciężarowych należy przeprowadzić analizę wartości mierzalnych średniodobowego natężenia ruchu pojazdów ciężarowych w głównych

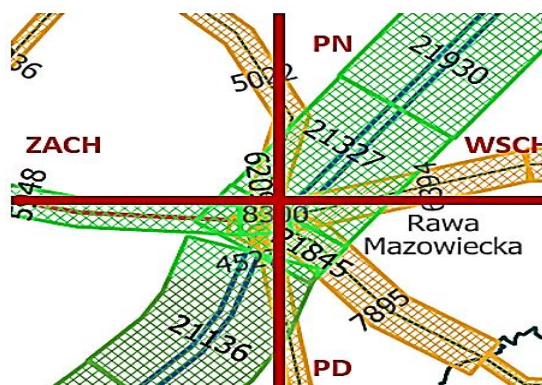
węzłach leżących w granicach administracyjnych obszaru poszukiwań. Przyjęto, iż najlepszym miejscem na lokalizację terminala będzie obszar, w którym znajduje się węzeł drogowy, przez który przemieszcza się najwięcej pojazdów ciężarowych z przyczepą. Według danych GDDKiA samochody ciężarowe z przyczepą są to pojazdy o DMC równej 40 ton. Są to zatem pojazdy, które posiadają największy potencjał na przełożenie międzygałęziowe ładunków z tzw. drogi na tory.

W badaniach zostaną użyte dane GPR (Generalnego Pomiaru Ruchu) przygotowane przez GDDKiA na przełomie lat 2021/2022. Prowadzony okresowo GPR pozwala na uzyskanie najistotniejszych parametrów oraz charakterystyk ruchu drogowego dla odcinków dróg krajowych i wojewódzkich, które objęto pomiarem. Dane GPR zawarto w tabelach oraz mapach i są dostępnych na stronie GDDKiA. Na mapach zilustrowano oraz opisano średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na ww. drogach. Tabele natomiast zawierają oznaczenia i opis poszczególnych odcinków dróg, na których dokonywano pomiaru. Dodatkowo identyfikują strukturę rodzajową pojazdów silnikowych przemieszczających się po poszczególnych odcinkach.

Metoda numeryczna składa się z kilku kroków:

Krok 1: Identyfikacja największych węzłów drogowych znajdujących się w danych powiatach, zestawienie ich w formie tabelarycznej i przypisanie im nazw jednostek administracyjnych, w których się znajdują. Zbiór węzłów drogowych pc – tego powiatu w rp – tym regionie zapisano jako: $TO(pc, rp) = \{to(pc, rp): to(pc, rp) = \overline{1, TO(pc, rp)}\}$.

Krok 2: Podział węzłów na cztery części oraz zakwalifikowanie poszczególnych odcinków dróg do kierunku północnego, południowego, wschodniego i zachodniego – Rysunek 36.



Rysunek 36 Podział węzła drogowego na kierunku

Źródło: opracowanie własne

Krok 3: Odczyt z tabeli natężenia ruchu pojazdów ciężarowych z naczepą na poszczególnych odcinkach dróg (przykład Rysunek 37).

| Opis odcinka Nazwa | SDRR poj. silnik. ogółem | Rodzajowa struktura ruchu pojazdów silnikowy | | | | |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|----------------|-----------|
| | | Motocykle | Sam. osob. mikrobusy | Lekkie sam. ciężarowe (dostawcze) | Sam. ciężarowe | |
| | | | | | bez przycz. | z przycz. |
| poj./dobę | poj./dobę | poj./dobę | poj./dobę | poj./dobę | poj./dobę | |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| BRZEZINY /PRZEJŚCIE: GR. MIASTA - UL. SIENKIEWICZA (DK72)/ | 4835 | 56 | 4171 | 364 | 133 | 101 |
| ŚLADÓW /DW575/ - SOCHACZEW /DW580/ | 4382 | 55 | 3883 | 240 | 85 | 89 |
| SOCHACZEW /PRZEJŚCIE 1: UL. CHOPINA (DW580) - UL. WARSZAWSKA/ | 11289 | 96 | 10400 | 434 | 107 | 132 |
| SOCHACZEW /PRZEJŚCIE 2: UL. WARSZAWSKA - DK92/ | 11858 | 105 | 10872 | 572 | 98 | 107 |
| SOCHACZEW /DK50/ - GR. WOJ | 5881 | 53 | 5061 | 429 | 108 | 190 |
| GR. WOJ. - SKIERNIEWICE | 3609 | 25 | 2946 | 359 | 112 | 138 |
| SKIERNIEWICE - JEŻÓW /DK72/ | 2836 | 28 | 2307 | 296 | 81 | 102 |
| SKIERNIEWICE - RAWA MAZ. /DK72/ | 5022 | 32 | 3904 | 558 | 143 | 341 |

Rysunek 37 Sposób odczytu danych z tabeli GPR

Źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli GDDKiA

Krok 4: Wyznaczenie z poniższej zależności uśrednionej liczby pojazdów ciężarowych dziennie przejeżdżających przez $to - ty$ węzeł znajdujący się w $pc - tym$ powiecie $rp - tego$ regionu:

$$MB_{sr}^{to(pc,rp)} = \frac{\sum_{g \in G} MB_g^{to(pc,rp)} - \sum_{g \in G} CW_g^{to(pc,rp)}}{G} \cdot \theta F \left[\frac{\text{poj. cięż.}}{\text{dobę}} \right] \quad (69)$$

gdzie: G – liczba kierunków geograficznych, $G = \{g: g = \overline{1, G}\}$, przyjęto $G = 4$, θF – liczba możliwych kombinacji, w których mogą poruszać się pojazdy ciężarowe (przyjęto 2: wschód-zachód oraz północ-południe), $MB_{sr}^{to(pc,rp)}$ – średniodobowa liczba pojazdów ciężarowych wchodząca do $to - tego$ węzła w $pc - tym$ powiecie $rp - tego$ regionu z kierunku o numerze g , $CW_g^{to(pc,rp)}$ – część wspólna samochodów ciężarowych, które przecinają $to - ty$ węzeł z $g - tego$ kierunku w $pc - tym$ powiecie $rp - tego$ regionu (wartość empiryczna liczona dla węzłów drogowych mających choć jedno wspólne połączenie drogowe na kierunku północ-południe lub wschód-zachód), przy czym:

$$g = \begin{cases} 1 - \text{północ} \\ 2 - \text{południe} \\ 3 - \text{wschód} \\ 4 - \text{zachód} \end{cases}$$

Krok 5: Wyznaczenie docelowej lokalizacji terminala intermodalnego w powiecie, przez który dziennie porusza się największa liczba pojazdów ciężarowych.

$$pc^* = \max_{to(pc,rp) \in TO(pc,rp)} \{MB_{sr}^{to(pc,rp)}\} \quad (70)$$

Współrzędne lokalizacji terminala wyznaczonego metodą numeryczną oznaczono jako $L_{rp}^6(X_{LOK/N}(rp), Y_{LOK/N}(rp))$. W przypadku, gdyby współrzędne geograficzne nowego terminala intermodalnego wskazanego metodą numeryczną znalazły się obok węzła nie posiadającego dostępu do linii kolejowej rekomenduje się sprawdzenie możliwości implementacji terminala w kolejnym co do wielkości węźle.

7.5. Opis modelu wyznaczania rankingu lokalizacji dla terminali intermodalnych

7.5.1. Wyznaczenie bazowego rankingu wariantu

Do przygotowania bazowego rankingu wariantów zostanie wykorzystanie metoda PROMETHEE II, która wymaga zidentyfikowania i opisanie czterech parametrów. Parametry tworzą czwórkę uporządkowaną w postaci:

$$ZRW = \langle W, M, WO, MWD \rangle \quad (71)$$

Przy czym: **W** – zbiór wariantów lokalizacyjnych, **M** – zbiór kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów, **WO** – zbiór ocen wariantów lokalizacyjnych, MWD – metoda PROMETHEE II.

Zbiór wariantów lokalizacji terminali intermodalnych ma postać: $W = \{w: w = \overline{1, M}\}$, przy czym zgodnie z zapisami w podrozdziale 7.4:

- $w = 1$ przyjmuje interpretację lokalizacji: $L_{rp}^1(X_{LOK/M}^{Zrew}(rp), Y_{LOK/M}^{Zrew}(rp))$;
- $w = 2$ przyjmuje interpretację lokalizacji: $L_{rp}^2(X_{LOK/P}^{Zrew}(rp), Y_{LOK/P}^{Zrew}(rp))$;
- $w = 3$ przyjmuje interpretację lokalizacji: $L_{rp}^3(X_{LOK/K}(rp), Y_{LOK/K}(rp))$;
- $w = 4$ przyjmuje interpretację lokalizacji: $L_{rp}^4(X_{LOK/Z}(rp), Y_{LOK/Z}(rp))$;
- $w = 5$ przyjmuje interpretację lokalizacji: $L_{rp}^5(X_{LOK/G}(rp), Y_{LOK/G}(rp))$;
- $w = 6$ przyjmuje interpretację lokalizacji: $L_{rp}^6(X_{LOK/N}(rp), Y_{LOK/N}(rp))$.

Zbiór kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów ma postać: $M = \{m: m = \overline{1, M}\}$. Ponadto każdemu kryterium o numerze m przypisane są wagi ocen c_m , przy czym:

$$c_m \geq 0 \wedge c_m \leq 10, \quad m = 1, \dots, M \quad (72)$$

oraz:

$$\sum_{m \in M} c_m = 10$$

Zbiór ocen wariantów lokalizacyjnych ma postać:

$$WO = \{w_{O_w(m)} : w_{O_w(m)} \in \mathcal{R}^+, w \in \mathbf{W}, m \in \mathbf{M}\}$$

MWD oznacza, że do pozyskania bazowego rankingu wariantów lokalizacji należy zaimplementować algorytm metody PROMETHEE II opisany w rozdziale 5.2.

7.5.2. Wyznaczenie zaktualizowanych rankingów wariantów

Przygotowanie zaktualizowanego rankingu wariantów metodą PROMETHEE II wymaga zidentyfikowania i opisanego ośmiu parametrów. Parametry tworzą uporządkowaną ósemkę w postaci:

$$\mathbf{ZRW}'(\tau) = \langle \mathbf{W}, \mathbf{MN}, \mathbf{MAB}, \mathbf{MAZ}, \mathbf{WN}, \mathbf{WAB}, \mathbf{WAZ}, \text{MWD} \rangle \quad (73)$$

przy czym: **MN** – zbiór kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów niepodlegających aktualizacji, **MAB** – zbiór kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów aktualizowanych bez wskaźnika wzrostu/spadku (zwanym w pracy wskaźnikiem wzrostu), **MAZ** – zbiór kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów aktualizowanych ze wskaźnikiem wzrostu, **WN** – zbiór ocen wariantów dla kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów niepodlegających aktualizacji, **WAB** – zbiór ocen wariantów dla kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów aktualizowanych bez wskaźnika wzrostu, **WAZ** – zbiór ocen wariantów dla kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów aktualizowanych ze wskaźnikiem wzrostu, pozostałe oznaczenia jak w podrozdziale 7.5.1.

Na podstawie wcześniejszych ustaleń przeprowadzonych w podrozdziale 7.5.2 w zakresie ustalenia kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów oraz przyjętych założeń o kryteriach aktualizowanych i nieaktualizowanych wykorzystywanych przy wyznaczaniu zaktualizowanego rankingu wariantów, konieczne jest zdefiniowanie odpowiednich zbiorów kryteriów.

Zakłada się następujące postaci zbiorów:

- zbiór kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów niepodlegających aktualizacji, ma postać: $\mathbf{MN} = \{mn(m) : mn(m) \in \mathbf{M}\}$,
- zbiór kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów aktualizowanych bez wskaźnika wzrostu/spadku (zwanym dalej wskaźnikiem wzrostu), ma postać: $\mathbf{MAB} = \{mab(m) : mab(m) \in \mathbf{M}\}$,

- zbiór kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów aktualizowanych ze wskaźnikiem wzrostu, ma postać: $\mathbf{MAZ} = \{maz(m): maz(m) \in \mathbf{M}\}$.

Dekompozycja zbioru kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów wymaga zdefiniowania również zbiorów ocen wariantów dla kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów. Poszczególne zbiory mają następującą postać:

- zbiór ocen wariantów dla kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów niepodlegających aktualizacji: $\mathbf{WN} = \{wn_w(mn(m)): wn_w(mn(m)) \in \mathcal{R}^+, w \in \mathbf{W}, mn(m) \in \mathbf{MN}\}$,

- zbiór ocen wariantów dla kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów aktualizowanych bez wskaźnika wzrostu:

$$\mathbf{WAB} = \{wab_w(mab(m)): wab_w(mab(m)) \in \mathcal{R}^+, w \in \mathbf{W}, mab(m) \in \mathbf{MAB}\},$$

- zbiór ocen wariantów dla kryteriów wykorzystywanych do oceny poszczególnych wariantów aktualizowanych ze wskaźnikiem wzrostu:

$$\mathbf{WAZ} = \{waz_w(maz(m)): waz_w(maz(m)) \in \mathcal{R}^+, w \in \mathbf{W}, maz(m) \in \mathbf{MAZ}\}.$$

Aktualizacja rankingu wariantów wymaga wyznaczenia prognoz wartości zmiennych diagnostycznych dla kryteriów aktualizowanych. W dalszych analizach związanych z wyznaczaniem prognoz wykorzystano klasyczny model regresji liniowej przedstawiony w podrozdziale 6.2. Uwzględniając zapisy formalne modelu regresji liniowej oraz założenia przyjęte dla zaktualizowanego rankingu wariantów w przypadku kryteriów aktualizowanych bez wskaźnika wzrostu, model ma postać:

$$mab(m)_\tau^* = \varphi + \mu \cdot \tau \quad (74)$$

gdzie: $mab(m)_\tau^*$ – prognoza aktualizowanej wartości zmiennej diagnostycznej dla okresu τ . Wartość parametru φ zostanie obliczona z zależności:

$$\varphi = \overline{mab(m)} - \mu \cdot \bar{t} \quad (75)$$

oraz współczynnik kierunkowy z zależności:

$$\mu = \frac{\sum_{t=1}^{SH} (t - \bar{t}) \cdot (mab(m)_t - \overline{mab(m)})}{\sum_{t=1}^{SH} (t - \bar{t})^2} \quad (76)$$

Dla zmiennych diagnostycznych dla których będą występowały trudności w pozyskiwaniu danych należy postępować według poniższej procedury.

W pierwszym kroku należy oszacować wskaźnik wzrostu $(E_{\tau}^{maz(m)})$. Wskaźnik ten zostanie wyznaczony dla kryterium pokrewnego $(maz'(m))$:

$$E_{\tau}^{maz(m)} = \left[\frac{maz'(m)_{\tau}^*}{maz'(m)_{\tau}^0} - 1 \right] \cdot 100 \quad [\%] \quad (77)$$

przy czym: $maz'(m)_{\tau}^0$ – wartość pokrewnnej zmiennej diagnostycznej w wariancie bazowym (w roku odniesienia), $maz'(m)_{\tau}^*$ – wartość prognozowana pokrewnnej zmiennej diagnostycznej w chwili τ .

Aktualizacja wartości zmiennej diagnostycznej dla m – tego kryterium aktualizowanego wskaźnikiem wzrostu w chwili τ przeprowadzona będzie zgodnie z poniższym wzorem:

$$maz(m)_{\tau}^* = maz(m)_{\tau}^0 + maz(m)_{\tau}^0 \cdot E_{\tau}^{maz(m)}, \quad maz(m) \in \mathbf{MAZ}, m \in \mathbf{M} \quad (78)$$

gdzie: $maz(m)_{\tau}^*$ – wartość zmiennej diagnostycznej prognozowana wskaźnikiem wzrostu na chwilę τ , $maz(m)_{\tau}^0$ – wartość zmiennej diagnostycznej w wariancie bazowym (w roku odniesienia).

W przypadku, kiedy kryterium składa się z części, która może ulec zmianie w czasie oraz z części, która zawsze jest stała w czasie należy skorzystać z następującego wzoru:

$$maz(m)_{\tau}^* = CSK^{maz(m)_{\tau}^0} + CZM^{maz(m)_{\tau}^0} + \left(CZM^{maz(m)_{\tau}^0} \cdot E_{\tau}^{maz(m)} \right) \quad (79)$$

gdzie: $CSK^{maz(m)_{\tau}^0}$ – część stała wartości kryterium, które nie ulega zmianie w czasie, $CZM^{maz(m)_{\tau}^0}$ – część zmienna wartości kryterium ulegającego zmianie w czasie.

Dalsze procedury związane z wyznaczeniem zaktualizowanego rankingu wariantów należy wykonać z implementacją algorytmu metody PROMETHEE II opisanej w podrozdziale 5.2.

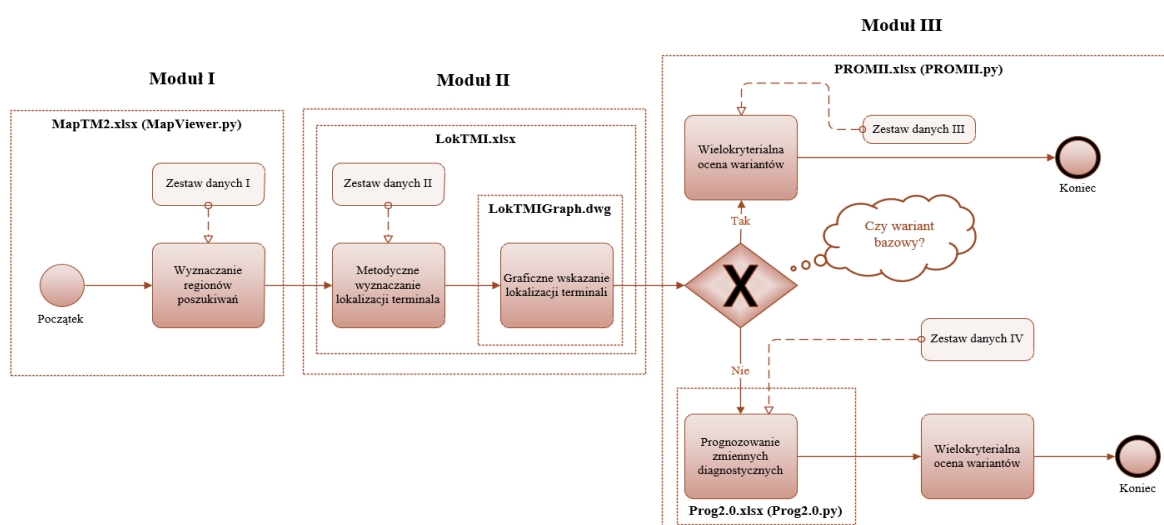
8. IMPLEMENTACJA KOMPUTEROWA METODY LOKALIZACJI TERMINALI INTERMODALNYCH W ASPEKcie ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU POLSKI

8.1. Założenia ogólne

Aplikacja komputerowa przedstawionego modelu składa się z trzech modułów:

- **Moduł I:** Obejmuje narzędzia *MapTM2.xlsx* (zamiennie program *MapViewer.py*) służące do wyznaczania regionów poszukiwań. Dzięki nim zostaną określone obszary, w których brakuje terminali intermodalnych.
- **Moduł II:** Obejmuje narzędzia *LokTMI.xlsx* oraz *LokTMIGraph.dwg* służące do wyznaczenia lokalizacji terminali intermodalnych. Dzięki narzędziu *LokTMI.xlsx* wyznaczono lokalizacje terminali metodą grawitacyjną, numeryczną, zmodyfikowaną maksymalnego pokrycia i klastrową. Natomiast dzięki narzędziu *LokTMIGraph.dwg* wyznaczono lokalizację terminala intermodalnego metodą graficzną. Wyznaczenie dokładnych lokalizacji terminali intermodalnych dla lokalizacji uzyskanych w narzędziu *LokTMI.xlsx* wymagało wsparcia programu graficznego *Civil3D*.
- **Moduł III:** Obejmuje narzędzia *PROMII.xlsx* (zamiennie *PROMII.py*) służące do wyznaczania bazowego i zaktualizowanego rankingu na lata 2030, 2040, 2050. Zaktualizowanie rankingu wymagało użycia narzędzia *Prog2.0.xlsx* (zamiennie *Prog2.0.py*), które dedykowane jest do prognozowania wartości wybranych zmiennych diagnostycznych.

Pełen schemat przygotowanej aplikacji komputerowej ilustruje – Rysunek 38.



Rysunek 38 Aplikacja komputerowa dla modelu badawczego

Źródło: opracowanie własne

8.2. Moduł wyznaczania regionów poszukiwań

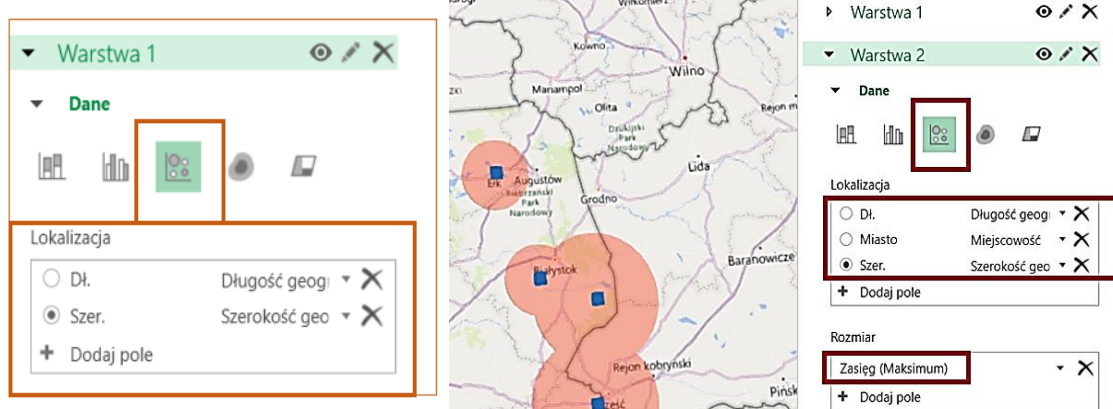
Moduł I aplikacji komputerowej obejmuje narzędzia *MapTM2.xlsx* oraz (zamiennie) program *MapViewer.py*.

Narzędzie *MapTM2.xlsx* wymaga wprowadzenia Zestawu danych I do arkusza kalkulacyjnego. Dane te obejmują m.in.: nazwy istniejących bądź planowanych terminali intermodalnych, ich adresy (miejscowości oraz województwa), współrzędne długości i szerokości geograficznej, promień zasięgu, parametry liczbowe odzwierciedlające zasięg danego terminala.

Na podstawie powyższych danych tworzona jest tabela, którą należy zaimplementować do dodatku o nazwie *Mapa 3D*. Następnie na bazie szerokości i długości geograficznej tworzone są dwie warstwy, przy czym:

- warstwa numer 1 – służy do oznaczenia lokalizacji terminali intermodalnych na mapie Polski,
- warstwa numer 2 – służy do zobrazowania zasięgu terminali intermodalnych.

Aby program mógł wyświetlić zasięg wybranych obiektów należy wybrać z listy rozwijanej parametry, które przedstawia Rysunek 39.



Rysunek 39 Opcje dodatku Mapa3D

Źródło: opracowanie własne

Po wykonaniu powyższych kroków w narzędziu *MapTM2.xlsx* wyrenderują się obszary, w których brakuje terminali intermodalnych (tzw. *regiony poszukiwań*).

W niniejszej pracy obszary, w których brakuje terminali intermodalnych określono manualnie, aczkolwiek dodatek *Mapa 3D* pozwala na zabarwienie kolorem wybranych jednostek administracyjnych (powiatów lub gmin). Jest to zadanie pracochłonne ze względu na bardzo dużą liczbę powiatów, dlatego postanowiono zrezygnować ze wspomnianego zabiegu.

Zasada działania programu *MapView.py* jest o wiele prostsza niż w przypadku narzędzia *MapTM2.xlsx*. Regiony poszukiwań w niniejszym programie wygenerują się automatycznie tuż po załadowaniu Zestawu danych I przyciskiem „Load CSV” i naciśnięciu „Display Map” (Rysunek 40).

| | Powiat / T | Województwo | Miasto | Szer. | Dł. | Zasięg wg | Rodzaj ter | Zasięg rze |
|----|---------------------|-------------|-----------|-------|-------|-----------|-------------|------------|
| 1 | Erontrans | łódzkie | Radomsk | 51.08 | 19.44 | 9 | periferijny | 20 |
| 2 | Erontrans | łódzkie | Stryków | 51.91 | 19.60 | 9 | periferijny | 20 |
| 3 | Lubelski T | lubelskie | Drzewce | 51.32 | 22.21 | 9 | periferijny | 20 |
| 4 | Nelport - | warmińsko | Elk | 53.81 | 22.37 | 9 | periferijny | 20 |
| 5 | PKP CARGO | karkapac | Przemyski | 49.83 | 22.83 | 9 | transytowy | 20 |
| 6 | PKP Cargowielkopols | | Poznań | 52.37 | 16.99 | 9 | periferijny | 20 |
| 7 | Port Gdańsk | pomorski | Gdańsk | 54.38 | 18.71 | 9 | port morsk | 20 |
| 8 | Rail Termi | lubuskie | Słubice | 52.35 | 14.82 | 9 | periferijny | 20 |
| 9 | Terminal K | dolnośląsk | Wrocław | 51.04 | 17.14 | 9 | periferijny | 20 |
| 10 | Terminal K | małopolsk | Oświęcim | 50.03 | 19.31 | 9 | periferijny | 20 |
| 11 | Cargosped | warmińsko | Braniewo | 54.38 | 19.84 | 9 | transytowy | 20 |
| 12 | Centrostal | łódzkie | Łódź | 51.73 | 19.54 | 9 | periferijny | 20 |
| 13 | Centrum | Lopodlaskie | Łapy | 52.99 | 22.88 | 9 | periferijny | 20 |
| 14 | Centrum | lubelskie | Zamość | 50.74 | 23.19 | 9 | periferijny | 20 |
| 15 | LAUDE S | śląskie | Sosnowie | 50.29 | 19.13 | 9 | periferijny | 20 |
| 16 | Eurotermi | śląskie | Dąbrowa G | 50.29 | 19.32 | 32 | periferijn | 50 |
| 17 | DB Port S | zachodnio | Szczecin | 53.42 | 14.57 | 32 | port morsk | 50 |
| 18 | PCC Inter | śląskie | Gliwice | 50.33 | 18.64 | 32 | periferijny | 50 |
| 19 | Schavema | dolnośląsk | Kąty Wroc | 51.04 | 16.76 | 32 | periferijny | 50 |
| 20 | Soedcont | łódzkie | Łódź | 51.73 | 19.54 | 32 | periferijnv | 50 |

Rysunek 40 Narzędzie *MapView.py*

Źródło: opracowanie własne

8.3. Moduł wyboru lokalizacji terminali intermodalnych

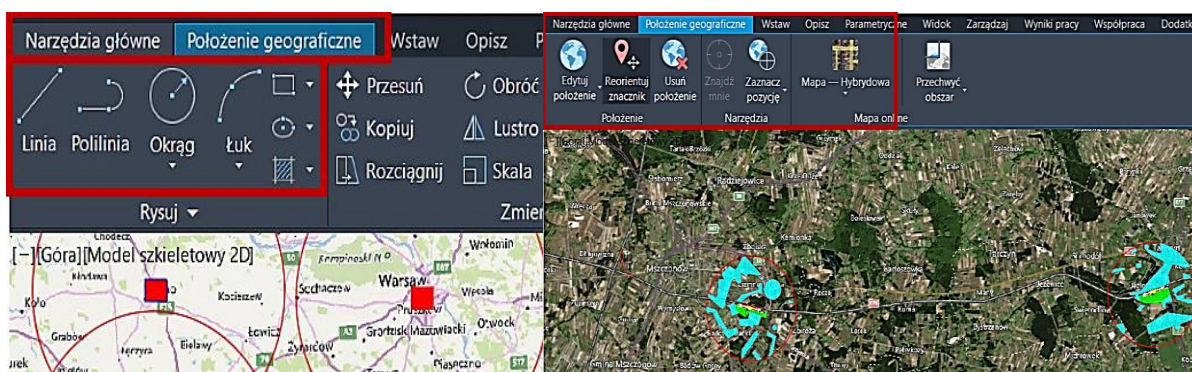
Moduł II aplikacji komputerowej obejmuje narzędzia *LokTMI.xlsx* oraz *LokTMIGraph.dwg*. Dzięki narzędziu *LokTMI.xlsx* zostaną wyznaczone lokalizacje dla terminali intermodalnych metodami jednokryterialnego wspomaganie decyzji. W omawianym narzędziu znajduje się pięć różnych arkuszy kalkulacyjnych. Do każdego z nich należy wprowadzić odpowiednie dane (Zestaw danych II). W przypadku:

- metody grawitacyjnej (Wariant I) – są to numery miast, ich nazwy, współrzędne geograficzne, liczba ludności miejskiej,
- metody grawitacyjnej (Wariant II) – są to numery miast, powiatów, ich nazwy, współrzędne geograficzne, liczba ludności zamieszkującej miasta oraz powiaty,
- metody klastrowej – są to numery i nazwy powiatów oraz ich powierzchnia użytków rolnych. W tej metodzie użytkownik musi samodzielnie przygotować skład każdego z klastrów,
- metody numerycznej – są to numery węzłów, ich nazwy, powiaty w jakich się znajdują, numery powiatów oraz informacje o ruchu drogowym z poszczególnych kierunków geograficznych,

- zmodyfikowanej metody maksymalnego pokrycia – są to numery zakładów pracy, ich nazwy, wielkość, współrzędne geograficzne oraz szacowana liczba dostaw. Ponad to użytkownik wprowadza dane na temat potencjalnych lokalizacji, w których można będzie rozważyć budowę terminala intermodalnego dla tej metody (nazwę lokalizacji oraz współrzędne).

W większości przypadków arkusz automatycznie dokonuje odpowiednich przeliczeń. W niektórych przypadkach użytkownik musi odpowiednio zmodyfikować formuły. Szczegółowe instrukcje dotyczące sposobu postępowania przy wyznaczaniu lokalizacji terminala intermodalnego zawiera każdy arkusz z osobna.

Do wskazania dokładnych lokalizacji terminali intermodalnych należy wykorzystać narzędzie *LokTMIGraph.dwg*. Posłuży ono również do wyznaczenia lokalizacji terminala intermodalnego metodą graficzną. Narzędzie to uruchamia się w programie *Civil3D*. Program ten zawiera skonfigurowaną ortofotomapę. Aby wyznaczyć fizyczną lokalizację dla terminala intermodalnego, na ortofotomapie należy odszukać przebiegi linii kolejowych w regionie poszukiwań i miejsc przy nich dogodnych dla przeprowadzenia inwestycji. Następnie konieczne jest sprawdzenie czy w wyznaczonych lokalizacjach znajduje się teren, który pozwoliłby na pomieszczenie infrastruktury przykładowego terminala intermodalnego. Rysunek 41 ilustruje funkcje programu *Civil3D* i narzędzia *LokTMIGraph.dwg*.



Rysunek 41 Opcje narzędzia *LokTMIGraph.dwg* (*Civil3D*)

Źródło: opracowanie własne

Do wyznaczenia lokalizacji terminala intermodalnego metodą graficzną należy jedynie wykorzystać podstawową paletę przybornika programu *Civil3D*. Dzięki funkcji „okrąg” na ortofotomapie zostaną oznaczone istniejące terminale intermodalne i ich promienie zasięgu. Po zidentyfikowaniu odpowiednich gruntów dla budowy terminala intermodalnego konieczne jest stworzenie jeszcze jednego okręgu – obrazującego zasięg nowego obiektu. Jeśli nowy okrąg w obrębie danego regionu poszukiwań nie będzie przecinał się z innymi okręgami

obrazującymi zasięg innych terminali intermodalnych można uznać wyznaczanie lokalizacji w tej metodzie za zakończone.

8.4. Moduł oceny lokalizacji terminali intermodalnych

Moduł oceny wyboru lokalizacji (Moduł III) obejmuje narzędzia *Prog2.0.xlsx* (zamiennie *Prog2.0.py*) oraz *PROMII.xlsx* (zamiennie *PROMII.xlsx.py*).

Program *PROMII.xlsx* złożony jest z czterech osobnych arkuszy, do których zaimplementowano algorytm metody PROMETHEE II. W każdym arkuszu znajduje się po 7 tabel zawierających formuły prowadzące do wyznaczenia rankingu wariantów – odpowiednio na rok 2021, 2030, 2040, 2050. Aby narzędzie *PROMII.xlsx* mogło prawidłowo zadziałać należy zaimportować do niego Zestaw danych III oraz dane wygenerowane na podstawie narzędzia *Prog2.0.xlsx* (*Prog2.0.py*), które tworzą Zestaw danych IV.

Zestaw danych III obejmuje wartości zmiennych diagnostycznych pozyskanych na Etapie II badań. Konieczne jest ich umieszczenie w pierwszej tabeli, pierwszego arkusza narzędzia *PROMII.xlsx*. Dzięki temu zostanie otrzymany ranking wariantów na rok bazowy.

Zestaw danych IV obejmuje natomiast dane historyczne, które należy zgromadzić w specjalnie przygotowanych tabelach oznaczonych jako „Dane wejściowe”. Na ich podstawie program *Prog2.0.xlsx* (*Prog2.0.py*), generuje wartości zmiennych diagnostycznych, które pozwolą w narzędziu *PROMII.xlsx* na wyznaczenie zaktualizowanego rankingu wariantów. Dane te, w dalszej kolejności muszą zostać wprowadzone do odpowiednich rubryk – Rysunek 42.

| ROK | 2030 | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Miejscowość | Średnia stopa bezrobocia w klastrze[%] | Liczba ludności w promieniu do 50 km | Potencjał dostaw w prom 50 km | Długość dróg szybkiego ruchu w prom. do 5 km | Liczba poj. ciężarowych przejeżdżająca najbliższy węzeł lub drogę | Odległość od portu morskiego [km] | Powierzchnia użytków rolnych w klastrze [ha] | Odległość od najbliższego obszaru chronionego [km] | Rezerwa pod rozbudowę [ha] | Liczba gospodarstw do zlikwidowania | Liczba dróg lokalnych do przebudowy | Odległość od miasta [km] | Kolizja ze strefą biznesową innych terminali [%] | Przeciętna powierzchnia mieszkalna z podwórkami w promieniu do 5 km [ha] | Koszt zmienny budowy terminala [zł] |
| Chynów | -4,33 | 5985485,94 | 14120,40 | 10,00 | 3320,08 | 394,00 | 300180,63 | 2,69 | 64,00 | 2,00 | 2,00 | 15,00 | 55,70 | 493,50 | 44831136,00 |
| Tarczyn | -2,39 | 3122793,90 | 14614,20 | 20,00 | 4123,35 | 371,00 | 122193,04 | 0,58 | 71,00 | 4,00 | 1,00 | 0,00 | 65,70 | 338,50 | 136428483,00 |

Rysunek 42 Aktualizowane pozycje w metodzie PROMETHEEII w narzędziu *PROMII.xlsx*

Źródło: opracowanie własne

W przypadku generowania zmiennych diagnostycznych na podstawie wskaźników wzrostu, w pierwsze kolejności konieczne będzie pozyskanie omawianych wskaźników. Omawiane wskaźniki zostaną wygenerowane automatycznie w odpowiednich rubrykach (Rysunek 43).

```

Podaj liczbę pomiarów 20
Podaj kwantyl dla rozkładu t studenta 1.043
V_t Dołna granica błędu Górna granica błędu
0 302.647777 3073.977257 3705.300521
1 320.292301 3113.524018 3781.653759
2 339.966308 3150.954029 3860.123748
3 361.338448 3186.612887 3940.364891
4 384.125382 3220.796116 4022.081662
5 408.090180 3253.750831 4105.026946
6 433.037333 3285.680951 4188.996827
7 458.806626 3316.753578 4273.824200
8 485.267101 3347.105303 4359.372475
9 512.311672 3376.847815 4445.529963
10 539.852564 3406.072665 4532.205113
Process finished with exit code 0

```

| Wskazniki wzrostu | | | | | |
|-------------------|--------|---------|----------|-------|-----------|
| Rok | Chynow | Tarczyn | Jeziorki | Radom | Mszczonów |
| 2030 | 0,04 | 0,07 | 0,07 | -0,04 | 0,03 |
| 2040 | 0,09 | 0,16 | 0,17 | -0,10 | 0,06 |
| 2050 | 0,15 | 0,26 | 0,27 | -0,17 | 0,10 |

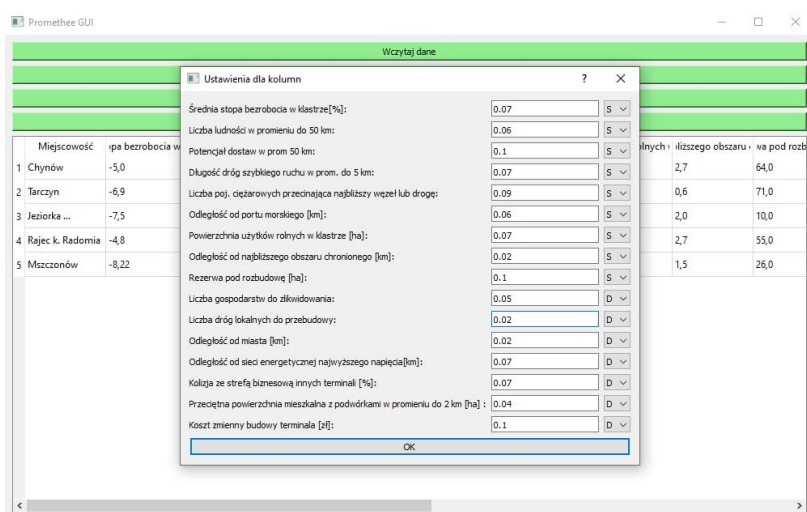
| Rozom | | | | | |
|-------|----------|--------------|-------------|---------|------|
| t_lre | y_lr | B | A | Suma | Suma |
| 5,5 | 610659,4 | -3665,517647 | 630819,7471 | -311569 | 85 |

Rysunek 43 Prognozowanie zm. diagnostycznych metodą regresji liniowej w programie

Prog2.0.py (1), Procedura pozyskiwania wskaźników wzrostu w narzędziu *Prog2.0.xlsx* (2)

Źródło: opracowanie własne

Do wyznaczania rankingu wariantów przygotowano również program *PROMII.py*. Do jego realizacji posłużono się językiem *Python*. Może być on stosowany zamiennie w stosunku do narzędzia *PROMII.xlsx*. Posługiwanie się niniejszym programem jest jednak bardziej czasochłonne, ponieważ wymaga ręcznego wybierania parametrów z listy rozwijanej oraz eksportowania wyników do plików z rozszerzeniem **csv*. Interfejs programu *PROMII.py* przedstawia Rysunek 44.



Rysunek 44 Wybór parametrów w programie *PROMII.py*

Źródło: opracowanie własne

Znaczącą zaletą programu *PROMII.py* jest możliwość wygenerowania niezbędnych wykresów przy pomocy jednego przycisku.

9. WERYFIKACJA I WALIDACJA METODY LOKALIZACJI TERMINALI INTERMODALNYCH W ASPEKcie ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU POLSKI

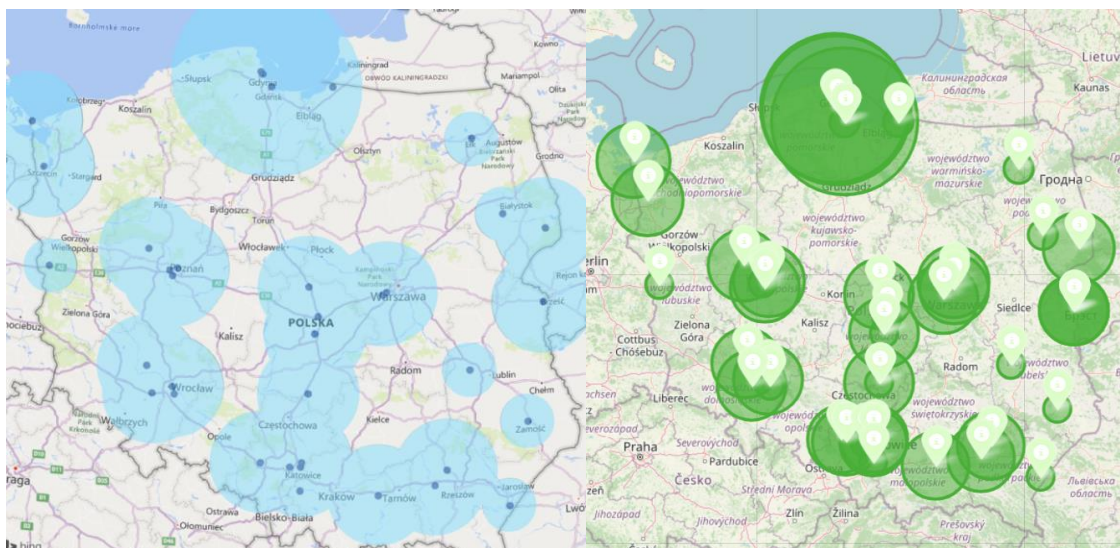
9.1. Wyznaczanie regionów poszukiwań

W pierwszym kroku Etapu I zaprezentowanego modelu zidentyfikowano funkcjonujące na terenie Polski terminale intermodalne. W trakcie prowadzonych analiz wskazano ich 44. Każdemu zidentyfikowanemu terminalowi przypisano współrzędne położenia geograficznego (Załącznik 2).

W kroku drugim dla każdego obiektu określono promień oddziaływania terminala intermodalnego. Przyjęto, iż jest on zależny od rocznej przepustowości obiektu mierzonej w TEU:

$$\delta = \begin{cases} v_{u(x_u, y_u)}(\delta) = 20 \text{ km}, & \text{gdy } 0 - 69\,999 \text{ TEU/rok} \\ v_{u(x_u, y_u)}(\delta) = 50 \text{ km}, & \text{gdy } 70\,000 - 499\,000 \text{ TEU/rok} \\ v_{u(x_u, y_u)}(\delta) = 100 \text{ km}, & \text{gdy } \geq 500\,000 \text{ TEU/rok}, \end{cases}$$

W kroku trzecim na mapie Polski oznaczono współrzędne geograficzne istniejących obiektów. Następnie zilustrowano ich zasięg – Rysunek 45.



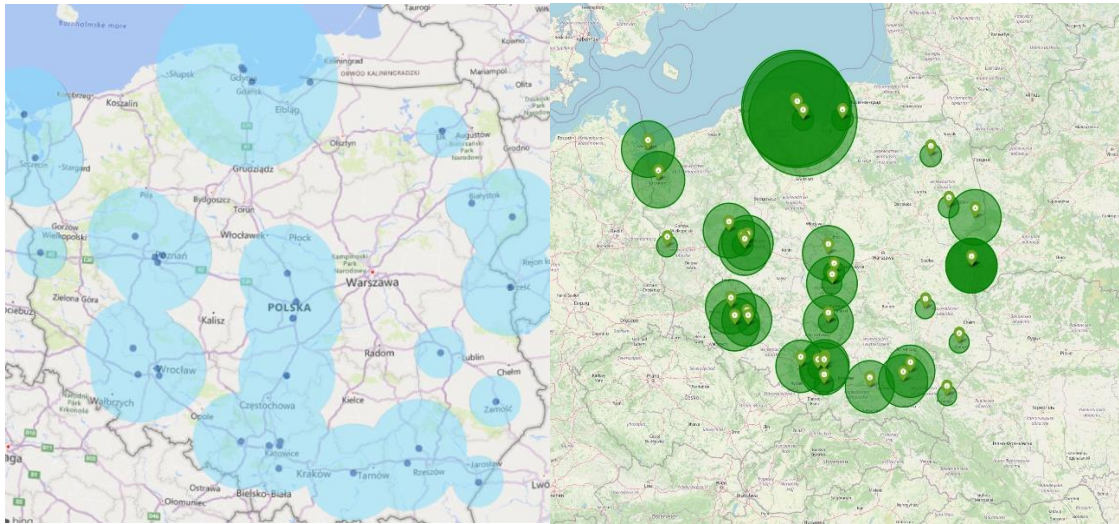
Rysunek 45 Zasięg terminali intermodalnych w Polsce wygenerowany przy użyciu narzędzia *MapTM2.xlsx* (1) oraz programu *MapView.py* (2)

Źródło: opracowanie własne

Terminale intermodalne Metransu w Pruszkowie, terminal PKP w Gliwicach, terminale Loconi oraz PKP Cargo w Warszawie znajdują się w sąsiedztwie gęstej zabudowy.

Stwierdzono, iż prawdopodobnie wkrótce zajdzie potrzeba znalezienia dla nich nowych lokalizacji poza wymienionymi miastami.

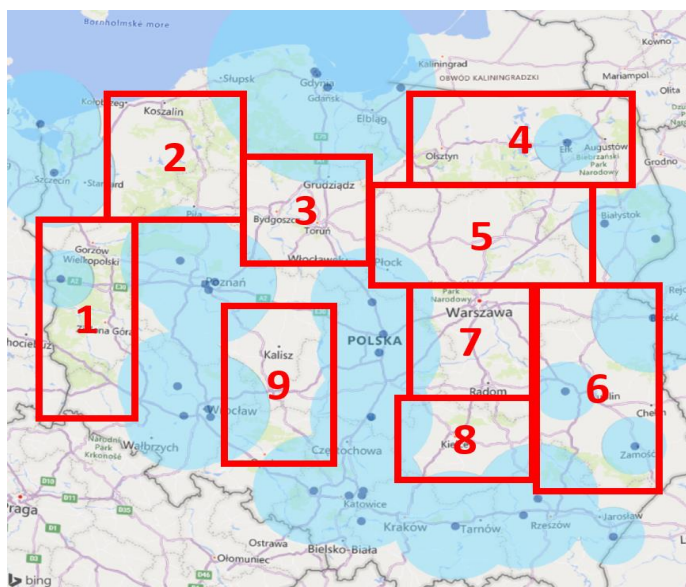
Bez wymienionych obiektów (oraz terminala Hupac w Brwinowie, który pełni inną funkcję niż pozostałe – patrz rozdział 9.2) powierzchnia oddziaływania wszystkich terminali intermodalnych w Polsce wyglądałaby tak jak na rysunku zamieszczonym poniżej (Rysunek 46).



Rysunek 46 Zasięg terminali intermodalnych w Polsce bez terminali, które będą musiały być w przyszłości relokowane wygenerowany przy użyciu narzędzia *MapTM2.xlsx* (1) oraz *MapView.py* (2)

Źródło: opracowanie własne

Po wykonaniu uprzedniego kroku określono granice *regionów poszukiwań* zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w Etapie I modelu. Regiony poszukiwań powstały po odjęciu od powierzchni kraju powierzchni zasięgu wszystkich istniejących terminali intermodalnych (Rysunek 47).



Rysunek 47 Regiony poszukiwań

Źródło: opracowanie własne

Na drodze analiz pozyskano zbiór składający się z 9 regionów poszukiwań:

$$RP = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$$

Charakterystykę poszczególnych regionów poszukiwań omówiono w załączonych materiałach (Załącznik 1).

9.2. Przygotowanie danych do wyznaczania miejsc lokalizacyjnych

Przed przystąpieniem do realizacji Etapu II przeanalizowano następujące aspekty mikro- i makrootoczenia dla rozwoju transportu intermodalnego:

▪ Geograficzne i administracyjne granice obszaru poszukiwań

W niniejszym studium przypadku zdecydowano, iż analizy dla lokalizacji terminala intermodalnego będą prowadzone w obrębie regionu numer 7.

Region numer 7 znajduje się w centralnej części Polski, na północ od Kielc, na południe od Warszawy, na wschód od Łodzi i na zachód od Lublina. Swoim zasięgiem obejmuje dolną część województwa mazowieckiego i wschodnią część województwa łódzkiego (powiat rawski). Omawiany obszar ograniczony jest miastem Przysucha od strony południowo-zachodniej, miastem Lipsko od strony południowo-wschodniej, Sochaczewem od strony północno-zachodniej oraz Mińskiem Mazowieckim od strony północno-wschodniej. Na krańcowej części regionu od strony północnej znajduje się Warszawa, na południowej Iłża, wschodniej – Żelechów, zachodniej – Rawa Mazowiecka. Obszar poszukiwań obejmuje 18 powiatów, 54 miasta i 117 gmin o łącznej powierzchni 13 044 km² (4% powierzchni kraju).

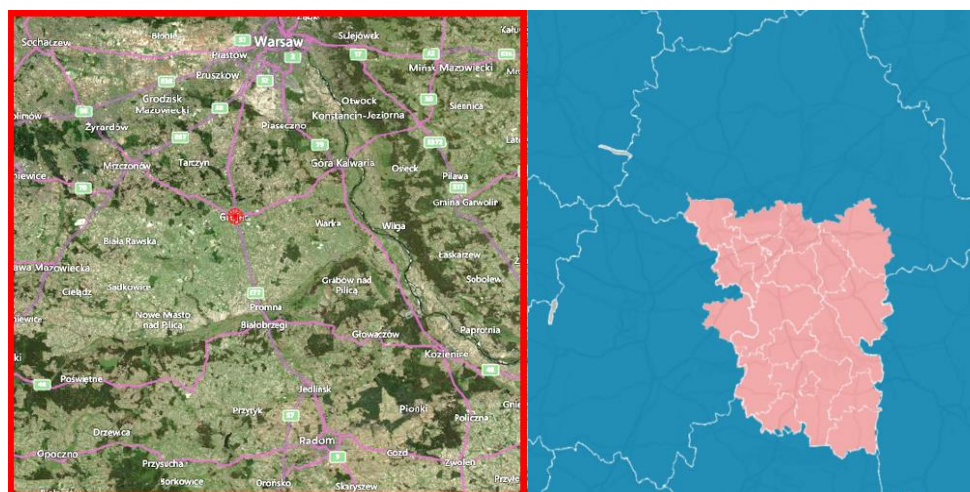
Powiaty i wyodrębnione administracyjnie miasta znajdujące się w regionie numer 7 zawiera Tabela 8.

Tabela 8 Powiaty i miasta w regionie numer 7

| Powiat | Powiat | Powiat | Miasto |
|--------------|--------------|---------------------|----------|
| białobrzeski | miński | sochaczewski | Radom |
| garwoliński | otwocki | sztydlowiecki | Warszawa |
| grodziski | piaseczyński | warszawski-zachodni | |
| grójecki | pruszkowski | zwolenński | |
| kozienicki | przysuski | żyrardowski | |
| lipski | radomski | rawski | |

Źródło: opracowanie własne

Geograficzną oraz administracyjną granicę obszaru poszukiwań przedstawia Rysunek 48. W badaniach uwzględniono obszar powiatu rawskiego (województwo łódzkie), ponieważ jego obszar administracyjny głęboko zazębia się w obszarze województwa mazowieckiego.



Rysunek 48 Geograficzny oraz administracyjny zasięg regionu poszukiwań

Źródło: opracowanie własne

Północna granica obszaru poszukiwań wynika z drastycznie malejącej opłacalności dostaw intermodalnych realizowanych w trybie kolej-droga tuż za granicą administracyjną miasta Warszawy. Na północ od Warszawy dostawy kolej-droga realizowane z portów morskich z reguły nie są w stanie czasowo konkurować z transportem drogowym. Dzieje się tak głównie za sprawą problemów operacyjnych trawiących polską kolej. Opłacalność ta rośnie jednak w kierunku południowym.

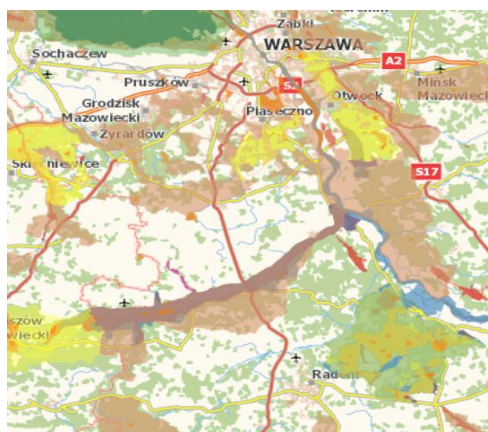
Południowa granica regionu numer 7 wynika z odmiennego charakteru gospodarczego województwa świętokrzyskiego. Większość tamtejszej ludzi (ok. 94%) zamieszkuje tereny

wiejskie i trudzi się rolnictwem [225]. Wschodnią i zachodnią granicę obszaru poszukiwań wyznaczył przebieg granicy województwa mazowieckiego.

▪ Środowisko naturalne

Teren regionu numer 7 położony jest na Nizinie Mazowieckiej. W większości są to równiny, których średnia wysokość wynosi około 121 m n.p.m. Płynię tutaj kilka rzek, a najważniejsze z nich to Wisła, Pilica oraz Radomka. W niniejszym obszarze nie istnieje szczególne zagrożenie powodziowe.

W obrębie obszaru poszukiwań znajdują liczne formy ochrony przyrody (Rysunek 49), które teoretycznie mogą ograniczyć swobodę wyboru miejsca dla inwestycji. Na tych terenach bytują bowiem cenne gatunki roślin oraz zwierząt chronione przez prawo. Każda próba ingerencji w środowisko naturalne mogłaby się spotkać z dużym oporem aktywistów oraz lokalnych mieszkańców. Obszary ściśle chronione przez prawo przedstawia Rysunek 49.



Rysunek 49 Obszary chronione w obszarze poszukiwań

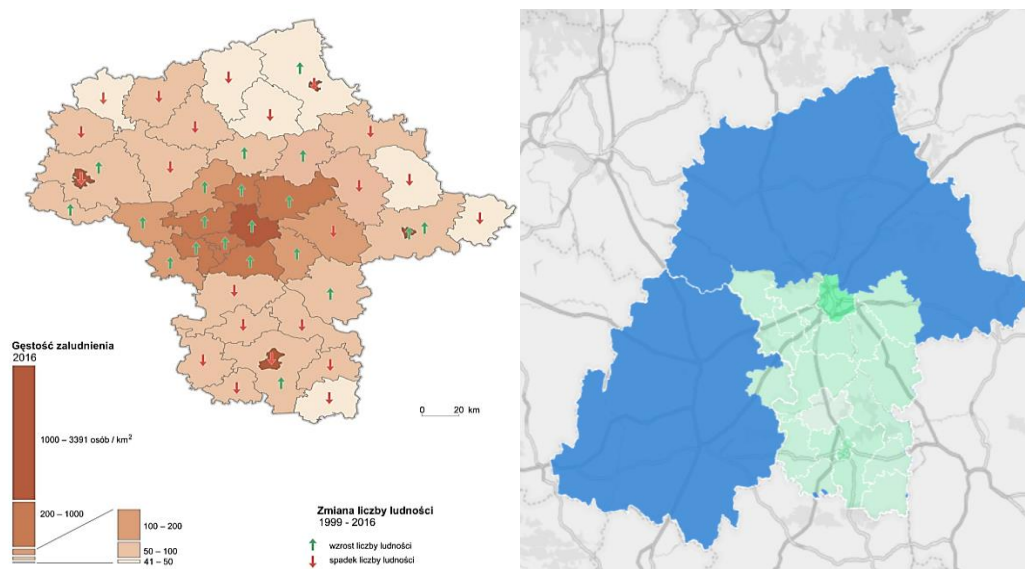
Źródło: GIS, Geoportal

Najwięcej obszarów chronionych znajduje się w powiecie kozienickim. Skoncentrowane są wokół Puszczy Kozienickiej i obejmują tereny Parków Krajobrazowych oraz stref Natura2000. Kolejnym rezerwuarem przyrodniczym w regionie nr 7 są okolice Otwocka oraz Garwolina, które w 60-80% pokryte są rezerwatami i parkami krajobrazowymi. Ogromna połać terenów chronionych znajduje się także w centralnej części obszaru poszukiwań. Do takich kompleksów zaliczyć można m.in. Dolinę Pilicy rozciągającą się od Nowego Miasta po Warkę oraz Dolinę Rzeki Jeziorka, która rozpościera się na północ od Grójca i Prażmowa po miejscowość Konie w powiecie grójeckim. Na północno-zachodniej części obszaru poszukiwań znajduje się Dolina rzeki Rawka zajmująca teren od Żyrardowa po Grodzisk Mazowiecki.

Ze względu na całkowite pokrycie powiatu otwockiego różnego rodzaju formami ochrony przyrody obszar ten zostanie wykluczony z dalszych analiz.

▪ Demografia

Omawiany obszar charakteryzuje się dosyć gęstym zaludnieniem (ok. 150 os./km²). Łącznie zamieszkuje go około 3.6 mln ludzi, z czego 52% stanowią kobiety a 48% mężczyźni. Najgęściej zaludnionym obszarem jest miasto Warszawa oraz Radom, a najrzadziej zaludnionym powiat białobrzeski. Niestety od wielu lat na większości analizowanego terenu obserwuje się znaczący spadek liczby ludności. Zjawisko to dotyczy wszystkich powiatów zlokalizowanych na południe od powiatu piaseczyńskiego. Szacuje się, iż w 2050 roku w województwie mazowieckim na 100 osób w wieku produkcyjnym będzie średnio przypadało 250 osób w wieku emerytalnym [215]. Należy się więc spodziewać, iż starzejąca się struktura społeczeństwa w perspektywie dwóch dekad może obniżyć popyt na dobra konsumpcyjne w powiatach o największej zapasności demograficznej. Jest to zatem pewna przesłanka do zrewidowania pomysłu inwestowania w budowę terminala intermodalnego w tego typu jednostkach administracyjnych. Tendencje związane z przyrostem liczby ludności oraz gęstość zaludnienia w poszczególnych jednostkach administracyjnych obrazuje Rysunek 50.



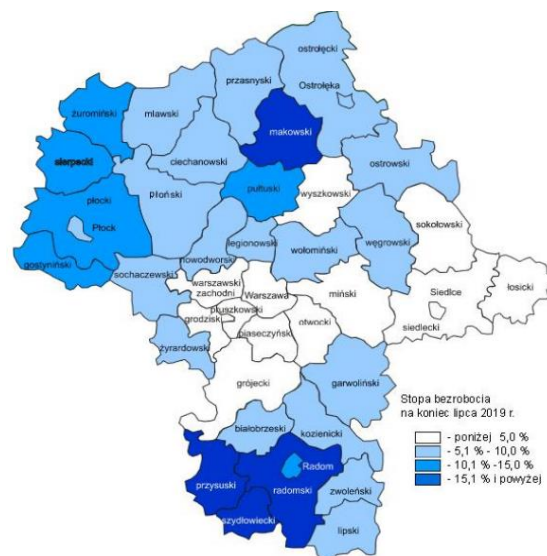
Rysunek 50 Tendencje związane z przyrostem demograficznym (1) oraz gęstość zaludnienia w regionie numer 7 (2)

Źródło: [215] (1), opracowanie własne (2)

▪ Stopa bezrobocia

Średnia stopa bezrobocia na Mazowszu w 2021 wynosiła mniej niż 5%. W obszarze poszukiwań znajdują się jednak powiaty, które charakteryzują się jedną z najwyższych stóp bezrobocia w kraju np. powiat szydłowiecki (ok. 25% bezrobocie), radomski (ok. 15%), przysuski (ok. 15%). Blisko 10-cio procentowe bezrobocie oscyluje także w powiatach: kozienickim, lipskim, zwoleńskim, garwolińskim oraz białobrzeskim. Dotyka ono głównie

osoby mieszkające na wsiach, osoby starsze (po 50 roku życia) oraz kobiety do 30 roku życia i posiadające co najmniej jedno dziecko. Najmniejszym poziomem bezrobocia charakteryzują się powiaty skoncentrowane wokół Warszawy. Tam bezrobocie nie przekracza 5%. Niska stopa bezrobocia w tych rejonach może znacząco ograniczyć w przyszłości rozwój logistyki i transportu wokół terminala intermodalnego, ponieważ sektor ten wymaga znacznej liczby rąk do pracy. Przykład może stanowić znany w ostatnich latach problem braku pracowników fizycznych i wysoka rotacja w podwarszawskich magazynach oraz centrach dystrybucyjnych. Aktualną stopę bezrobocia w poszczególnych powiatach ilustruje Rysunek 51.



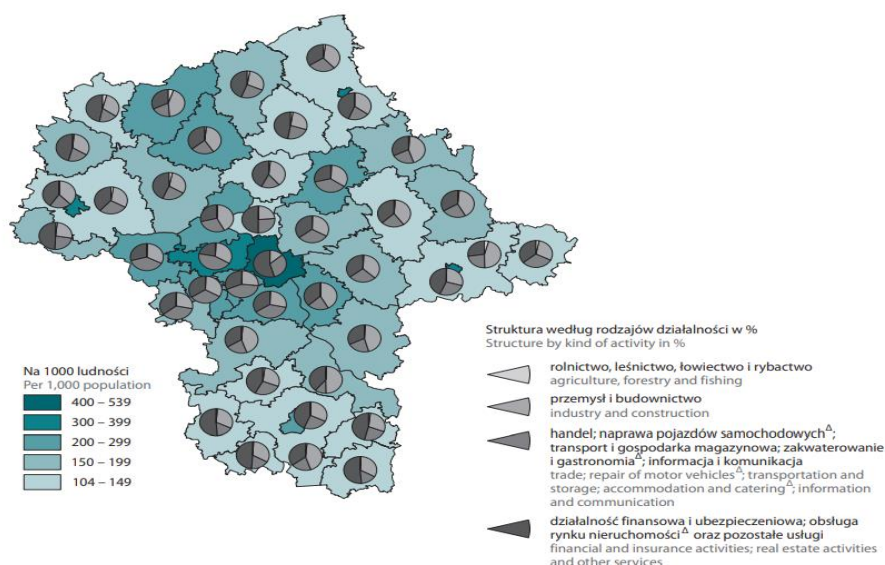
Rysunek 51 Stopa bezrobocia w poszczególnych powiatach województwa mazowieckiego
Źródło: [220]

W powiecie rawskim, który nie widnieje na rysunku zamieszczonym powyżej stopa bezrobocia wynosi ok. 3.7%.

▪ **Zatrudnienie**

Najwięcej osób na Mazowszu znajduje zatrudnienie w handlu oraz przemyśle (około 16 i 15%), edukacji (11%), administracji (7,5%) oraz transporcie i magazynach (7.5%). Niespełna 11% mieszkańców Mazowsza trzodzi się rolnictwem. Na terenach powiatów radomskiego, garwolińskiego i kozienickiego odsetek osób parających się rolnictwem osiąga blisko 50% udział.

Rysunek 52 obrazuje strukturę zatrudnienia w poszczególnych powiatach.



Rysunek 52 Struktura zatrudnienia w województwie mazowieckim

Źródło: [222]

Zarówno przemysł, jak i rolnictwo stwarzają dobre otoczenie dla budowy terminala intermodalnego, gdyż przedmiotem transportu w tych branżach mogą być wyprodukowane w tych sektorach dobra materialne lub plony. Najmniej korzystnym sektorem dla rozwoju transportu intermodalnego są usługi. Wyjątek stanowią usługi transportowo-spedycyjne, które umożliwiają realizację dostaw do klientów. To od nich bowiem zależy dostępność floty pojazdów i kierowców, których w obecnych czasach brakuje na rynku.

W regionie numer 7 zlokalizowanych jest wiele znanych w Polsce, Europie i na całym świecie fabryk oraz przedsiębiorstw usługowo-dystrybucyjnych, np. fabryka czekoladek Ferrero w Belsku Dużym, fabryka słodczy Mars w Warszawie, fabryka kosmetyków Avon w Garwolinie, fabryka taboru szynowego PESA w Mińsku Mazowieckim, Polska Grupa Zbrojeniowa w Radomiu, fabryka kosmetyków L’Oreal w Kanie, fabryka materiałów izolacyjnych Kingspan w Lipsku, liderzy w dziedzinie budowy powierzchni magazynowych Panattoni, Prologis itd. Łącznie w obszarze poszukiwań zidentyfikowano ponad 560 zakładów pracy, które potencjalnie byłyby zainteresowane usługami świadczonymi przez terminal intermodalny (pełny wykaz wspomnianych przedsiębiorstw zawiera (Załącznik 6)). Do poszukiwania firm wykorzystano narzędzia takie jak Google Earth, strony internetowe starostw powiatowych i własną znajomość rynku.

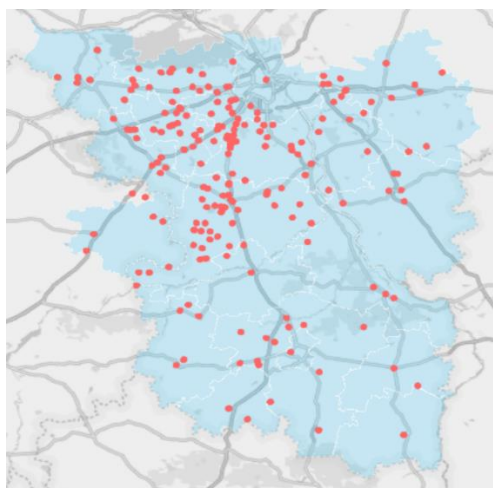
Tabela 9 przedstawia zakłady pracy w poszczególnych powiatach z podziałem na skalę prowadzonego biznesu. Podziału dokonano empirycznie zgodnie z wytycznymi opisanymi w modelu.

Tabela 9 Liczba zakładów pracy w poszczególnych powiatach regionu numer 7 z podziałem na wielkość

| Powiat | Liczba zakładów | | | | Suma |
|---------------------|-----------------|------------|-----------|---------------|------------|
| | Średnich | Małych | Dużych | Bardzo Dużych | |
| białobrzeski | 1 | 2 | | | 3 |
| garwoliński | 5 | 5 | 5 | 1 | 16 |
| grodziski | 13 | 34 | 3 | | 50 |
| grójecki | 5 | 63 | 4 | 3 | 75 |
| kozienicki | 3 | 4 | 1 | | 8 |
| lipski | 1 | 6 | 2 | | 9 |
| m. Radom | 20 | 47 | 5 | | 72 |
| m. Warszawa | | 2 | 2 | 2 | 6 |
| miński | 5 | 29 | 2 | | 36 |
| otwocki | 6 | 14 | 4 | | 24 |
| piaseczyński | 14 | 55 | 7 | | 76 |
| pruskowski | 3 | 9 | 8 | 1 | 21 |
| przysuski | 1 | 7 | 1 | | 9 |
| radomski | 3 | 18 | | | 21 |
| rawski | 8 | 22 | 1 | 2 | 33 |
| sochaczewski | 7 | 11 | 4 | 1 | 23 |
| szydłowiecki | 1 | 5 | | | 6 |
| warszawski zachodni | 8 | 45 | 6 | 1 | 60 |
| zwoleński | | 4 | | | 4 |
| żyrardowski | 2 | 13 | 1 | 1 | 17 |
| Suma końcowa | 106 | 395 | 56 | 12 | 569 |

Źródło: opracowanie własne

Z powyższej tabeli wynika, iż najwięcej zakładów pracy znajduje się w: powiecie piaseczyńskim (76), powiecie grójeckim (75), mieście Radom (72), powiecie warszawskim zachodnim (60), powiecie grodziskim (50). Mapa zamieszczona poniżej obrazuje zagęszczenie zakładów pracy na tle południowej części Mazowsza (Rysunek 53).



Rysunek 53 Rozmieszczenie zakładów pracy w poszczególnych powiatach regionu numer 7

Źródło: opracowanie własne

Zidentyfikowane w obszarze poszukiwań zakłady pracy sklasyfikowano w sposób ogólny według profilu działalności. Wyróżniono takie sektory działalności jak: budowlany – przedsiębiorstwa handlujące materiałami budowlanymi lub firmy budowlane z własnymi

składami, chemiczny – firmy produkujące dobra na bazie półproduktów chemicznych np. kosmetyki, farby, medykamenty, hutniczy – najczęściej huty szkła, magazyn – najczęściej obiekt o charakterze dystrybucyjnym, mechaniczny – najczęściej firmy produkujące samochody lub maszyny, metalurgiczny – najczęściej firmy produkujące elementy konstrukcyjne ze stali, odzieżowy – firmy produkujące odzież np. szwalnie, przetwórstwa drzewnego – przedsiębiorstwa zajmujące się przetwarzaniem drewna (np. firmy meblarskie, kartoniarskie), recykling – najczęściej firmy zajmujące się skupem złomu, spożywczy – firmy operujące w branży spożywczej (przetwórnice, grupy producenckie, mleczarnie itp., depot – przedsiębiorstwo świadczące usługi najmu kontenerów, tworzywa sztuczne – najczęściej firmy produkujące opakowania na bazie plastiku, zbrojeniowy – firmy produkujące sprzęt wojskowy, elektroniczny – firmy produkujące elektronikę specjalistyczną lub codziennego użytku, art. przemysłowe – firmy produkujące dobra codziennego użytku, inne – zakłady pracy, który nie mogą zostać przypisane do żadnej z wymienionych kategorii.

Według powyższego podziału, najwięcej zakładów pracy w obszarze poszukiwań operuje w: przemyśle spożywczym (159), w budownictwie (71), branży magazynowo-dystrybucyjnej (159), produkcji art. przemysłowych (46), przemyśle chemicznym (32), przemyśle metalurgicznym (26), przemyśle mechanicznym (21), branży elektronicznej (18), przemyśle odzieżowym (15), branży tworzyw sztucznych (12). Najmniej w: przemyśle przetwórstwa drzewnego (10), przemyśle hutniczym (7), branży recyklingu (9), przemyśle zbrojeniowym (3) i pozostałych (1).

▪ **Potencjał rolniczy**

Według Powszechnego Spisu Rolniczego przeprowadzonego w 1996 r. w regionie poszukiwań znajdowało się 1.09 mln ha użytków rolnych wykorzystywanych do uprawy buraków, rzepaku, ziemniaków, drzew owocowych, zbóż oraz do pasania trzody chlewnej (Załącznik 5). Na przestrzeni lat liczba użytków rolnych zmalała o 37% do poziomu 667 tys. ha (dane GUS). Zjawisko to może się wiązać ze zmianą struktury zatrudnienia na rynku pracy, transformacją gospodarczą, zmianami demograficznymi, brakiem zastępowalności pokoleniowej wśród wiejskich rodzin oraz brakiem atrakcyjnych zarobków w sektorze rolniczym. Obecnie najwięcej użytków rolnych znajduje się w powiecie grójeckim (81 tys. ha), radomskim (68 tys. ha) i garwolińskim (59 tys. ha). Najmniej zaś w powiecie szydłowieckim (11 tys. ha), pruszkowskim (8 tys. ha) i m.st. Radom (3 tys. ha).

Niewątpliwie, interesującym zjawiskiem występującym w regionie numer 7 jest wzrost powierzchni sadów owocowych. W 1996 roku powierzchnia sadów wynosiła 64 tys. ha,

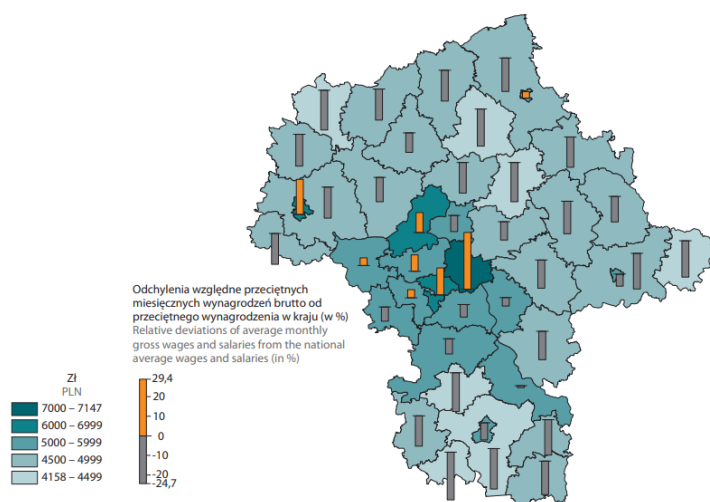
natomiast w 2020 roku było to już 120 tys. ha. Ogólny wzrost zainteresowania sadownictwem należy tłumaczyć dużo łatwiejszą mechanizacją upraw niż w przypadku tradycyjnego rolnictwa oraz dużo bardziej wydajnymi plonami pozyskiwanymi z 1 hektara ziemi. Największą powierzchnie sadów w 2020 roku odnotowano w powiecie grójeckim (58 tys. ha) oraz rawskim (21 tys. ha). W powiecie grójeckim i rawskim zlokalizowane są liczne grupy sadownicze, które zajmują się skupowaniem jabłek od lokalnych rolników, przetwarzaniem i dostarczaniem przetworów na rynek krajowy i światowy. Ok. 40 % krajowej produkcji jabłek pochodzi z zagłębia grójeckiego. To właśnie jabłka w ostatnich latach stały się prawdziwym hitem eksportowym. W Polsce w 2021 roku wyprodukowano ok. 4 mln ton tego owocu. Niecałą ¼ plonów sprzedawano wówczas za granicę (ok. 40 tys. kontenerów), ¼ skonsumowano na rynku krajowym, a blisko połowę przerobiono na soki i koncentraty. Jeszcze 15 lat temu większość owoców trafiała na rynek rosyjski. Od momentu wprowadzenia embarga sadownicy oraz grupy producenckie zostali zmuszeni do poszukiwania pionierskich rynków zbytu w krajach afrykańskich, azjatyckich oraz europejskich. W międzyczasie zmodyfikowano całkowicie łańcuch logistyczny dla tego rodzaju plonów. Obecnie, owoce te ładuje się do kontenerów chłodniczych i dostarcza bezpośrednio pojazdem ciężarowym do portów w Gdańsku, Gdyni, Koprze lub Trieście – by tam przeładować je na statek. Nigdy praktycznie nie korzysta się z gałęzi kolejowej ze względu na zbyt duże ryzyko uszkodzenia towaru powodowane długimi przestojami pociągów na trasie. Wraz z rosnącą poprawą jakości plonów, malejącą konsumpcją rodzimą oraz implementacją nowych odmian jabłoni do sadów owocowych prognozuje się, iż udział eksportu jabłek będzie rósł. To może spowodować, że wkrótce w centralnej części obszaru poszukiwań pojawi się dodatkowe zapotrzebowanie na przewozy kolejowe. Warunkiem jest jednak poprawa jakości i niezawodności usług transportowych w transporcie kolejowym [25], [223]. Jabłka są szczególnie podatnym na warunki transportu towarem. Obniżenie lub zwiększenie temperatury wewnątrz kontenera chociażby o 1°C może spowodować utratę walorów smakowych bądź rozpocząć nieodwracalny proces gnicia. Dlatego w transporcie tego owocu liczy się czas – im szybciej ładunek zostanie dostarczony na miejsce tym większe prawdopodobieństwo, że dojedzie nieuszkodzony oraz że zachowa najwyższą jakość. Warto wspomnieć, iż ostatnim *novum*, jakie pojawiło się na rynku są kontenery z kontrolowaną atmosferą. Pozwalają one nie tylko na kontrolę temperatury wewnątrz kontenera, ale również na kontrolę składu atmosfery. Na skład powietrza wrażliwych jest większość odmian owoców. Np. zarówno zbyt duża i zbyt mała ilość jakiegoś gazu (np. CO₂) może uszkodzić plony. Kontenery z kontrolowaną atmosferą są stosunkowo pionierskim wynalazkiem. Wraz z rozwojem procesu technologicznego prawdopodobnie możliwe będzie

nie tylko transportowanie jabłek, ale również innych owoców tj. borówka, gruszki, wiśnie czy warzywa.

Obecnie duża część produkcji jabłek pozostaje na granicy opłacalności. Budowa terminala intermodalnego w okolicach regionu grójeckiego mogłaby pomóc rolnikom w zdobywaniu nowych rynków zbytu. Aby jednak tak się stało w ślad za budową terminala intermodalnego musiałyby iść poprawa parametrów przewozu w transporcie kolejowym. Z drugiej strony transport kontenerów chłodniczych drogą kolejową musiałby stać się kosztowo i czasowo konkurencyjny w stosunku do gałęzi drogowej.

▪ Zamożność społeczeństwa

Najzamożniejsi mieszkańcy w obszarze poszukiwań zamieszkują tereny wokół Warszawy. Średnia zarobków w okolicach stolicy Polski waha się bowiem w granicach od 5000-7200 zł brutto. Najmniej zarabiają mieszkańcy południowej części obszaru poszukiwań. Średnia miesięczna pensja w tych powiatach nie przekracza 5000 zł brutto (Rysunek 54).



Rysunek 54 Zarobki mieszkańców województwie mazowieckim

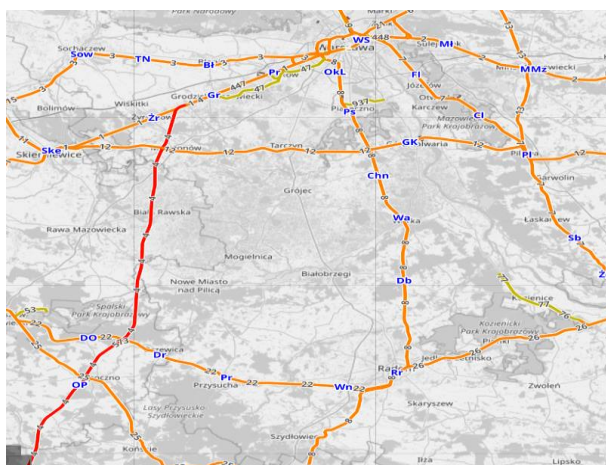
Źródło: [222]

Budowa terminala intermodalnego w miejscu o niższym stopniu zamożności społeczeństwa może pozytywnie wpłynąć na budżet jego mieszkańców oraz samorządu. Natomiast budowa terminala intermodalnego na terenach o dużym stopniu zamożności może negatywnie wpłynąć na nastroje społeczne, ponieważ bogatsze społeczeństwo stawia zwykle na zrównoważony tryb życia (tzw. *life balance*). Budowa terminala intermodalnego może z łatwością zaburzyć spokój okolicznych mieszkańców wskutek wygenerowania dodatkowego ruchu pojazdów ciężkich. Z tego powodu nie rekomenduje się budowy terminala intermodalnego w powiecie

piaseczyńskim, powiecie grodziskim oraz w mieście Warszawa. Korzystniejszym miejscem z tego samego punktu widzenia są okolice Radomia.

▪ **Infrastruktura kolejowa oraz natężenie ruchu kolejowego**

Wzdłuż zachodniej granicy obszaru poszukiwań przebiega Centralna Magistrala Kolejowa (CMK) – najważniejsza linia kolejowa w Polsce (LK 4). Centralną część regionu przecina LK 8, natomiast wschodnią LK 7. W poprzek od północy biegnie LK 1,2,3, w części centralnej – LK 12, natomiast w południowej LK 22 i 26. Linie kolejowe biegnące przez region poszukiwań ilustruje Rysunek 55.



Rysunek 55 Przebieg linii PKP PLK w regionie numer 7

Źródło: www.openrailwaymap.org

Numery linii kolejowych w obszarze poszukiwań, wraz z kilometrażem, miastami, przez które przechodzą oraz dobową liczbą pociągów przedstawia Tabela 10.

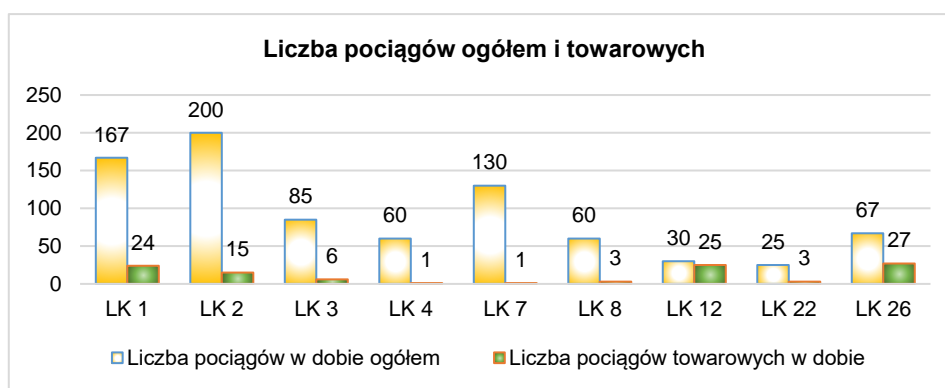
Tabela 10 Linie kolejowe oraz ich długość w regionie numer 7

| Linia Kolejowa | Kilometraż [km] | Ważniejsze miasta | Liczba pociągów w dobie ogółem na odcinku | Liczba pociągów towarowych w dobie na odcinku |
|---------------------|-----------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| LK 1 | 0-50 | Żyrardów, Pruszków, Grodzisk Mazowiecki, Warszawa | 167 | 24 |
| LK 2 | 0-45 | Warszawa, Mińsk Maz. | 200 | 15 |
| LK 3 | 0-65 | Błonie, Sochaczew, Teresin, Warszawa, Ożarów Maz. | 85 | 6 |
| CMK – LK 4 | 0-50 | Biała Rawska, Mszczonów | 60 | 1 |
| LK 7 | 0-95 | Warszawa, Józefów, Otwock, Garwolin | 130 | 1 |
| LK 8 | 0-140 | Warszawa, Piaseczno, Warka, Radom, Szydłowiec | 60 | 3 |
| LK 12 | 0-125 | Tarczyn, Mszczonów, Góra Kalwaria, Piława | 30 | 25 |
| LK 22 | 40-80 | Radom, Przysucha | 25 | 3 |
| LK 26 | 70-115 | Radom, Pionki | 67 | 27 |
| Łącznie [km] | 655 | | - | |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PKP PLK i danych rynkowych

Z powyższych danych wynika, iż najbardziej obciążoną linią kolejową w regionie jest LK 2. Przejeżdża przez nią nawet 200 pociągów w dobie. Najmniej obciążoną linią kolejową w regionie pozostaje LK 22 – z 25 pociągami w dobie.

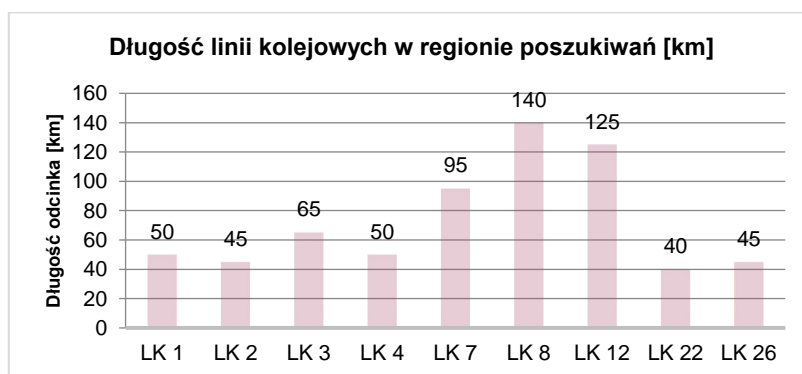
Największy ruch towarowy zaobserwowano na LK 26 (27 pociągów towarowych w dobie) oraz na LK 12 (25 pociągów towarowych w dobie). Najmniej pociągów towarowych uczęszcza LK 4 *ex-aequo* z LK 7 (1 pociąg w dobie). Linia kolejowa nr 4 stanowi infrastrukturę dedykowaną dla ruchu szybkich pociągów pasażerskich, dlatego też nie należy oczekiwać od zarządcy infrastruktury PKP PLK pozwolenia na budowę terminala intermodalnego przy niniejszej linii. Bardzo trudno będzie także pozyskać zgodę na budowę terminala intermodalnego przy LK 2, której przepustowość znajduje się na skraju wyczerpania. Liczbę pociągów ogółem oraz towarowych na poszczególnych odcinkach linii znajdujących się w regionie numer 7 przedstawia Rysunek 56.



Rysunek 56 Liczba pociągów na poszczególnych liniach kolejowych w regionie numer 7

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PKP PLK

W regionie numer 7 znajduje się łącznie ok. 655 km linii kolejowych. Długość poszczególnych odcinków obrazuje Rysunek 57.



Rysunek 57 Długość poszczególnych linii kolejowych w regionie numer 7

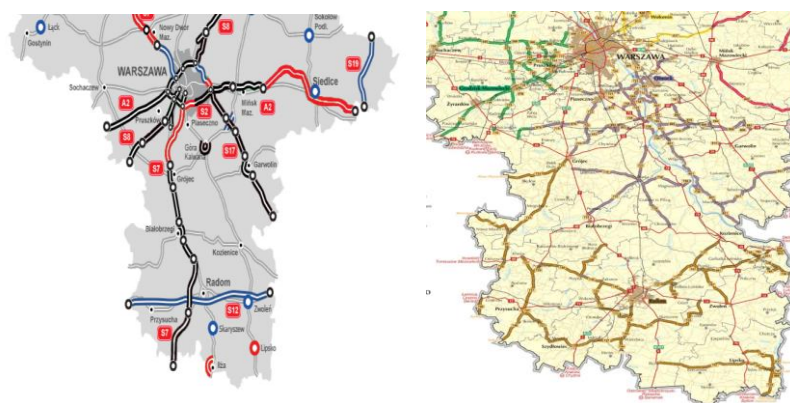
Źródło: opracowanie własne

Najdłuższe odcinki linii kolejowych w regionie należą do LK 8 (140 km) oraz LK 12 (125 km).

Według danych UTK gęstość linii kolejowych na Mazowszu wynosi 6.67 km/100 km². W Polsce jedynie województwo opolskie, dolnośląskie i śląskie posiadają większą gęstość linii kolejowych – odpowiednio 8.32, 8.9 oraz 15.13 km/100 km². W obszarze poszukiwań gęstość linii kolejowych wynosi 5.02 km/100 km² – o wiele mniej niż średnia krajowa (6.2 km/100 km²). Można się więc spodziewać, iż wybór lokalizacji dla budowy terminala intermodalnego będzie zadaniem dość skomplikowanym, ze względu na ograniczony dostęp regionu do infrastruktury kolejowej. Istnieją bowiem w obszarze poszukiwań białe plamy, w których w promieniu 15-20 km nie funkcjonuje żadna linia kolejowa. Brak dostępu do infrastruktury kolejowej automatycznie dyskwalifikuje możliwość budowy terminala intermodalnego w takim miejscu.

▪ Infrastruktura drogowa oraz natężenie ruchu drogowego

Wzdłuż obszaru poszukiwań biegnie jedna z najważniejszych tras w kraju – droga ekspresowa S7. Ze wschodu na zachód na wysokości Warszawy obszar poszukiwań przecina autostrada A2, zaś na południu na wysokości Radomia – trasa S12. Region numer 7 przecinają również trasy S2, S8 i S17. Prócz odcinków tras ekspresowych, w województwie mazowieckim znajdują się także DK9, DK48, DK50, DK79 oraz liczne drogi wojewódzkie. Geometrię dróg krajowych oraz dróg krajowych i wojewódzkich w obszarze poszukiwań obrazuje Rysunek 58.



Rysunek 58 Przebieg dróg ekspresowych (1) oraz dróg wojewódzkich w regionie numer 7 (2)

Źródło: www.archiwum.gddkia.gov.pl (1), www.siskom.waw.pl (2) [Dostęp: 03.11.2022]

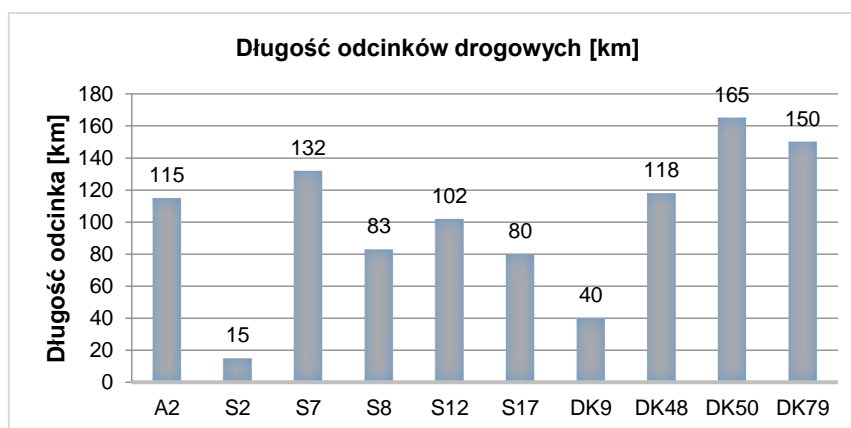
Najważniejsze trasy drogowe wraz z ich długością w obszarze poszukiwań oraz minimalnym i maksymalnym średniodobowym ruchem pojazdów samochodowych na tych odcinkach, przedstawia Tabela 11.

Tabela 11 Numery dróg oraz ich długości w regionie numer 7

| Nr drogi | Długość [km] | Ważniejsze miasta na przecięciu | Średniodobowy ruch pojazdów [tys. poj./dobę] MIN/MAX | Średniodobowy ruch pojazdów ciężarowych z przyczepą [tys. poj./dobę] MIN/MAX |
|--------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| A2 | 115 | Warszawa | 20-55 | 0.7-11.7 |
| S2 | 15 | Warszawa | 33-115 | 2-7.5 |
| S7 | 132 | Warszawa, Tarczyn, Grójec, Białobrzegi, Radom, Szydłowiec | 22-42 | 2.7-5.2 |
| S8 | 83 | Warszawa, Rawa Mazowiecka, Mszczonów, Nadarzyn | 21-27 | 4.5-5.5 |
| S12 | 102 | Radom, Zwoleń, Przysucha | 20-30 | 2.5-3.2 |
| S17 | 80 | Garwolin, Kołbiel | 18-32 | 0.9-2.5 |
| DK9 | 40 | Radom, Iłża | 7-22 | 1-1.2 |
| DK48 | 118 | Białobrzegi, Kozienice | 4-11 | 0.2-0.8 |
| DK50 | 165 | Mińsk Mazowiecki, Sochaczew, Grójec, Mszczonów, Żyrardów, Góra Kalwaria, Kołbiel | 5-22 | 3.8-7 |
| DK79 | 150 | Piaseczno, Góra Kalwaria, Kozienice, Zwoleń, Lipsko | 5-26 | 0.3-1.2 |
| Łącznie [km] | 870 | | | |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GDDKiA

Najbardziej obciążoną drogą w regionie numer 7 jest droga ekspresowa S2. Dziennie przejeżdża przez nią 33-115 tys. pojazdów w dobie. Na drugim miejscu znalazła się autostrada A2 z wynikiem 20-55 tys. pojazdów w dobie. Niniejsze trasy przenoszą również największy ruch pojazdów ciężarowych tudzież: droga ekspresowa S2 – 2-7.5 tys. pojazdów ciężarowych z przyczepą oraz autostrada A2 w zależności od odcinka między – 0.7-11.7 tys. pojazdów ciężarowych w dobie. W regionie numer 7 znajduje się łącznie ok. 870 km dróg krajowych. Długość poszczególnych odcinków przedstawia Rysunek 59.



Rysunek 59 Długość poszczególnych dróg ekspresowych i autostrad w regionie numer 7

Źródło: opracowanie własne

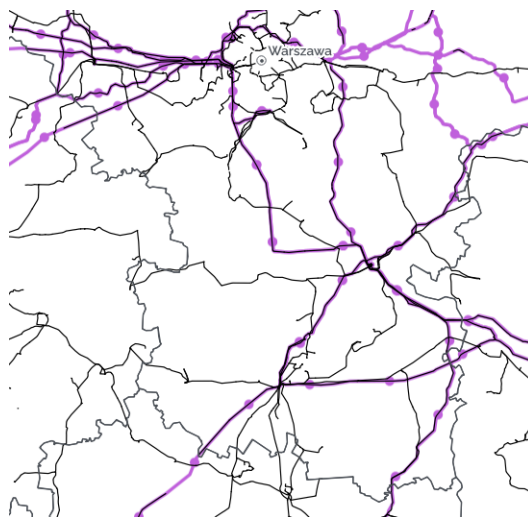
Najdłuższe odcinki drogi krajowej w obszarze poszukiwań przynależą do DK50 (165 km) oraz do DK79 (150 km).

Średnia gęstość wszystkich dróg (krajowych, powiatowych, wojewódzkich i gminnych w obszarze poszukiwań) wynosi ok. 155 km/100 km². Natomiast średnia gęstość dróg ekspresowych i pozostałych dróg krajowych w obszarze poszukiwań wynosi 6.7 km/100km² [13]. Większość powiatów posiada na swym terytorium drogi ekspresowe. Wyjątek stanowi powiat lipski i kozienicki. Zatem przyłączająca większość obszaru poszukiwań posiada dogodną infrastrukturę drogową, która byłaby atrakcyjna dla dostaw realizowanych z wykorzystaniem transportu intermodalnego.

▪ **Infrastruktura energetyczna**

Istotnym aspektem dla pracy terminala intermodalnego jest jego ciągle zasilanie energią elektryczną pochodzącą ze stabilnego źródła. W obiekcie tym bardzo duże ilości energii elektrycznej na ogół pochłaniają m.in. maszyny ładunkowe, kontenery chłodnicze, system sterowania, obiekty kubaturowe, elementy infrastruktury kolejowej oraz sieć i urządzenia trakcyjne. Z tego powodu należy sądzić, iż zasilanie terminala intermodalnego z linii niskiego i średniego napięcia może okazać się niewystarczające. Duże pobory energii mogą bowiem prowadzić do przerw w dostawach energii w okolicznych domostwach. Niewątpliwie korzystniejszym rozwiązaniem byłoby zlokalizowanie terminala intermodalnego w pobliżu linii wysokiego i najwyższego napięcia, które to posiadają dużo większe moce przesyłowe niż linie średniego napięcia. Niestety, obecnie Krajowy System Energetyczny w Polsce charakteryzuje się znaczącą niewydolnością wskutek braku inwestycji w budowę oraz modernizację elektrowni konwencjonalnych i linii napowietrznych. Dlatego m.in. założenie, że dostęp terminala intermodalnego do linii wysokiego i najwyższego napięcia zagwarantuje zaspokojenie bieżących potrzeb energetycznych tego obiektu wydaje się być wysoce ryzykowne. W tej sytuacji, jedynie po wystąpieniu do operatora systemu dystrybucyjnego o tzw. *warunki przyłącza sieci energetycznej* można stwierdzić czy rzeczywiście energia na potrzeby danego obiektu zostanie zapewniona.

Rysunek 60 przedstawia przebieg linii wysokiego i najwyższego napięcia w południowej i środkowej części Mazowsza.



Rysunek 60 Linie energetyczne wysokiego i najwyższego napięcia

Źródło: baza środowiskowa Centralnego Portu Komunikacyjnego

Z powyższego rysunku wynika, iż obszary obejmujące powiaty białobrzeski, rawski i przysuski mają najrzadszą sieć linii wysokiego i najwyższego, zaś obszary obejmujące powiaty w okolicach Warszawy, Radomia oraz Koziencic – najgęstsza.

▪ Konkurencja w regionie i jego sąsiedztwie

W regionie numer 7 oraz jego sąsiedztwie znajduje się co najmniej 13 terminali intermodalnych o łącznej przepustowości 1,6 mln TEU/rok (17% całkowitej przepustowości wszystkich terminali intermodalnych w Polsce). Listę obiektów znajdujących się w regionie numer 7 i jego sąsiedztwie wraz z lokalizacją oraz roczną przepustowością przedstawia Tabela 12.

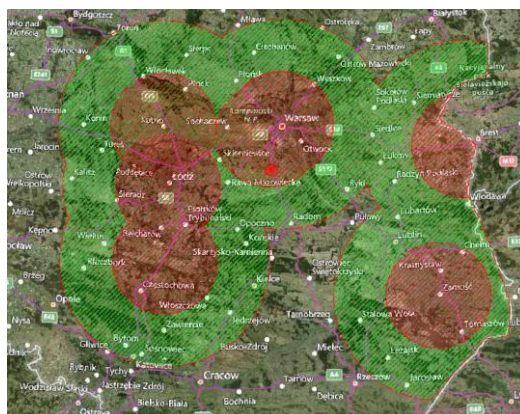
Tabela 12 Terminale intermodalne w regionie numer 7 oraz jego najbliższym sąsiedztwie

| Operator | Województwo | Miasto | Przepustowość [TEU/rok] | Powierzchnia składowa [TEU] | Powierzchnia działki [ha] | Długość torów ładunkowych [m] |
|-------------------|-------------|--------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|
| Erontrans | łódzkie | Radomsko | 18 000 | 1400 | 1,2 | 1x320 |
| Erontrans | łódzkie | Stryków | 32000 | 2000 | 1,6 | 1x320 |
| Loconi Intermodal | łódzkie | Radomsko | 100000 | 2500 | 6,4 | 1x600 |
| PCC Intermodal | łódzkie | Kutno | 250000 | 4000 | 11 | 4x700, 1x700 wyciągowy |
| Spedcont | łódzkie | Łódź | 150000 | 6000 | 9,2 | 2x600 |
| Loconi Intermodal | mazowieckie | Warszawa | 100000 | 2000 | 8 | 1x560 |
| Metrans Polonia | mazowieckie | Pruszków | 96000 | 1500 | 4,5 | 1x300, 1x200, 2x250 dojazdowy |
| PKP Connect | mazowieckie | Warszawa | 100000 | 3000 | 6,8 | 1x 320 |
| Centrostal | łódzkie | Łódź | 72000 | 6000 | 6,2 | 1x240 |
| PKP Cargo CL | lubelskie | Małaszewicze | 224000 | 2000 | 14,1 | 4 szt. łączn. 2282 (1520 mm), 4 szt. łączn. 2234 (1435 mm) |
| Adampol | lubelskie | Małaszewicze | 140000 | 10000 | 3 | 2000 |
| Agrostop | lubelskie | Małaszewicze | 200000 | 10000 | 6 | 10000 |

| Operator | Województwo | Miasto | Przepustowość [TEU/rok] | Powierzchnia składowa [TEU] | Powierzchnia działki [ha] | Długość torów ładunkowych [m] |
|-----------------|-------------|--------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Europort | lubelskie | Małaszewicze | 150000 | 1300 | 13 | 1090 |
| Hupac | mazowieckie | Brwinów | 180 000 | 3200 | 14 | 4x750 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UTK

Rysunek 61 przedstawia najważniejsze terminale intermodalne oraz ich zasięg w promieniu do 50 km (na czerwono) i 100 km (na zielono).



Rysunek 61 Zasięg terminali intermodalnych w promieniu 50 i 100 km w regionie numer 7 i jego sąsiedztwie

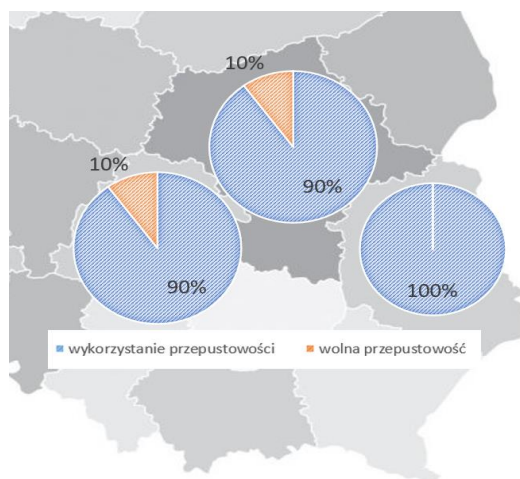
Źródło: opracowanie własne

Z powyższego rysunku mogłoby wynikać, iż terminale intermodalne położone w województwie mazowieckim, łódzkim oraz lubelskim konkurują ze sobą o ten sam strumień ładunków. Nie jest to jednak do końca prawda, ponieważ:

- terminale intermodalne zlokalizowane w okolicy Centrum Logistycznego Małaszewicze pełnią funkcję tranzytową dla pociągów przybywających z Nowego Jedwabnego Szlaku/Europy Zach. Do tej pory pociągi we wspomnianych terminalach intermodalnych przeładowywano zwykle w całości z jednego rozstawu torów na inny. Ostatnimi czasy (rok 2021 rok), stan infrastruktury kolejowej i ładunkowej w Centrum Logistycznym Małaszewicze implikuje konieczność aranżowania bezpośrednich dostaw drogowych do klientów rozproszonych po całej Polsce (a nawet Europie). Jest to wynikiem zwiększonego natężenia połączeń intermodalnych na Nowym Jedwabnym Szlaku i spóźnionych inwestycji w rozbudowę infrastruktury terminalowej oraz stacyjnej.
- właściciel nowego terminala intermodalnego *Hupac* w Brwinowie, zamierza oprzeć swój model biznesowy na dostawach wewnątrzkontynentalnych. Nowa baza przeładunkowa nie będzie, więc stanowiła konkurencji dla obiektu przeznaczonego do obsługi przesyłek nadawanych z/do portów morskich oraz na Nowym Jedwabnym Szlaku.

Warto także dodać, iż niektóre terminale intermodalne zlokalizowane w centralnej części kraju znajdują się w obrębie miast pośród gęstej zabudowy. Jak powszechnie wiadomo ruch towarowy generuje hałas oraz zanieczyszczenia spowodowane ruchem pojazdów ciężarowych, które skutecznie obniżają jakość życia mieszkańców okolicznych domostw. Z tego względu w niedalekiej perspektywie czasu koniecznością stanie się znalezienie nowych lokalizacji dla terminala PKP Connect i terminala Loconi Intermodal znajdujących się w Warszawie oraz terminala Metransu znajdującego się w Pruszkowie.

Prócz tego, większość terminali intermodalnych zlokalizowanych na Mazowszu, w województwie łódzkim i lubelskim znajduje się na skraju wyczerpania przepustowości przeładunkowej. Jest to pokłosie szybko-postępującej w Polsce i na świecie konteneryzacji ładunków. Szacunkowy procent wykorzystania przepustowości terminali intermodalnych w poszczególnych województwach obrazuje Rysunek 62.



Rysunek 62 Szacunkowe wykorzystanie przepustowości terminali intermodalnych w poszczególnych województwach

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów CPK

Terminale intermodalne znajdujące się w regionie numer 7 oraz jego bliskim sąsiedztwie posiadają stałe połączenia kolejowe zarówno z portami morskimi, jak i z Chinami na Nowym Jedwabnym Szlaku. Wyjątek stanowi terminal *Metransu* w Pruszkowie, który nie aranżuje bezpośrednich połączeń z polskich portów morskich, lecz z niemieckich portów przez hub znajdujący się w Gądkach pod Poznaniem. Uproszczoną siatkę połączeń pociągowych pomiędzy terminalami intermodalnymi znajdującymi się w regionie numer 7 oraz jego sąsiedztwie ilustruje Rysunek 63.



Rysunek 63 Siatka połączeń terminali intermodalnych najbliższych znajdujących się regionu numer 7
 Źródło: opracowanie własne

Większość terminali intermodalnych wskazanych w regionie numer 7 to terminale intermodalne o znaczeniu regionalnym/peryferyjnym. Ich zadaniem jest obsługa lokalnej klienteli poprzez odbiór oraz rozładunek całopociągowych przesyłek intermodalnych (tzw. *block train*) przybywających z portów morskich znajdujących się w Gdańsku bądź Gdyni. Na odwrót zasada działania przewozów intermodalnych jest identyczna. Przesyłki dostarczane są do terminala intermodalnego, w którym formowany jest skład. Następnie po sprzęgnięciu lokomotywy ze składem, gotowy do drogi pociąg wyprawiany jest w kierunku portu morskiego. Dostawy oraz odwozy z/do lokalnej klienteli dla tego typu terminali odbywają się zwykle do maksymalnie 50-100 km. Ruch kolejowy dla pociągów przybywających z Chin stanowi tutaj niewielki udział w ruchu terminalowym. Pociągi przybywające i wyprawiane z/na NJS to pociągi tranzytujące, które tylko częściowo się rozładowują bądź doładowują kontenerami. Funkcje poszczególnych terminali intermodalnych opisuje Tabela 13.

Tabela 13 Terminale intermodalne najbliższe znajdujące się regiony numer 7 i ich funkcje

| Operator | Miasto | Znaczenie |
|-------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Erontrans | Radomsko | Terminal regionalny – dostawy klient-terminal z/do portów morskich oraz NJS |
| Erontrans | Stryków | Terminal regionalny – dostawy klient-terminal z/do portów morskich oraz NJS |
| Loconi Intermodal | Radomsko | Terminal regionalny – dostawy klient-terminal z/do portów morskich oraz NJS |
| PCC Intermodal | Kutno | terminal hub |
| Spedcont | Łódź | Terminal regionalny – dostawy klient-terminal z/do portów morskich oraz NJS |
| Loconi Intermodal | Warszawa | Terminal regionalny – dostawy klient-terminal z/do portów morskich oraz NJS |
| Metrans Polonia | Pruszków | Terminal regionalny – dostawy klient-terminal. Terminal odgałęźny względem terminala w Gądkach |
| PKP Connect | Warszawa | Terminal regionalny – dostawy klient-terminal z/do portów morskich oraz NJS |
| Centrostal | Łódź | Terminal regionalny – dostawy klient-terminal z/do portów morskich |
| PKP Cargo CL | Małaszewicze | Terminal tranzytowy – przeładunek z jednego rozstawu torów na inny |
| Adampol | Małaszewicze | Terminal tranzytowy – przeładunek z jednego rozstawu torów na inny |

| Operator | Miasto | Znaczenie |
|----------|--------------|--------------------------------------------------------------------|
| Agrostop | Małaszewicze | Terminal tranzytowy – przeładunek z jednego rozstawu torów na inny |
| Europort | Małaszewicze | Terminal tranzytowy – przeładunek z jednego rozstawu torów na inny |
| Hupac | Brwinów | Terminal regionalny – dostawy klient-terminal z/do Europy |

Źródło: opracowanie własne

▪ Podsumowanie analiz wstępnych

Na podstawie wstępnych analiz postanowiono wykluczyć jednostki administracyjne, których nie powinno uwzględniać się w dalszych badaniach. Dzięki takiemu zabiegowi znacząco zawężono obszar poszukiwań oraz wyeliminowano możliwość przypadkowego wskazania lokalizacji terminala intermodalnego w miejscu, w którym jego funkcjonowanie nie miałoby racji bytu. Wykreślone jednostki administracyjne oraz powody ich wykreślenia z dalszych analiz przedstawia Tabela 14.

Tabela 14 Powiaty i miasta wykreślone z dalszych analiz

| Jednostka administracyjna | Powód wykluczenia z analiz |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| powiat zwoleński | Brak dostępu do infrastruktury kolejowej |
| powiat białobrzeski | Brak dostępu do infrastruktury kolejowej |
| powiat lipski | Brak dostępu do infrastruktury kolejowej |
| powiat otwocki | Zbyt duża powierzchnia obszarów chronionych i zbyt duża gęstość zaludnienia na terenach przy LK 7 |
| powiat rawski | Brak możliwości przyłączenia terminala intermodalnego do dedykowanej dla przewozów pasażerskich LK 4 |

Źródło: opracowanie własne

9.3. Wyznaczanie lokalizacji terminali intermodalnych dla ustalonego regionu

9.3.1. Lokalizacja terminala intermodalnego wyznaczona zmodyfikowaną metodą grawitacyjną

W pierwszym podejściu stwierdzono, iż optymalnie będzie, gdy terminal intermodalny zostanie umiejscowiony w obszarze zapewniającym najkorzystniejszą obsługę ludności zamieszkującej omawiany region poszukiwań. Ludzie są odbiorcami końcowymi produktów dostarczanych w kontenerach i naczepach, a tak jak już wspomniano duże skupiska ludzi generują duży popyt na dobra materialne dostarczane z centrów dystrybucyjnych. Centra zaopatrzeniowe są zaś zwykle zlokalizowane możliwie blisko dużych skupisk ludzi. Dostawy do nich bardzo często realizowane są w sposób całopojazdowy (FTL) i całokontenerowy (FCL), co stanowi pewien prospekt dla rozwoju modelu biznesowego przedsiębiorstwa zarządzającego terminalami intermodalnymi.

Do wskazania pierwszej lokalizacji terminala intermodalnego posłużono się metodą grawitacyjną, którą na potrzeby badawcze odpowiednio zmodyfikowano. Współrzędne geograficzne optymalnej lokalizacji terminala intermodalnego wyznaczono w dwóch wariantach. Opisano je poniżej:

- **Wariant I – badania dla miejskiego potencjału demograficznego**

W pierwszym wariacie przy wyznaczaniu lokalizacji terminala intermodalnego uwzględniono ludność zamieszkującą wszystkie miasta znajdujące się w obszarze poszukiwań.

Na początku badań niniejszą metodą należało odczytać współrzędne geograficzne zidentyfikowanych w regionie poszukiwań miast $(X_{ic(rp)}^{MS}, Y_{ic(rp)}^{MS})$. W stosunku do tradycyjnej metody grawitacyjnej ilości transportowanych wolumenów jłti zastąpiono liczbą ludności zamieszkującą dane miasto $(L_{ic(rp)}^{MS})$. Zgodnie z założeniami pominięto jednostkowe koszty dostaw.

We wskazanym obszarze województwa mazowieckiego i części łódzkiego znajdują się łącznie 54 miasta. Największe z nich to Warszawa (~1.8 mln mieszkańców), Radom (~215 tys.), Pruszków (~60 tys.) oraz Mińsk Mazowiecki, Otwock, Piaseczno (~40 tys.). W większości miast nie mieszka więcej niż 10 tys. Liczbę ludności zamieszkującą poszczególne miejscowości i ich współrzędne geograficzne przedstawia Załącznik 3.

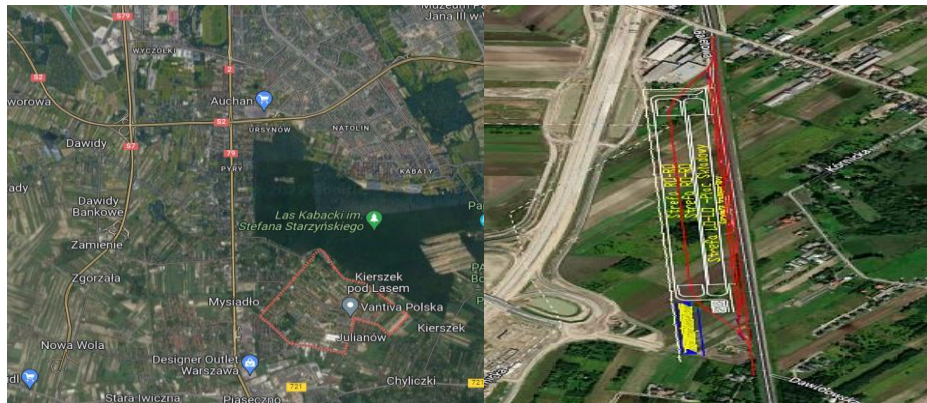
Do wyznaczenia współrzędnych geograficznych pierwszej lokalizacji skorzystano ze wzoru 56 oraz danych zawartych we wcześniej wspomnianej tabeli. Współrzędne lokalizacji (L_{rp}^1) wynoszą odpowiednio:

$$X_{LOK/M}(rp) = 21,04; Y_{LOK/M}(rp) = 52,11$$

Lokalizacja o powyższych współrzędnych znajduje się we wsi Józefosław (powiat piaseczyński) – pomiędzy Piasecznem a Warszawą, 368 km od DCT Gdańsk i ok. 2.4 km od LK 8.

Większość dużych powierzchniowo działek zlokalizowanych na południe od wsi Józefosław znajduje się w obszarach ściśle chronionym, w których nie będzie można zrealizować inwestycji. Jedynym dużym, niechronionym i niezagospodarowanym terenem w pobliżu miejscowości Józefosław jest powierzchnia usytuowana ok. 3 km na północny-zachód w miejscowości Jeziorki Południowe. Teren ten rozpościera się wzdłuż trasy S7 (Rysunek 64). Po jego północnej stronie przebiega trasa S2. Niedaleko omawianych gruntów (ok. 2 km) znajduje się stacja kolejowa (Okęcie Cargo), na którą potencjalnie można by było odstawiać

załadowane składy. Niestety wjazd na stację towarową musiałby odbywać się po torze szlakowym. Wymiary dostępnej powierzchni wynoszą 1200x170 m – Rysunek 64.

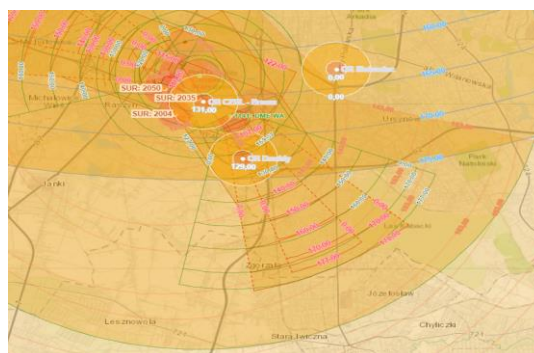


Rysunek 64 Propozycja lokalizacji terminala intermodalnego nieopodal miejscowości Józefosław
Źródło: opracowanie własne na podstawie GoogleEarth

Ostatecznie zrewidowane koordynaty geograficzne lokalizacji (L^1) wynoszą odpowiednio:

$$X_{LOK/M}^{Zrew}(rp) = 21,04; Y_{LOK/M}^{Zrew}(rp) = 52,11$$

Wskazana nieruchomość znajduje się w obrębie powierzchni wznoszenia dla samolotów startujących z lotniska Okęcie (Rysunek 65). Z tego powodu na tę chwilę nie będzie możliwa tutaj instalacja suwnic bramowych w świetle pasa startowego, gdyż maszyny te zwykle pracują na wysokości 30-35 m. Prawdopodobnie w przyszłości jednak lotnisko Chopina zostanie zlikwidowane na rzecz projektu Centralnego Portu Komunikacyjnego, wtedy będzie można rozważyć implementację suwnic bądź instalację terminala intermodalnego na miejscu lotniska.



Rysunek 65 Obszar wznoszenia lotniska Okęcie

Źródło: www.caa-pl.maps.arcgis.com

- **Ukształtowanie terenu:** Wysokość działki, na której mógłby znaleźć się terminal intermodalny waha się od 105 do 115 m. Terminal intermodalny powinien zostać

zbudowany na rzędnej 110 m n.p.m. Przy takiej wysokości należałoby wykonać 690 tys. m³ nasypu oraz 217 tys. m³ wykopu.

- **Obsługa regionu:** W regionie poszukiwań, w promieniu do 50 km – terminal intermodalny zapewni obsługę dla 2.96 mln osób oraz dla 328 zakładów pracy.
- **Stopa bezrobocia:** W powiecie piaseczyńskim stopa bezrobocia w 2021 roku nie przekraczała 1.4%. Lokalizacja terminala intermodalnego nie przełożyłaby się więc znacząco na aktywność zawodową okolicznych mieszkańców.
- **Oddziaływanie na lokalną społeczność i środowisko:** Około 699 hektarów w promieniu 2 km stanowi powierzchnia zamieszkała przez ludzi. Aby umiejscowić tutaj terminal intermodalny konieczne byłoby zlikwidowanie co najmniej 6 gospodarstw domowych, jednej dróg o znaczeniu lokalnym oraz ok. 1 ha lasu (3 tys. drzew). Ponadto należałoby także zainstalować około 720 m ekranów akustycznych, chroniących okolicznych mieszkańców przed hałasem emitowanym przez terminal intermodalny.

Teren przeznaczony pod budowę terminala intermodalnego i stacji nie jest objęty żadną formą ochrony prawnej, przyrodniczej ani kulturowej, aczkolwiek w odległości 2 km przebiega granica lasu kabackiego, który wchodzi w skład obszarów Natura2000.

- **Natężenie ruchu i infrastruktura kolejowa:** Terminal intermodalny w Jeziorkach k. Piaseczna docelowo powinien zostać połączony z LK 8, po której dziennie przejeżdża 60 pociągów, w tym 3 pociągi towarowe. Kolejowo-samochodowa baza przeładunkowa przyległa do niniejszej linii znacząco podniosłaby stopień wykorzystania omawianej linii kolejowej dzięki przeniesieniu ruchu pojazdów ciężarowych z drogi S2 i S7 na tory.

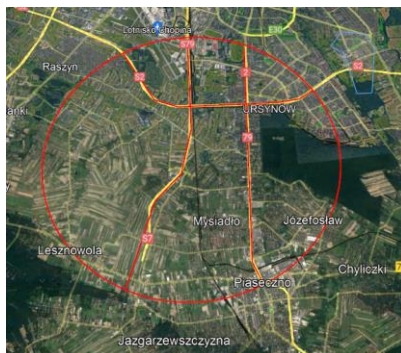
Lokalizacja terminala intermodalnego w Jeziorkach umożliwia nadawanie pociągów jedynie w kierunku północnym i południowym, jednak w oddalonej o 12 km miejscowości Bronisławów znajdują się łącznice kolejowe między LK 8 i LK 12, po których możliwe byłoby także skręcanie w kierunku wschodnim i zachodnim.

Dla niniejszego terminala intermodalnego rekomenduje się odstawianie pociągów do stacji towarowej Okęcie. Nie ma możliwości dobudowania toru dojazdowego, co oznacza, że przejazd na stację będzie kolidował z torem szlakowym. Należy się liczyć z tym, że zarządca infrastruktury liniowej nie zgodzi się na prowadzenie jazd manewrowych po torze szlakowym.

- **Natężenie ruchu i infrastruktura drogowa:** Przez znajdujący się nieopodal warszawski węzeł drogowy dziennie przejeżdża ok. 15.7 tys. pojazdów ciężarowych z przyczepą na dobę. Natomiast przez drogę szybkiego ruchu S2, która biegnie na północ od planowanej lokalizacji terminala intermodalnego przejeżdża około 1.3 tys. pojazdów ciężarowych na

dobę. Obok niej przebiega również nowy odcinek trasy S7, który niedawno został włączony do eksploatacji.

Łącznie, w promieniu 5 km od działki terminala intermodalnego znajduje się ponad 27 km dobrej jakości dróg umożliwiających szybkie włączenie samochodów ciężarowych do ruchu drogowego. Warto dodać, iż nowo otwarta trasa S7, która zostanie połączona z terminalem drogą dojazdową posiada znaczą ilość wolnej przepustowości. Geometrię ważniejszych dróg w promieniu 5 km od terminala intermodalnego ilustruje Rysunek 66.



Rysunek 66 Geometria tras szybkiego ruchu w promieniu 5 km od terminala intermodalnego w Jeziorkach

Źródło: opracowanie własne na podstawie GoogleEarth

- **Media i kolizje:** Działka terminala intermodalnego w promieniu 1 km posiada w swoim zasięgu dostęp do sieci gazowej, wodociągowej, kanalizacyjnej, telekomunikacyjnej, elektroenergetycznej. Natomiast nie ma dostępu do sieci ciepłowniczej. Dodatkowo, w odległości ok. 0.3 km na północ od lokalizacji przebiega linia wysokiego napięcia, a w odległości ok. 2.5 km na południe od lokalizacji przebiega linia najwyższego napięcia. Aby wybudować terminal intermodalny w niniejszej lokalizacji należy usunąć kolizje z siecią elektroenergetyczną (ok. 1000 m), kanalizacyjną (ok. 2000 m) i gazową (ok. 500m).
- **Cena gruntów i koszt zmienny¹⁰ budowy terminala intermodalnego:** Średnia cena 1 ha ziemi w miejscowości nieopodal Warszawy wynosi 10 mln zł. Koszt zmienny budowy terminala intermodalnego w Jeziorkach oszacowano na 164 mln zł.

¹⁰ Koszty zmienny budowy terminala intermodalnego – na potrzeby niniejszej pracy przyjęto, iż koszty zmienne budowy terminala intermodalnego są to koszty, których wartość może się zmienić w zależności od położenia geograficzno-środowiskowego lokalizacji terminala intermodalnego (np. koszt robót ziemnych, prace środowiskowe związane z przebudową zbiorników wodnych, koszt odszkodowań z tytułu wysiedlenia gospodarstwa domowego itp.)

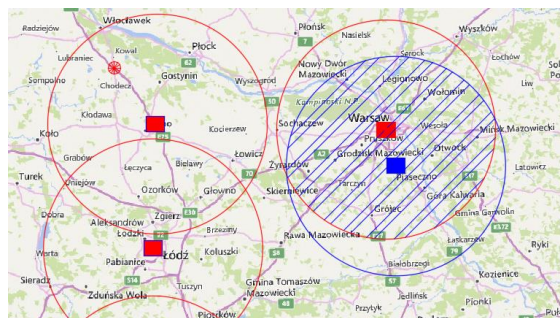
- **Rezerwa pod rozbudowę:** Wokół terminala intermodalnego znajduje się 10-ha rezerwa terenowej dla potencjalnej rozbudowy obiektu. Rezerwę terenu dedykowaną rozbudowie terminala intermodalnego prezentuje Rysunek 67.



Rysunek 67 Rezerwa pod rozbudowę terminala intermodalnego w Jeziorkach k. Piaseczna

Źródło: opracowanie własne

- **Kolizja ze strefą biznesową terminali konkurencyjnych:** Strefa biznesowa terminala intermodalnego w Jeziorkach kolidowałaby na 78.9% swojej powierzchni ze strefą biznesową innych terminali (przy założeniu, że promień oddziaływania nowego terminala intermodalnego wynosi 50 km) – Rysunek 68.



Rysunek 68 Kolizja ze strefą biznesową terminala intermodalnego w Jeziorkach względem innych terminali

Źródło: opracowanie własne

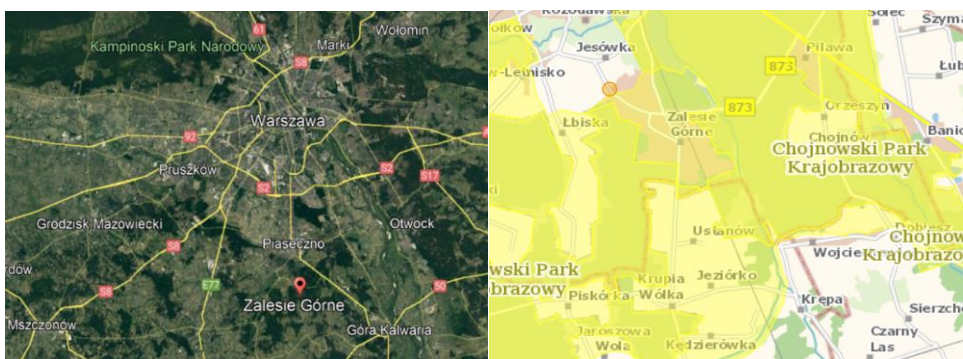
- **Wariant II – badania dla miejsko-wiejskiego potencjału demograficznego**

W drugim wariantcie zmodyfikowanej metody grawitacyjnej przeprowadzono analizę dla ludności zamieszkującej miasta i wsie. W celu uproszczenia analiz, danej liczbie ludności zamieszkującej $pc(rp)$ – ty powiat przypisano współrzędne geograficzne $pc(rp)$ – tego miasta powiatowego $(X_{pc(rp)}^{POW}, Y_{pc(rp)}^{POW})$ – Załącznik 4. Po wykonaniu uprzedniego kroku, w dalszej kolejności obliczono liczbę osób zamieszkujących wsie $(L_{pc(rp)}^{WSI})$ w pc – tym powiecie rp – tego regionu. W obliczeniach pominięto miasta Radom i Warszawę stąd: $pc(rp) \in PC(rp) \cup pc(rp) \neq \{13,17\}$. Po wyliczeniu liczby ludności zamieszkałej wsie

można było przejść do wyznaczenia współrzędnych geograficznych drugiej lokalizacji (L_{rp}^2). Skorzystano ze wzoru 57 oraz danych, które zawiera Załącznik 4. Po przeprowadzeniu niezbędnych obliczeń otrzymano następujące współrzędne:

$$X_{LOK/P}^{Zrew}(rp) = 21,04; Y_{LOK/P}^{Zrew}(rp) = 52,04$$

Lokalizacja o powyższych współrzędnych geograficznych znajduje się w Zalesiu Górnym (powiat piaseczyński) – ok. 8 km od lokalizacji wyznaczonej w Wariancie I. Przez Zalesie Górne biegnie LK 8 (Rysunek 69). Niestety miejscowość Zalesie całkowicie znajduje się w obszarze Parku Krajobrazowego, na którym będzie bardzo trudno uzyskać zgodę środowiskową niezbędną dla budowy terminala intermodalnego.



Rysunek 69 Propozycja lokalizacji terminala intermodalnego nieopodal wsi Zalesie Górne (powiat piaseczyński)

Źródło: opracowanie własne na podstawie GoogleEarth

Odpowiednio duża działka dla terminala intermodalnego znajduje się 5 km na południe we wsi Bronisławów na przecięciu LK 8 oraz LK 12. Jak się okazało położona jest na obszarze chronionego krajobrazu. Chociaż istnieje duże prawdopodobieństwo, iż zostanie uzyskana zgoda środowiskowa na przeprowadzenie inwestycji w tym miejscu, to należałoby zlikwidować las i zrekompensować powstałe szkody środowiskowe. To z kolei mogłoby wpłynąć na podwyższenie kosztów budowy terminala intermodalnego. Fundamentalną wadą niniejszej lokalizacji jest także brak dostępu do dobrej jakości infrastruktury drogowej.

Biorąc pod uwagę przeszkody geograficzne, środowiskowe i techniczne zaniechano dalszych poszukiwań lokalizacji dla terminala intermodalnego niniejszą metodą.

9.3.2. Lokalizacja terminala intermodalnego wyznaczona metodą klastrową dla potencjału rolnego

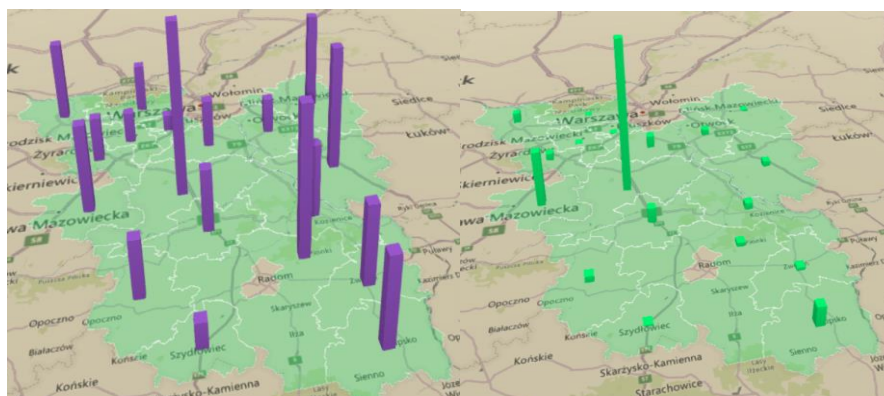
W pierwszym kroku niniejszej metody odczytano powierzchnię użytków rolnych w poszczególnych powiatach znajdujących się w regionie poszukiwań. Do tego celu pozyskano

dane z Powszechnego Spisu Rolnego przeprowadzonego na przełomie 2020 roku. Następnie zbudowano klastry zgodnie z krokiem I omawianej metody. Wyszczególniono ich 20:

$$sm(rp) = \left\{ \begin{array}{l} 1 - kl. białobrzeski, 2 - kl. garwoliński, 3 - kl. grodziski, \\ 4 - kl. grójecki, 5 - kl. kozienicki, 6 - kl. lipski \\ 7 - kl. miński, 8 - kl. otwocki, 9 - kl. piaseczyński, \\ 10 - kl. pruszkowski, 11 - kl. przysuski, 12 - kl. m. Radom, \\ 13 - kl. radomski, 14 - kl. rawski, 15 - kl. sochaczewski \\ 16 - kl. szydłowiecki, 17 - kl. m. Warszawa, 18 - kl. warszawski - zach. \\ 19 - kl. zwoleński, 20 - kl. żyrardowski \end{array} \right\}$$

Powierznię użytków rolnych w poszczególnych klastrach zsumowano i zamieszczono w tabeli znajdującej się w załączniku (Załącznik 5 – przykład dla wybranych klastrow).

Okazało się, iż największa powierzchnia użytków rolnych znajduje się w klastrze o numerze $sm(rp)^* = 4$ w powiecie grójeckim ($pc(rp)^* = 4$). Poniżej dla przykładu zilustrowano powierzchnię użytków rolnych w poszczególnych powiatach oraz powierzchnię sadów owocowych – Rysunek 70.



Rysunek 70 Powierzchnia użytków rolnych (1) oraz powierzchnia sadów owocowych (2)

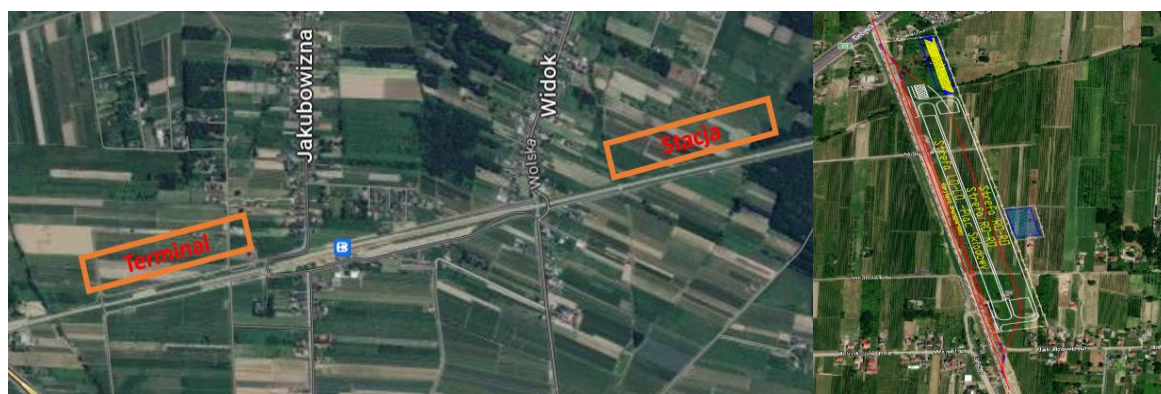
Źródło: opracowanie własne

W niniejszej metodzie zaproponowano aby terminal intermodalny zlokalizować w miejscowości Chynów. Grunty na których można by było potencjalnie wybudować terminal intermodalny i stację w Chynowie przedstawia Rysunek 71. Koordynaty lokalizacji terminala intermodalnego (L_{rp}^3) według omawianej metody wynoszą:

$$X_{LOK/K}(rp) = 21,10; Y_{LOK/K}(rp) = 51,89$$

Chynów, to wieś zamieszkała przez ok. 1000 mieszkańców. Znajduje się w odległości 394 km od portu DCT Gdańsk, 15 km w linii prostej na zachód od Góry Kalwarii, 15 km na wschód od Grójca, 15 km na północ od Warki i 30 km na południe od Piaseczna. Tak duża odległość od większego miasta stanowi pewnego rodzaju przeciwwskazanie

do przeprowadzenia inwestycji w tym miejscu. Wokół terminala intermodalnego zwykle rozwijają się zaplecza logistyczne firm, mające największe szanse na ekspansję blisko rynku zbytu i rynku pracy. Kolejnym znaczącym przeciwwskazaniem do budowy terminala intermodalnego w tym miejscu są sady, których likwidacja może wzbudzić gwałtowne protesty okolicznych gospodarzy. Pomimo tego, w Chynowie znajduje się duża połać terenu nie objęta żadną formą ochrony prawnej. Omawiana lokalizacja (Rysunek 71) posiada dostęp do dobrej jakości drogi kołowej (DK50), która chętnie uczęszczana jest przez samochody ciężarowe. Dodatkowo teren wokół terminala intermodalnego uzbrojony jest w niezbędne media.



Rysunek 71 Lokalizacja terminala intermodalnego (1), koncepcja włączenia terminala intermodalnego do LK 8 (2)

Źródło: opracowanie własne

- **Ukształtowanie terenu:** Wysokość działki, na której mógłby znaleźć się terminal intermodalny waha się od 120 do 128 m. Terminal intermodalny powinien zostać zbudowany na rzędnej 124.5 m n.p.m. Przy takiej wysokości należałoby wykonać 105 tys. m³ nasypu oraz 172 tys. m³ wykopu.
- **Obsługa regionu:** W regionie poszukiwań, w promieniu do 50 km – terminal intermodalny zapewniałby obsługę dla 2.98 mln osób oraz dla 328 zakładów pracy.
- **Stopa bezrobocia:** W powiecie grójeckim i piaseczyńskim stopa bezrobocia w 2021 roku nie przekraczała 2%. Terminal intermodalny w tym miejscu nie miałby więc znaczącej szansy przełożyć się na aktywność zawodową okolicznych mieszkańców.
- **Oddziaływanie na lokalną społeczność i środowisko:** Około 495 hektarów w promieniu 2 km stanowi powierzchnia zamieszkała przez ludzi. Aby umiejscowić tutaj terminal intermodalny konieczne byłoby zlikwidowanie co najmniej dwóch gospodarstw domowych, dwóch dróg o znaczeniu lokalnym oraz ok. 8 ha sadów (28 tys. drzew) dla których nie prowadzi się kompensacji przyrodniczej. Ponadto należałoby także

zainstalować około 800 m ekranów akustycznych, chroniących okolicznych mieszkańców przed hałasem emitowanym przez terminal intermodalny.

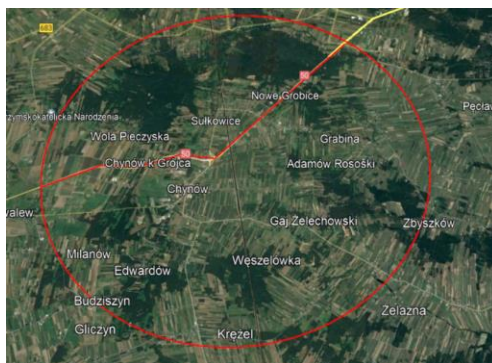
Teren przeznaczony pod budowę terminala intermodalnego i stacji nie jest objęty żadną formą ochrony prawnej, przyrodniczej ani kulturowej, aczkolwiek w odległości 2,7 km przebiega granica warszawskiego obszaru chronionego krajobrazu.

- **Natężenie ruchu i infrastruktura kolejowa:** Terminal intermodalny w Chynowie mógłby zostać połączony z LK 8, przez którą dziennie przejeżdża 60 pociągów, w tym 3 pociągi towarowe. Kolejowo-samochodowa baza przeładunkowa przyłączona do niniejszej linii znacząco podniosłaby stopień wykorzystania omawianej linii kolejowej dzięki przeniesieniu ruchu pojazdów ciężarowych z DK50 na tory. Lokalizacja terminala intermodalnego w Chynowie umożliwia nadawanie pociągów bezpośrednio jedynie w kierunku północnym i południowym, jednak w oddalonej o 8 km miejscowości Bronisławów znajdują się dwie łącznice kolejowe między LK 8 i LK 12, po których możliwy byłby skręt pociągu w kierunku wschodnim i zachodnim.

Na tę chwilę, najbliższej położona stacja kolejowa znajduje się w Warce. Jest jednak zbyt daleko oddalona od terminala intermodalnego, aby móc prowadzić do niej manewry lokomotywą spalinową po torze szlakowym. Dlatego też, dla niniejszego terminala intermodalnego rekomenduje się wybudowanie stacji kolejowej 1.5 km na południe od obiektu.

- **Natężenie ruchu i infrastruktura drogowa:** Przez węzeł drogowy znajdujący się 12 km na wschód od Chynowa (w Górze Kalwarii) dziennie przejeżdża ok. 7 tys. pojazdów ciężarowych z przyczepą w dobie. Przez węzeł znajdujący się na zachodzie (w Grójcu) – ok. 10.3 tys., natomiast przez DK50, która biegnie przez wspomnianą wieś przejeżdża około 3.8 tys. pojazdów ciężarowych w dobie.

Łącznie, w promieniu 5 km od działki terminala intermodalnego znajduje się niewiele ponad 10 km dobrej jakości dróg umożliwiających szybkie włączenie samochodów ciężarowych do ruchu drogowego. Droga Krajowa nr 50, która byłaby połączona z terminalem intermodalnym drogą dojazdową posiada około 68% wolnej przepustowości (27.7 tys. poj./dobe). Geometrię ważniejszych dróg w promieniu 5 km od terminala intermodalnego ilustruje Rysunek 72.



Rysunek 72 Geometria tras szybkiego ruchu w promieniu 5 km od terminala intermodalnego w Chynowie

Źródło: opracowanie własne na podstawie GoogleEarth

- **Media i kolizje:** Działka terminala intermodalnego w promieniu 1 km posiada w swoim zasięgu dostęp do sieci gazowej, wodociągowej, kanalizacyjnej, telekomunikacyjnej, elektroenergetycznej. Natomiast nie ma dostępu do sieci ciepłowniczej. Dodatkowo, w odległości ok. 6.5 km na zachód od lokalizacji przebiega linia najwyższego napięcia. Aby zbudować terminal intermodalny w niniejszej lokalizacji należałoby przebudować kolizje z siecią telekomunikacyjną (ok. 500 m), elektroenergetyczną (ok. 500 m), wodociągową (ok. 500 m), kanalizacyjną (ok. 400 m) i gazową (ok. 400 m). Kolizje z uzbrojeniem terenu prezentuje Rysunek 73.



Rysunek 73 Uzbrojenie terenu na działce zarezerwowanej pod budowę terminala intermodalnego w miejscowości Chynów

Źródło: GIS, Geoportal

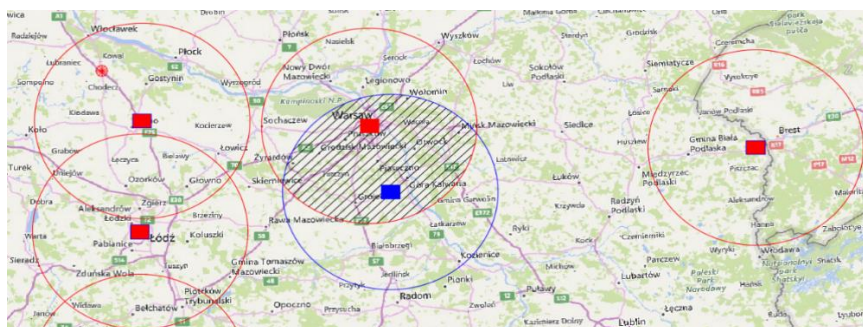
- **Cena gruntów i koszt zmienny budowy terminala intermodalnego:** Średnia cena 1 ha ziemi w miejscowości Chynów wynosi 760 000 zł. Koszt zmienny budowy terminala intermodalnego w Chynowie oszacowano na 39.5 mln zł.
- **Rezerwa pod rozbudowę:** Wokół terminala znajduje się 64-ha rezerwy terenowej dla potencjalnej rozbudowy obiektu. Rezerwę terenu dedykowaną rozbudowie terminala intermodalnego obrazuje Rysunek 74.



Rysunek 74 Rezerwa terenu pod rozbudowę terminala w Chynowie

Źródło: opracowanie własne

- **Kolizja ze strefą biznesową terminali konkurencyjnych:** Strefa biznesowa terminala intermodalnego w Chynowie kolidowałaby na 55.7% swojej powierzchni ze strefą biznesową innych terminali intermodalnych (przy założeniu, że promień oddziaływania nowego terminala intermodalnego wynosi 50 km) – Rysunek 75.



Rysunek 75 Kolizja ze strefą biznesową terminala intermodalnego w Chynowie względem innych terminali

Źródło: opracowanie własne

9.3.3. Lokalizacja terminala intermodalnego wyznaczona zmodyfikowaną metodą maksymalnego pokrycia

W niniejszej pracy mechanika wyznaczania lokalizacji zmodyfikowaną metodą maksymalnego pokrycia jest bardzo podobna do mechaniki wyznaczania lokalizacji zmodyfikowaną metodą grawitacyjną. Tym jednak razem, współrzędne geograficzne miast, zamieszkałych przez daną populację zastąpiły współrzędne geograficzne miejscowości, w których znajduje się zidentyfikowane przedsiębiorstwo $(X_{nh(rp)}^Z, Y_{nh(rp)}^Z)$. Liczbę ludności zastąpiono potencjałem transportowym – czyli szacowaną liczbą dostaw realizowaną samochodami ciężarowymi w ciągu tygodnia do danego typu zakładu $L_{nh(rp)}^Z$. Przypisany potencjał transportowy przedsiębiorstwa wynikał z empirycznych obserwacji rynku. Przyjęto, że przedsiębiorstwo danego typu generuje popyt o wielkości:

$$MAL = 10 \frac{\text{dostaw}}{\text{tydzień}}, SRE = 30 \frac{\text{dostaw}}{\text{tydzień}}, DUZ = 80 \frac{\text{dostaw}}{\text{tydzień}}, BD = 140 \frac{\text{dostaw}}{\text{tydzień}}$$

W tej metodzie należało określić także promień oddziaływania terminali intermodalnych. Założono, iż wynosi on:

$$FH = 50 \text{ km}$$

Wartość 50 km to wartość standardowa, dla której prowadzi się analizy oddziaływania transportu intermodalnego na środowisko biznesowe. Wartość ta pojawia się w wielu publikacjach na świecie [89], [182], [191].

Sumarycznie w obrębie regionu poszukiwań zidentyfikowano 568 zakładów pracy ($NH(rp) = 568$) oraz 8 potencjalnych lokalizacji dla budowy terminala intermodalnego ($PZ(rp) = 8$). Listę zakładów pracy znajdujących się w regionie numer 7 zawiera Załącznik 6. Listę proponowanych lokalizacji oraz sumaryczny potencjał generowany przez zakłady pracy znajdujące się w promieniu $FH = 50 \text{ km}$ od $pz(rp)$ – tej lokalizacji przedstawia Tabela 15.

Tabela 15 Proponowane lokalizacje dla budowy terminala intermodalnego oraz dane o popycie generowanym w promieniu 50 km

| Lp. ($pz(rp)$) | Lokalizacja | Współrzędne geogr. proponowanej lok. $(X_{pz(rp)}^0, Y_{pz(rp)}^0)$ | Liczba zakładów pracy obsługiwana z $pz(rp)$ – tej lokalizacji w promieniu 50 km $(\sum_{nh(rp)=1}^{NH(rp)} TH_{nh(rp)}^{pz(rp)})$ | Potencjał popytowy generowany w promieniu 50 km ($PH_{pz(rp)}$) |
|---------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Mszczonów | 51,97 20,5 | 330 | 9900 |
| 2 | Tarczyn | 51,98 20,72 | 345 | 10350 |
| 3 | Radom | 51,4 21,12 | 138 | 4140 |
| 4 | Biała Rawska | 51,81 20,51 | 275 | 8250 |
| 5 | Warka | 51,85 21,16 | 295 | 8850 |
| 6 | Ożarów Maz. | 52,21 20,83 | 323 | 9690 |
| 7 | Garwolin | 51,9 21,61 | 113 | 3390 |
| 8 | Kozienice | 51,58 21,54 | 131 | 3930 |
| 9 | Piaseczno | 52,08 21,02 | 328 | 9840 |

Źródło: opracowanie własne

Okazało się, iż największy popyt na przewozy wygeneruje lokalizacja w Tarczynie ($pz(rp) = 2$). Według zaproponowanej metodyki w promieniu 50 km potencjalnie może odbywać się łącznie 10350 dostaw tygodniowo.

Odpowiednio duża powierzchnia w Tarczynie dla niniejszej inwestycji znajduje się przy stacji towarowej przyległej do LK 12. Działka bezpośrednio sąsiaduje z *mini* strefą przemysłową wspomnianego miasta. Teren na którym można by było potencjalnie wybudować terminal intermodalny prezentuje Rysunek 76.



Rysunek 76 Propozycja lokalizacji terminala intermodalnego w Tarczynie

Źródło: opracowanie własne na podstawie GoogleEarth

Współrzędne geograficzne (L_{rp}^4) nowej lokalizacji terminala intermodalnego dla $pz(rp)^* = 2$ w niniejszej metodzie wynoszą:

$$L_{rp}^4(X_{LOK/Z}(rp) = 20,82; Y_{LOK/Z}(rp) = 51,96$$

Tarczyn to 4 tys. miasto położone w odległości 371 km od portu DCT Gdańsk, 30 km na południe od Warszawy, 15 km na północ od Grójca, 20 km na wschód od Mszczonowa i 30 km na zachód od Góry Kalwarii. Przeciwwskazaniem do budowy terminala intermodalnego w tym miejscu są ponownie sady, których likwidacja może wzbudzić gwałtowne protesty okolicznych gospodarzy. W Tarczynie znajduje się jednak duża połać terenu nie objęta ochroną prawną, na której w przyszłości będzie można prowadzić inwestycje o charakterze logistycznym lub przemysłowym. Warto dodać, iż powiat piaseczyński cieszy się dużym zaufaniem inwestorów.

Omawiana lokalizacja posiada dostęp do dobrej jakości dróg publicznych bardzo chętnie uczęszczanych przez samochody ciężarowe, a teren wokół terminala intermodalnego uzbrojony jest w niezbędne media. Plan sytuacyjny z wpisanym w działkę terminalem intermodalnym obrazuje Rysunek 77.



Rysunek 77 Wpięcie terminala intermodalnego do LK 12 na wysokości Tarczyna

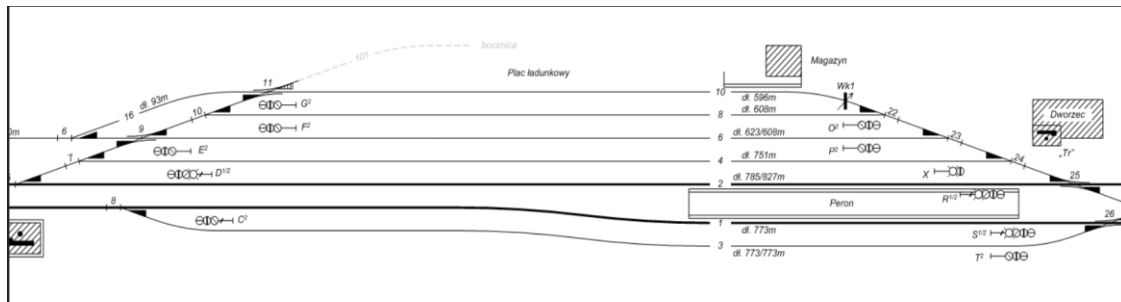
Źródło: opracowanie własne

- **Ukształtowanie terenu:** Wysokość terenu waha się tutaj od 149 do 161 m n.p.m. Terminal intermodalny powinien zostać wybudowany na rzędnej 154.3 m n.p.m. Przy takiej wysokości należałoby wykonać 232 tys. m³ nasypu oraz 130 tys. m³ wykopu.
- **Obsługa regionu:** W regionie poszukiwań, w promieniu do 50 km – terminal intermodalny zapewniałby obsługę dla 2.91 mln osób oraz dla 345 zakładów pracy.
- **Stopa bezrobocia:** W powiecie piaseczyńskim oraz sąsiadującym powiecie grójeckim stopa bezrobocia nie przekracza 2%. Lokalizacja terminala intermodalnego nie miałaby więc większego wpływu na aktywność zawodową ich mieszkańców.
- **Oddziaływanie na lokalną społeczność i środowisko:** Około 330 hektarów w promieniu 2 km od terminala intermodalnego zajmują powierzchnie zamieszkałe przez ludzi. W celu umiejscowienia terminala intermodalnego we wskazanym miejscu należałoby zlikwidować 4 gospodarstwa mieszkalne, jedną drogę o znaczeniu lokalnym oraz 10 ha sadów (ok. 35 tys. drzew), dla których nie prowadzi się kompensacji przyrodniczej. Ponadto, rekomenduje się zainstalowanie ok. 400 m ekranów akustycznych.

Teren (ani jego otoczenie) nie są objęte żadną formą ochrony prawnej, przyrodniczej ani kulturowej – aczkolwiek w odległości mniejszej niż 1 km przebiega granica warszawskiego obszaru chronionego krajobrazu. Wzmożony ruch pojazdów ciężarowych może więc negatywnie wpłynąć na florę i faunę sąsiadującą z terminalem intermodalnym.

- **Natężenie ruchu i infrastruktura kolejowa:** Terminal intermodalny w Tarczynie mógłby zostać połączony z LK 12, przez którą codziennie przejeżdża 30 pociągów w tym 25 pociągów towarowych. Na tę chwilę po LK 12 poruszają się głównie pociągi jadące z/na NJS w kierunku wschód-zachód. Implementacja terminala intermodalnego w niniejszym miejscu mogłaby podnieść stopień wykorzystania niniejszej linii kolejowej poprzez przeniesienie ruchu pojazdów ciężarowych z trasy S7 na tory. Warto dodać, iż z omawianej linii można zjechać w kierunku południowym lub północnym poprzez łącznice z LK 8 oraz południowym poprzez łącznicę z CMK.

Obok terminala intermodalnego znajduje się stacja kolejowa, którą wystarczyłoby rozbudować o kilka torów dodatkowych, aby móc buforować na niej pociągi obsługiwane z terminala intermodalnego. Aktualny układ torów dodatkowych w stacji Tarczyn przedstawia Rysunek 78.

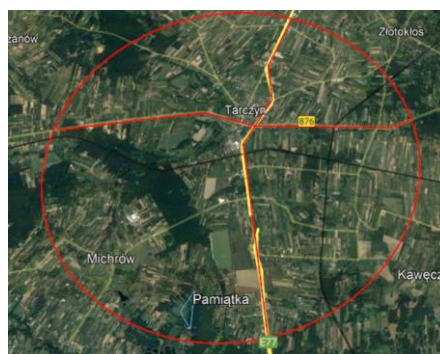


Rysunek 78 Geometria układów torowych stacji Tarczyn [Dostęp: 20.09.2022]

Źródło: www.semaforek.kolej.org.pl

Do niniejszej stacji rekomenduje się dobudowanie kilku torów odstawkowych i ok. 0.9 km toru wyciągowego.

- **Natężenie ruchu i infrastruktura drogowa:** Przez najbliższy węzeł drogowy znajdujący się w Tarczynie dziennie przejeżdża ok. 2.7 tys. pojazdów ciężarowych z przyczepą. Przez Tarczyn z północy na południe biegnie trasa szybkiego ruchu S7, natomiast ze wschodu na zachód – droga wojewódzka nr 867. W promieniu 5 km od działki terminala intermodalnego znajduje się ok. 20 km dobrej jakości dróg umożliwiających sprawne włączenie samochodów ciężarowych do ruchu drogowego. Droga S7, która byłaby połączona z terminalem intermodalnym drogą dojazdową posiada około 48% wolnej przepustowości (39.5 tys. poj./dobę). Geometrię ważniejszych dróg w promieniu 5 km od terminala intermodalnego przedstawia Rysunek 79.



Rysunek 79 Geometria tras szybkiego ruchu w promieniu 5 km od terminala intermodalnego w Tarczynie

Źródło: opracowanie własne na podstawie GoogleEarth

- **Media i kolizje:** Działka terminala intermodalnego w promieniu 1 km posiada dostęp do sieci gazowej, wodociągowej, kanalizacyjnej, telekomunikacyjnej, elektroenergetycznej oraz ciepłowniczej. Dodatkowo, w odległości ok. 0.3 km na północ od lokalizacji przebiega linia wysokiego napięcia.

Aby wybudować terminal intermodalny w niniejszej lokalizacji należy przebudować kolizje z siecią telekomunikacyjną (ok. 200 m) i elektroenergetyczną (ok. 200 m). Kolizje z uzbrojeniem terenu przedstawia Rysunek 80



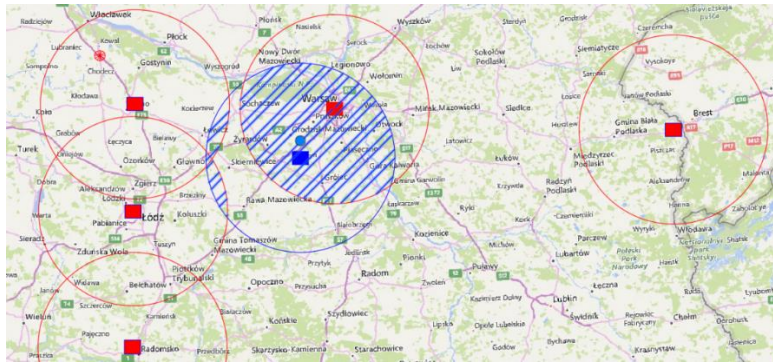
Rysunek 80 Kolizja z uzbrojeniem terenu na działce terminala intermodalnego w Tarczynie
Źródło: GIS, Geoportal

- **Cena gruntów i koszt zmienny budowy terminala intermodalnego:** Średnia cena 1 ha ziemi w miejscowości Tarczyn wynosi 1250000 zł. Koszt zmienny budowy terminala intermodalnego w Tarczynie oszacowano na 100.5 mln zł.
- **Rezerwa pod rozbudowę:** Wokół terminala intermodalnego znajduje się 71-ha rezerwy terenowej dla potencjalnej rozbudowy obiektu. Rezerwę terenu pod rozbudowę terminala intermodalnego obrazuje Rysunek 81.



Rysunek 81 Rezerwa pod rozbudowę terminala intermodalnego w Tarczynie
Źródło: opracowanie własne

- **Kolizja ze strefą biznesową terminali konkurencyjnych:** Strefa biznesowa terminala intermodalnego w Tarczynie kolidowałaby na 65.7% swojej powierzchni ze strefą biznesową innych terminali (przy założeniu, że promień oddziaływania nowego terminala wynosi 50 km) – Rysunek 82.

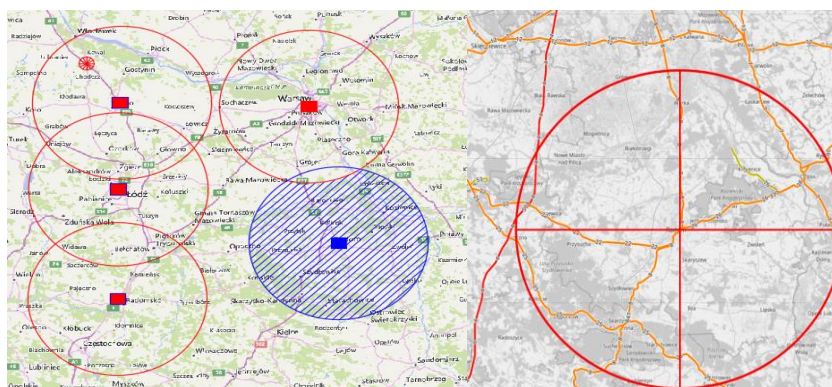


Rysunek 82 Kollizja ze strefą biznesową terminala intermodalnego w Tarczynie względem innych terminali

Źródło: opracowanie własne

9.3.4. Lokalizacja terminala intermodalnego wskazana metodą graficzną

Przedostatnia lokalizacja terminala intermodalnego została wyznaczona specjalnie przygotowaną metodą graficzną. W programie Autodesk Civil3D zaimportowano ortofotomapę. Naniesiono na niej istniejące terminale intermodalne oraz zilustrowano ich zasięg (zgodnie z założeniami z Etapu I). Następnie stworzono dodatkowy okrąg o promieniu $v_{1(x_1, y_1)} = 50$ km, którego celem było zobrazowanie zasięgu nowego terminala intermodalnego. Okrąg ten *przesuwano* na południe wzdłuż LK 8 i LK 22, aż do momentu, kiedy wysunął się poza zakres oddziaływania innych terminali intermodalnych. Okazało się, że dogodną lokalizacją dla terminala intermodalnego, która nie będzie powodowała konkurencji dla innych terminali intermodalnych w obrębie 50 km jest Radom. Położenie nowego terminala intermodalnego względem zasięgu innych terminali intermodalnych oraz względem istniejących linii PKP PLK obrazuje Rysunek 83.



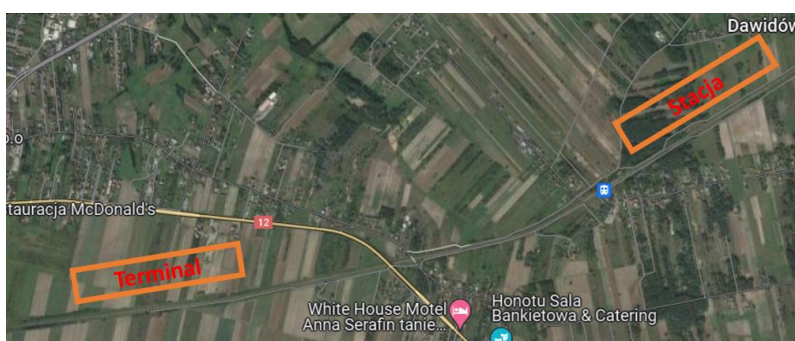
Rysunek 83 Lokalizacja terminala intermodalnego w Radomiu wyznaczona metodą graficzną

Źródło: opracowanie własne na podstawie www.openrailwaymap.org

Odpowiednio duża powierzchnia pod budowę terminala intermodalnego znajduje się nieopodal radomskiej strefy przemysłowej na północ od lotniska, przy LK 22 i drodze ekspresowej S12 – w miejscowości Rajec Szlachecki (Rysunek 84). Współrzędne niniejszej lokalizacji wynoszą (L_{rp}^5):

$$X_{LOK/G}(rp) = 51,41; X_{LOK/G}(rp) = 21,22$$

Minusem budowy terminala intermodalnego w niniejszym miejscu byłaby konieczność zaplanowania nowej stacji towarowej dedykowanej do obsługi ruchu towarowego. Najbliższa stacja znajduje się w centrum miasta, jednak posiada zbyt mało torów, na których można by buforować pociągi.

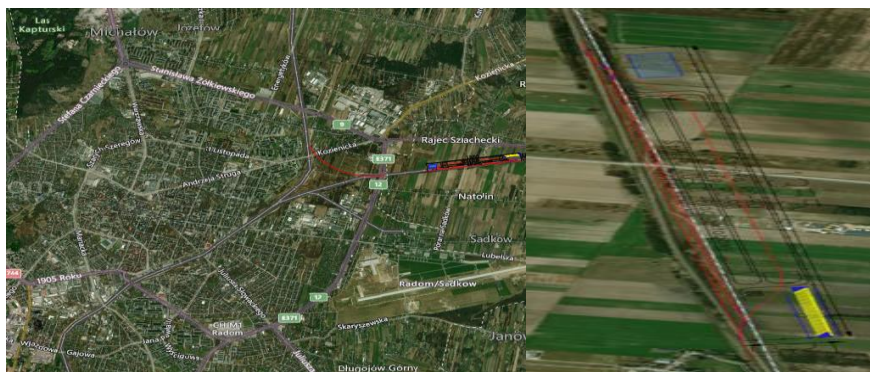


Rysunek 84 Propozycja lokalizacji terminala intermodalnego w Rajcu k. Radomia

Źródło: opracowanie własne na podstawie GoogleEarth

Rajec Szlachecki to miejscowość położona na północny-wschód od Radomia, na północ od radomskiego lotniska i 10 km na zachód od miasta Jedlnia-Letnisko. Znajduje się w odległości 446 km od portu DCT Gdańsk. Użytki rolne, na których miałyby zostać wybudowany terminal intermodalny nie są szczególnie cenne z rolniczego punktu widzenia. Dlatego też ich wykup nie powinien stanowić większego problemu. Zaletą tego miejsca jest bliska odległość strefy przemysłowej, z której bezpośrednio mogłyby być przewożone ładunki na plac składowy terminala intermodalnego.

Plan sytuacyjny z wpisaniem w działkę terminala intermodalnym obrazuje Rysunek 85.



Rysunek 85 Wpięcie terminala intermodalnego do LK 22 w Rajcu k. Radomia

Źródło: opracowanie własne

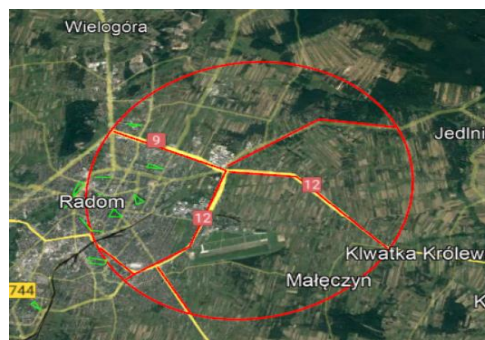
- **Ukształtowanie terenu:** Teren, na którym mógłby zostać budowany terminal intermodalny ma równą powierzchnię, co oznacza, że nie trzeba będzie prowadzić dużej ilości prac ziemnych. Wysokość terenu waha się tutaj od 174 do 174 m n.p.m. Terminal powinien zostać wybudowany na rzędnej 175.8 m n.p.m. Przy takiej wysokości należałoby wykonać 41 tys. m³ nasypu oraz 76 tys. m³ wykopu.
- **Obsługa regionu:** W regionie poszukiwań, w promieniu do 50 km – terminal zapewniałby obsługę dla 690 tys. osób oraz dla 138 zakładów pracy.
- **Stopa bezrobocia:** Lokalizacja terminala intermodalnego w niniejszej jednostce administracyjnej mogłaby pozytywnie wpłynąć na aktywność zawodową jej mieszkańców. Bezrobocie w rozpatrywanym powiecie osiąga prawie 15% stopę.
- **Oddziaływanie na lokalną społeczność i środowisko:** Około 740 hektarów w promieniu 2 km od terminala intermodalnego stanowi powierzchnia zamieszkała przez ludzi. Znajduje się jednak stosunkowo blisko zabudowań mieszkalnych, dlatego należałoby zainstalować około 1000 m ekranów akustycznych chroniących przed hałasem emitowanym przez terminal intermodalny. Bezpośrednio inwestycja przecinałaby jedno podwórko domostwa mieszkalnego oraz jedną drogę o znaczeniu lokalnym.
Teren terminala intermodalnego nie znajduje się w miejscu bezpośrednio ingerującym w walory przyrodnicze oraz kulturowe. W okolicy Rajca Szlacheckiego zidentyfikowano terytorium Natura2000, która znajduje się w odległości aż 3 km od planowanego obiektu.
- **Natężenie ruchu i infrastruktura kolejowa:** Terminal intermodalny docelowo mógłby zostać zlokalizowany przy LK 26, po której dziennie przejeżdża 67 pociągów, w tym 27 pociągów towarowych. W niewielkiej odległości od działki terminala intermodalnego z LK 26 łączą się LK 22 oraz LK 8. Dzięki takiemu połączeniu, pociągi mogłyby być nadawane bezpośrednio z tego miejsca w kierunku wschodnim, zachodnim oraz

południowym. Gdyby wybudowano łącznicę między LK 8 a LK 26 możliwe byłoby również bezpośrednie nadawanie pociągów w kierunku północnym. Implementacja terminala intermodalnego w niniejszej lokalizacji wpłynęłaby na wzrost poziomu eksploatacji wszystkich linii kolejowych znajdujących się wokół Radomia.

Dla obsługi omawianego obiektu rekomenduje się wybudowanie dedykowanej stacji kolejowej, która mogłaby zostać zlokalizowana 1.6 km na wschód od terminala intermodalnego.

- **Natężenie ruchu i infrastruktura drogowa:** Przez radomski węzeł drogowy dziennie przejeżdża ok. 9.6 tys. pojazdów ciężarowych z przyczepą, natomiast przez drogę S12, która biegnie na północ od terminala intermodalnego – około 2.6 tys. pojazdów ciężarowych w dobie. Istnieje więc duża szansa, iż wielu przewoźników drogowych byłoby zainteresowanych skorzystaniem z usług terminala intermodalnego.

Obok terminala intermodalnego przebiegają dwujezdniowe drogi S12 oraz S9. Łącznie, w promieniu 5 km od działki terminala intermodalnego znajduje się ok. 25 km dobrej jakości dróg umożliwiających sprawne włączenie samochodów ciężarowych do ruchu drogowego. Droga S12, która byłaby połączona z terminalem intermodalnym drogą dojazdową posiada około 58% wolnej przepustowości (24 tys. poj./dobę). Geometrię ważniejszych dróg w promieniu 5 km od terminala intermodalnego przedstawia Rysunek 86.



Rysunek 86 Geometria tras szybkiego ruchu w promieniu 5 km od terminala intermodalnego w Rajcu k. Radomia

Źródło: opracowanie własne na podstawie GoogleEarth

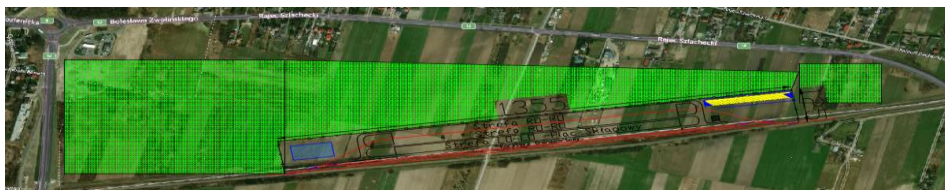
- **Media i kolizje:** Działka terminala intermodalnego w promieniu 1 km posiada dostęp do sieci gazowej, wodociągowej, kanalizacyjnej, telekomunikacyjnej, elektroenergetycznej i ciepłowniczej. Dodatkowo, w odległości ok. 2.2 km na północny-zachód od lokalizacji przebiega linia wysokiego napięcia.

Aby zbudować terminal intermodalny w niniejszej lokalizacji należałoby przebudować kolizje z siecią gazową (ok. 450 m) i elektroenergetyczną (ok. 800 m). Kolizje z uzbrojeniem terenu przedstawia Rysunek 87.



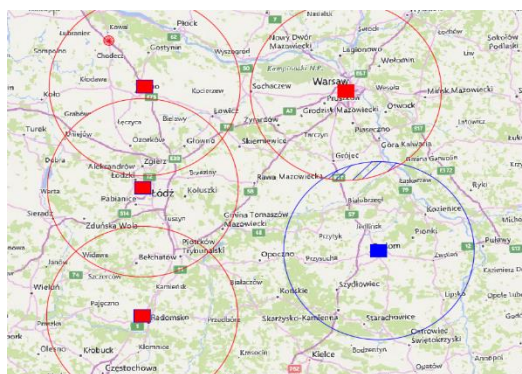
Rysunek 87 Kolizja z uzbrojeniem terenu na działce terminala intermodalnego w Rajcu k. Radomia
Źródło: GIS, Geoportal

- **Cena gruntów:** Średnia cena 1 ha ziemi w Rajcu Szlacheckim k. Radomia wynosi 1240000 zł. Koszt zmienny budowy terminala intermodalnego w Rajcu Szlacheckim k. Radomia oszacowano na 49.7 mln zł.
- **Rezerwa pod rozbudowę:** Wokół terminala intermodalnego znajduje się 55-ha rezerwa terenowej dla potencjalnej rozbudowy obiektu. Rezerwę terenu pod rozbudowę terminala intermodalnego ilustruje Rysunek 88.



Rysunek 88 Rezerwa pod rozbudowę terminala intermodalnego w Rajcu k. Radomia
Źródło: opracowanie własne

- **Kolizja ze strefą biznesową terminali konkurencyjnych:** Strefa biznesowa terminala intermodalnego w Rajcu k. Radomia kolidowałaby na 3.2% swojej powierzchni ze strefą biznesową innych terminali (przy założeniu, że promień oddziaływania terminala intermodalnego wynosi 50 km) – Rysunek 89.



Rysunek 89 Kolidzja ze strefą biznesową terminala intermodalnego w Rajcu k. Radomia względem innych terminali

Źródło: opracowanie własne

9.3.5. Lokalizacja terminala intermodalnego wskazana metodą numeryczną

W niniejszej metodzie, na podstawie danych GPR zamieszczonych przez GDDKiA w poszczególnych powiatach zidentyfikowano najważniejsze węzły drogowe przez które, w różnych kierunkach przemieszczają się pojazdy ciężarowe z przyczepą. Następnie, w poszczególnych węzłach dokonano analizy polegającej na identyfikacji numerów dróg oraz średniego dobowego strumienia pojazdów ciężarowych wchodzących do węzła z poszczególnych kierunków geograficznych. Dane te z podziałem na kierunki obejmuje Załącznik 7. Nie odzwierciedlają one jednak rzeczywistej liczby pojazdów, która przecina dany węzeł. Aby oszacować liczbę pojazdów przejeżdżającą przez wybrany węzeł transportowy dokonano uśrednienia danych zgodnie ze wzorem 69. W większości przypadków na jeden powiat przypadał jeden duży węzeł drogowy. W przypadku powiatu żyrardowskiego, gdzie znajdują się dwa bardzo duże nieskorelowane ze sobą węzły transportowe (Wiskitki i Mszczonów) – należało zsumować ruch ciężarowy z obydwu węzłów, a następnie od otrzymanej sumy odjąć te pojazdy, które występują zarówno w węźle mszczonowskim jak i wiskickim.

Uśrednioną liczbę pojazdów ciężarowych przejeżdżającą przez dany powiat przedstawia Tabela 16.

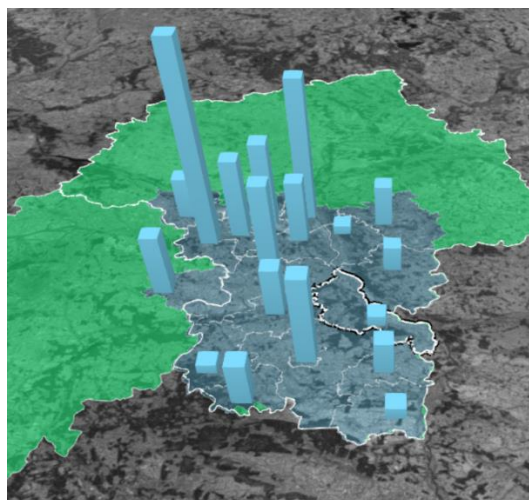
Tabela 16 Uśredniona liczba pojazdów ciężarowych przejeżdżająca przez dany węzeł transportowy

| Powiat ($pc(rp)$) | Miasto/Węzeł | Powiat | Średnia liczba poj. ciężarowych/ dobę w danym powiecie ($MB_{sr}^{to(pc,rp)}$) |
|---------------------|---------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Białobrzegi | białobrzegi | 5272 |
| 2 | Garwolin | garwoliński | 2672 |
| 3 | Grodzisk Mazowiecki | grodziski | 8875 |
| 4 | Grójec | grójecki | 10331 |

| Powiat ($pc(rp)$) | Miasto/Węzeł | Powiat | Średnia liczba poj. ciężarowych/ dobę w danym powiecie ($MB_{sr}^{to(pc,rp)}$) |
|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | Kozienice | kozienicki | 1105 |
| 6 | Lipso | lipski | 1196 |
| 7 | Mińsk Mazowiecki | miński | 4728 |
| 8 | Otwock | otwocki | 1012,5 |
| 9 | Góra Kalwaria | piaseczyński | 7069,5 |
| 10 | Pruszków | pruskowski | 9744,5 |
| 11 | Przysucha | przysuski | 1050 |
| 12 | Radom | radomski | 9635,5 |
| 14 | Rawa Mazowiecka | rawski | 6581 |
| 15 | Sochaczew | sochaczewski | 4651 |
| 16 | Szydłowiec | szymborski | 4651 |
| 17 | Warszawa | Warszawa | 15787 |
| 18 | Błonie | warszawski zachodni | 2514 |
| 19 | Zwoleń | zwoleński | 3498 |
| 20 | Mszczonów + Wiskitki | żyrardowski | 18923 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GDDKiA

Dobową liczbę pojazdów, które przerezedzają przez dany powiat obrazuje Rysunek 90.

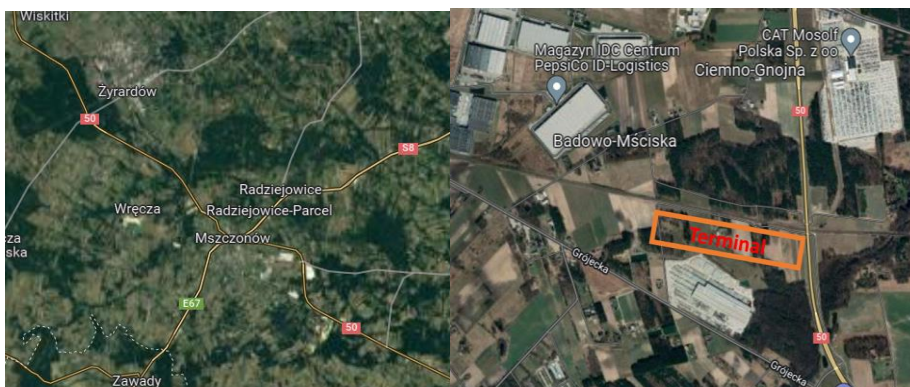


Rysunek 90 Poziom natężenia ruchu pojazdów ciężarowych w poszczególnych powiatach regionu poszukiwań

Źródło: opracowanie własne

Okazało się, iż najwięcej pojazdów ciężarowych przejeżdża przez powiat żyrardowski ($pc(rp)^* = 20$) nawet 19 tys. pojazdów ciężarowych dziennie. Na drugim miejscu pod względem natężenia ruchu drogowego znalazła się Warszawa (15.7 tys. poj.), na trzecim powiat grójecki (10.3 tys. poj.), na czwartym Radom (9,6 tys. poj.).

Powiat żyrardowski przecinają trzy różne linie kolejowe: nr 1, 4 oraz 12. W związku z tym, iż po LK 4 nie dopuszcza się ruchu towarowego, a LK 1 biegnąca przez powiat żyrardowski jest znacząco obciążona ruchem pasażerskim i towarowym (który może ulec przyrostowi ze względu na otwarcie nowego terminala intermodalnego w Brwinowie) – zarekomendowano budowę terminala intermodalnego przy LK 12, nieopodal przecięcia jej z DK50 (Rysunek 91).



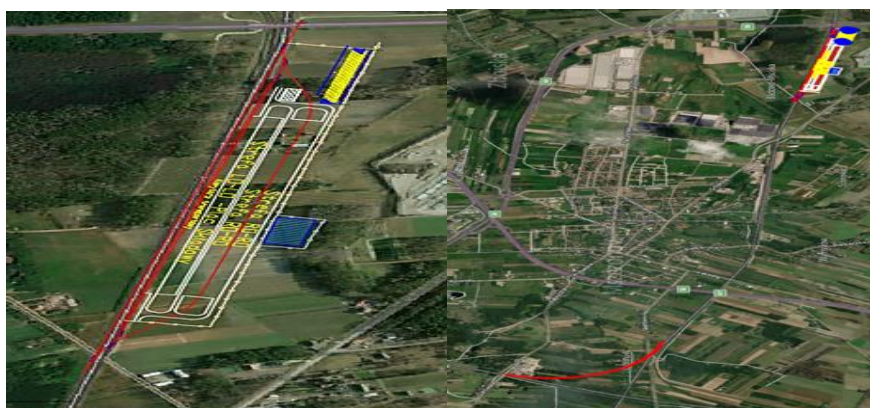
Rysunek 91 Propozycja lokalizacji terminala w Mszczonowie

Źródło: opracowanie własne na podstawie GoogleEarth

Współrzędne lokalizacji terminala intermodalnego w metodzie numerycznej wynoszą (L_{rp}^6) odpowiednio:

$$X_{LOK/N}(rp) = 51,95; Y_{LOK/N}(rp) = 20,56$$

Mszczonów to 6 tys. miasto położone na północno-zachodniej stronie obszaru poszukiwań w odległości 392 km od portu DCT Gdańsk. Około 10 km na północ od Mszczonowa znajduje się Żyrardów – stolica powiatu. Istotnym atutem niniejszej lokalizacji jest bliska odległość do mszczonowskiej strefy przemysłowej, z której bezpośrednio będzie można dostarczać ładunki na terminal intermodalny. Plan sytuacyjny z wpisaniem w działkę terminalem intermodalnym obrazuje Rysunek 92.



Rysunek 92 Wpięcie terminala intermodalnego do LK 12 na wysokości Mszczonowa

Źródło: opracowanie własne

Obok omawianych gruntów znajduje się wiele form objętych zagospodarowaniem przestrzennym, co oznacza, że otoczenie cieszy się znacznym zainteresowaniem inwestorów. Plany te jak na razie nie kolidują z planem zabudowy terminala intermodalnego. Aktualny plan

zagospodarowania przestrzennego wokół opisywanej działki, na której potencjalnie mógłby zostać zlokalizowany terminal intermodalny przedstawia Rysunek 93.

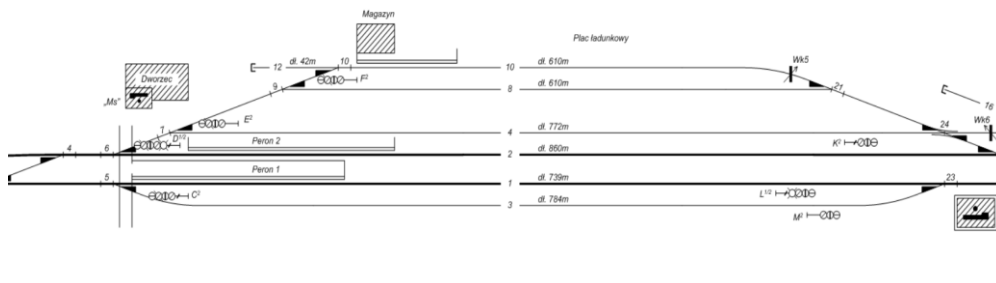


Rysunek 93 Kolizja z zagospodarowaniem przestrzennym w Mszczonowie

Źródło: GIS, Geoportal

- **Ukształtowanie terenu:** Wysokość terenu waha się tutaj od 173 do 179 m n.p.m. Docelowo terminal intermodalny powinien zostać wybudowany na rzędnej 176.1 m n.p.m. Przy takiej wysokości należałoby wykonać 148 tys. m³ nasypu oraz 79 tys. m³ wykopu.
- **Obsługa regionu:** W regionie poszukiwań, w promieniu do 50 km – terminal intermodalny zapewniałby obsługę dla 2.7 mln osób zamieszkujących region numer 7 oraz dla 330 zakładów pracy.
- **Stopa bezrobocia:** W powiecie żyrardowskim występuje ponad 9% bezrobocie. Lokalizacja terminala intermodalnego w tej jednostce administracyjnej mogłaby pozytywnie wpłynąć na aktywność zawodową jej mieszkańców.
- **Oddziaływanie na lokalną społeczność i środowisko:** Około 350 hektarów w promieniu 2 km stanowi powierzchnia zamieszkała przez ludzi. W celu umiejscowienia terminala intermodalnego w tym miejscu należałoby zlikwidować jedno gospodarstwo domowe, jedną drogę o znaczeniu lokalnym oraz wyciąć ok. 3 ha lasu (ok. 10.5 tys. drzew). Na terenie działki nie ma konieczności instalacji ekranów akustycznych.
Teren i jego otoczenie nie są objęte żadną formą ochrony prawnej, przyrodniczej ani kulturowej, aczkolwiek w odległości 1,5 km przebiega granica chronionego krajobrazu.
- **Natężenie ruchu i infrastruktura kolejowa:** Terminal intermodalny docelowo mógłby zostać zlokalizowany przy LK 26, po której dziennie przejeżdża 30 pociągów, w tym 25 pociągów towarowych. W niewielkiej odległości od działki terminala intermodalnego z LK 12 łączy się LK 4. Warto zauważyć, że gdyby wybudowano dodatkową łącznicę kolejową między LK 12 a CMK, możliwy byłby przejazd pociągów bezpośrednio w kierunku północnym (o ile PKP PLK zgadzałyby się na przejazdy pociągów towarowych po linii CMK).

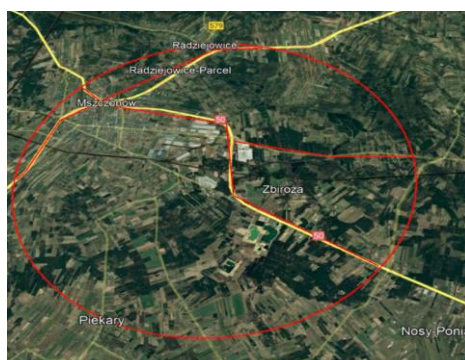
Okolo 1.2 km na zachod od terminala intermodalnego znajduje się stacja kolejowa. Rozbudowana o kolejne tory dodatkowe, będzie mogła buforować składy intermodalne odprawiane i przybywające z/do terminala intermodalnego. Aktualny układ torów stacyjnych w stacji Mszczonów przedstawia Rysunek 94.



Rysunek 94 Układ torów stacyjnych w stacji Mszczonów

Źródło: www.semaforek.kolej.org.pl

- o **Natężenie ruchu i infrastruktura drogowa:** Łącznie przez mszczonowski węzeł drogowy dziennie przejeżdża ok. 13.5 tys. pojazdów ciężarowych z przyczepą, natomiast przez drogę DK50, która biegnie po zachodniej stronie terminala intermodalnego – okolo 5.7 tys. pojazdów ciężarowych/dobę. Istnieje więc duża szansa, iż wielu przewoźników drogowych byłoby zainteresowanych skorzystaniem z usług terminala intermodalnego. Na terenie Mszczonowa krzyżują się DK50 oraz trasa S8. W promieniu 5 km od działki terminala intermodalnego znajduje się ok. 25 km dobrej jakości dróg umożliwiających sprawne włączenie samochodów ciężarowych do ruchu drogowego. Droga DK50, która byłaby połączona z terminalem intermodalnym drogą dojazdową posiada okolo 65% wolnej przepustowości (26.5 tys. pojazdów/dobę). Geometrię ważniejszych dróg w promieniu 5 km od terminala intermodalnego przedstawia Rysunek 95.



Rysunek 95 Geometria tras szybkiego ruchu w promieniu 5 km od terminala intermodalnego w Mszczonowie

Źródło: opracowanie własne na podstawie GoogleEarth

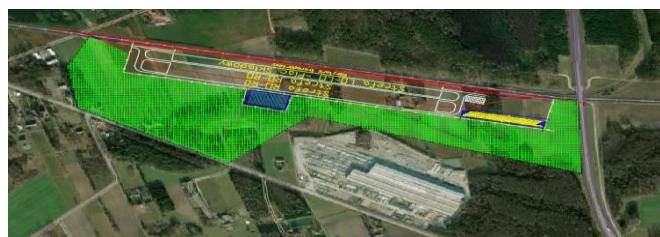
- **Media i kolizje:** Działka terminala intermodalnego w promieniu 1 km posiada dostęp do sieci gazowej, wodociągowej, kanalizacyjnej, telekomunikacyjnej i elektroenergetycznej. W okolicy nie ma zaś dostępu do sieci ciepłowniczej. Dodatkowo, w odległości ok. 2.5 km na zachód od lokalizacji przebiega linia wysokiego napięcia.

Aby zbudować terminal intermodalny w niniejszej lokalizacji należy przebudować kolizje z siecią telekomunikacyjną (ok. 200 m) i elektroenergetyczną (ok. 400 m). Kolizje z uzbrojeniem terenu przedstawia Rysunek 96.



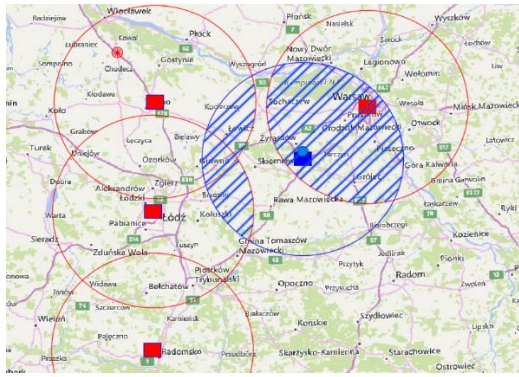
Rysunek 96 Kolizje z uzbrojeniem terenu na terenie działki terminala intermodalnego w Mszczonowie
Źródło: GIS, Geoportal

- **Cena gruntów:** Średnia cena 1 ha ziemi w miejscowości Mszczonów wynosi 780000 zł. Koszt zmienny budowy terminala intermodalnego w Mszczonowie oszacowano na 70.2 mln zł.
- **Rezerwa pod rozbudowę:** Wokół terminala intermodalnego znajduje się 26-ha rezerwy terenowej dla potencjalnej rozbudowy obiektu. Rezerwę terenu pod rozbudowę terminala intermodalnego obrazuje Rysunek 97.



Rysunek 97 Rezerwa terenu pod rozbudowę terminala intermodalnego w Mszczonowie
Źródło: opracowanie własne

- **Kolizja ze strefą biznesową terminali konkurencyjnych:** Strefa biznesowa terminala intermodalnego w Mszczonowie kolidowałaby na 67.1% swojej powierzchni ze strefą biznesową innych terminali (przy założeniu, że promień oddziaływania nowego terminala intermodalnego wynosi 50 km) – Rysunek 98.



Rysunek 98 Kolizja ze strefą biznesową terminala intermodalnego w Mszczonowie względem innych terminali

Źródło: opracowanie własne

9.3.6. Zestawienie wyników dla wszystkich metod

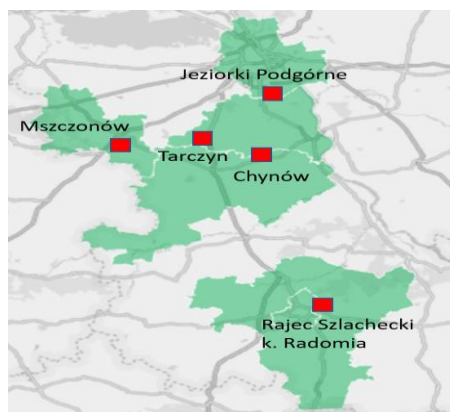
Współrzędne geograficzne terminali intermodalnych wyznaczonych w Etapie II przy pomocy kolejnych metod przedstawia Tabela 17. Tworzą one zbiór wariantów lokalizacyjnych.

Tabela 17 Współrzędne geograficzne proponowanych lokalizacji

| Lokalizacja | Metoda | Współrzędne geograficzne wyznaczone wg kolejnych metod |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Chynów (L^1) | zmodyfikowana met. grawitacyjna (WI) | $X_{LOK/M}^{Zrew}(rp) = 20,98$ $Y_{LOK/M}^{Zrew}(rp) = 52,12$ |
| Zalesie Górne (L^2) | zmodyfikowana met. grawitacyjna (WII) | - |
| Jeziorki Podgórne (L^3) | klastrowa | $X_{LOK/K}(rp) = 21,10$ $Y_{LOK/K}(rp) = 51,89$ |
| Tarczyn (L^4) | zmodyfikowana met. maks. pokrycia | $X_{LOK/Z}(rp) = 20,88$ $Y_{LOK/Z}(rp) = 51,91$ |
| Rajec k. Radomia (L^5) | graficzna | $X_{LOK/G}(rp) = 21,22$ $Y_{LOK/G}(rp) = 51,41$ |
| Mszczonów (L^6) | numeryczna | $X_{LOK/N}(rp) = 20,56$ $Y_{LOK/N}(rp) = 51,95$ |

Źródło: opracowanie własne

Lokalizacje terminali intermodalnych we wszystkich pięciu wariantach ilustruje Rysunek 99.



Rysunek 99 Lokalizacje terminali intermodalnych wyznaczone na podstawie modelu badawczego
 Źródło: opracowanie własne

9.4. Wielokryterialna ocena wariantów lokalizacyjnych

W celu przygotowania rankingu metodą PROMETHEE II należało określić zbiór wariantów decyzyjnych oraz zbiór kryteriów. Zbiór wariantów tworzą lokalizacje wyznaczone w Etapie II. Kryteria oceny lokalizacji należało zaś zaproponować, a następnie zaimplementować do metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Ich nazwy oraz wagi zawiera Tabela 18.

Tabela 18 Kryteria oceny oraz wagi poszczególnych ocen

| Numer kryterium (m) | Kryterium | Waga kryterium (c_m) | Numer kryterium (m) | Kryterium | Waga kryterium (c_m) |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1 | Stopa bezrobocia w danym klastrze [%] | 0,65 | 9 | Rezerwa pod rozbudowę [ha] | 1,0 |
| 2 | Liczba ludności w promieniu do 50 km [os.] | 0,6 | 10 | Liczba gospodarstw do zlikwidowania [szt.] | 0,5 |
| 3 | Potencjał dostaw w prom. 50 km [dostaw/tydzień] | 1,0 | 11 | Liczba dróg lokalnych do przebudowy [szt.] | 0,2 |
| 4 | Długość dróg szybkiego ruchu w prom. do 5 km [km] | 0,7 | 12 | Odległość od najbliższego miasta [km] | 0,2 |
| 5 | Liczba poj. ciężarowych dziennie przecinająca najbliższy węzeł [poj. ciężarowych/dobę] | 0,9 | 13 | Kolizja ze strefą biznesową terminali konkurencyjnych (w promieniu do 50 km) [%] | 0,7 |
| 6 | Odległość od portu morskiego [km] | 0,6 | 14 | Przeciętna wielkość powierzchni mieszkalnej (z podwórkami) w promieniu do 2 km [ha] | 0,4 |
| 7 | Powierzchnia użytków rolnych w klastrze [ha] | 0,7 | 15 | Koszt zmienny budowy terminala intermodalnego [mln zł] | 0,95 |
| 8 | Odległość od najbliższego obszaru chronionego [km] | 0,2 | 16 | Odległość od linii wysokiego i najwyższego napięcia [km] | 0,7 |

Źródło: opracowanie własne

Przyjęto, iż najważniejszymi kryteriami lokalizacyjnymi są:

- średnia stopa bezrobocia¹¹ – terminal intermodalny ze względu na swój charakter może znacząco pobudzić gospodarczo dany obszar geograficzno-administracyjny. Dlatego z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju lepiej, aby obiekt ten znalazł się na terenach o wyższej stopie bezrobocia, w której będzie m.in. aktywizował mieszkańców danej okolicy, generował wpływy do budżetu oraz stymulował powstawanie nowych miejsc pracy,
- liczba ludności – ponieważ liczba ludności przekłada się na popyt na dobra konsumpcyjne,
- potencjał na dostawy do zakładów pracy – ponieważ bez odpowiednio dużego wolumenu nie uruchamia się połączeń intermodalnych,
- długość dróg szybkiego ruchu – ponieważ drogi tego typu ułatwiają pojazdom ciężarowym wyjeżdżanie z terminala intermodalnego, a zarazem decydują o atrakcyjności lokalizacji terminala intermodalnego,
- liczba pojazdów ciężarowych przecinająca najbliższy węzeł lub drogę – ponieważ właśnie część z nich będzie mogła korzystać z usług terminala intermodalnego,
- odległość od portu morskiego – im większa odległość od portu morskiego tym większa szansa, iż klient skorzysta z gałęzi intermodalnej (ze względu na malejące jednostkowe koszty przewozu jłti),
- powierzchnia użytków rolnych w klastrze – ponieważ w przyszłości może przyczynić się do wygenerowania dodatkowego wolumenu przewozowego,
- rezerwa pod rozbudowę – warto nią dysponować, ponieważ umożliwi rozwój modelu biznesowego przedsiębiorstwa zarządzającego terminalem intermodalnym,
- kolizja ze strefą biznesową innych terminali – nabiera znaczenia, kiedy terminale intermodalne muszą konkurować o ten sam ładunek,
- koszt zmienny budowy terminala intermodalnego – zbyt duży koszt budowy terminala intermodalnego może zniechęcić potencjalnego przedsiębiorcę do przeprowadzenia inwestycji w danym miejscu. Składowe *kosztu zmiennego budowy* terminala intermodalnego i metodykę jego wyznaczania przedstawia Załącznik 8,
- odległość od linii wysokiego i najwyższego napięcia – brak stabilnego źródła energii może zdestabilizować pracę na terminalu intermodalnym.

¹¹ Średnia stopa bezrobocia w klastrze – uśredniona stopa bezrobocia wyznaczona dla powiatu, w którym prowadzona będzie inwestycja i powiatów ościennych

Za mniej istotne kryteria uznano:

- odległość terminala intermodalnego od obszaru chronionego – nie ma przeciwwskazań do prowadzenia inwestycji poza obszarem chronionym, jednak ruch ciężarowy generowany przez terminal intermodalny może w pewnym stopniu niekorzystnie oddziaływać na okoliczną florę i faunę,
- liczbę gospodarstw do zlikwidowania – po wypłaceniu odszkodowań na mocy ugody z lokalną społecznością czynnik ten na etapie funkcjonowania terminala intermodalnego nie ma dużego znaczenia,
- liczbę dróg lokalnych do przebudowy – po wykonaniu przebudowy na mocy porozumienia z administratorem infrastruktury czynnik ten na etapie funkcjonowania terminala intermodalnego nie ma dużego znaczenia,
- odległość od najbliższego miasta – terminale intermodalne zlokalizowane bliżej miasta mogą, ale nie muszą pozytywnie wpłynąć na koncentrację kapitału wokół jego otoczenia,
- przeciętną wielkość powierzchni mieszkalnej w okolicy – czynnik ten nie ma dużego znaczenia, gdyż hałas powodowany przez terminal intermodalny można niwelować stosując ekrany akustyczne.

Kiedy ustalony jest już zbiór wariantów, kryteria ocen oraz ich wagi, można zastosować algorytm metody PROMETHEE II. W pierwszym kroku metody PROMETHEE II przygotowano wkład w postaci macierzy decyzyjnej zawierającej wartości zmiennych diagnostycznych dla poszczególnych kryteriów (Załącznik 9). Wartości zmiennych diagnostycznych pozyskano na drodze analiz w Etapie II. Następnie według kolejnych wytycznych sporządzono macierz kryteriów po normalizacji, macierz znormalizowanych różnic wartości, macierz po zastosowaniu funkcji preferencji oraz macierz zagregowaną. Po sporządzeniu wcześniej wymienionych macierzy oraz zaimplementowaniu wag do metody PROMETHEE II przygotowano macierz przepływów preferencji netto. Na jej podstawie ustalono bazowy ranking wariantów – Tabela 19.

Tabela 19 Macierz przepływów preferencji netto oraz ranking wariantów

| Wariant (w) | Miejscowość | Przeływ preferencji netto | | | Ranking |
|-------------|----------------------|---------------------------|--------|--------|---------|
| 1 | Chynów | 0,26 | 0,22 | 0,04 | 3 |
| 2 | Tarczyn | 0,20 | 0,19 | 0,02 | 4 |
| 3 | Jeziorka k. Warszawy | 0,10 | 0,36 | -0,26 | 5 |
| 4 | Rajec k. Radomia | 0,333 | 0,230 | 0,103 | 1 |
| 5 | Mszczonów | 0,2508 | 0,1491 | 0,1017 | 2 |

Źródło: opracowanie własne

Według powyższego rankingu, najlepszym miejscem na zlokalizowanie terminala intermodalnego w 2021 roku byłby Rajec k. Radomia. Drugie w rankingu miejsce zajął Mszczonów, trzecie Chynów, czwarte Tarczyn, piąte Jeziorka k. Warszawy.

9.5. Analiza zmiany rankingu wariantów w czasie

Do wyznaczenia zaktualizowanego rankingu wariantów niezbędne było pozyskanie danych historycznych, które w następstwie wykonania działań na bazie algorytmu prognozowania posłużyły do zaktualizowania wartości kryteriów *aktualizowanych*. Do zbioru kryteriów aktualizowanych bez wskaźnika wzrostu zaliczono następujące kryteria:

$$MAB = \{1,2,3,7\}$$

Do zbioru kryteriów aktualizowanych wskaźnikiem wzrostu zaliczono następujące kryteria:

$$MAZ = \{5,15\}$$

Do zbioru kryteriów nieaktualizowanych (*MN*) zaliczono pozostałe kryteria:

$$MN = \{4,6,8,9,10,11,12,13,14,16\}$$

Po przeprowadzeniu aktualizacji zmiennych diagnostycznych, pozyskaniu wskaźników wzrostu i aktualizacji zmiennych diagnostycznych (o te wskaźniki) za każdym razem otrzymywano nowy ranking wariantów.

Po wykonaniu pierwszej iteracji okazało się, iż pierwsze miejscu w rankingu zajął Rajec k. Radomia, drugie Mszczonów, trzecie Chynów, czwarte Tarczyn, piąte Jeziorka k. Warszawy – Tabela 20.

Tabela 20 Ranking wariantów lokalizacyjnych w roku 2030

| Miejscowość | Przepływ preferencji netto | | | Ranking |
|----------------------|----------------------------|-------|-------|---------|
| Chynów | 0,27 | 0,22 | 0,05 | 3 |
| Tarczyn | 0,20 | 0,20 | 0,01 | 4 |
| Jeziorka k. Warszawy | 0,10 | 0,37 | -0,27 | 5 |
| Rajec k. Radomia | 0,334 | 0,228 | 0,106 | 1 |
| Mszczonów | 0,255 | 0,151 | 0,104 | 2 |

Źródło: opracowanie własne

W 2040 roku na pierwszym miejscu w rankingu wariantów uplasował się Mszczonów, na drugim Rajec k. Radomia, na trzecim Chynów, na czwartym Tarczyn, na piątym Jeziorka k. Warszawy – Tabela 21.

Tabela 21 Ranking wariantów lokalizacyjnych w roku 2040

| Miejscowość | Przepływ preferencji netto | | | Ranking |
|----------------------|----------------------------|-------|-------|---------|
| Chynów | 0,28 | 0,21 | 0,06 | 3 |
| Tarczyn | 0,21 | 0,20 | 0,02 | 4 |
| Jeziorka k. Warszawy | 0,10 | 0,37 | -0,27 | 5 |
| Rajec k. Radomia | 0,319 | 0,225 | 0,094 | 2 |
| Mszczonów | 0,261 | 0,165 | 0,096 | 1 |

Źródło: opracowanie własne

W roku 2050 pierwsze miejsce w rankingu zajął Mszczonów, drugie Chynów, trzecie Tarczyn, czwarte Rajec k. Radomia, piąte Jeziorka k. Warszawy – Tabela 22.

Tabela 22 Ranking wariantów lokalizacyjnych w roku 2050

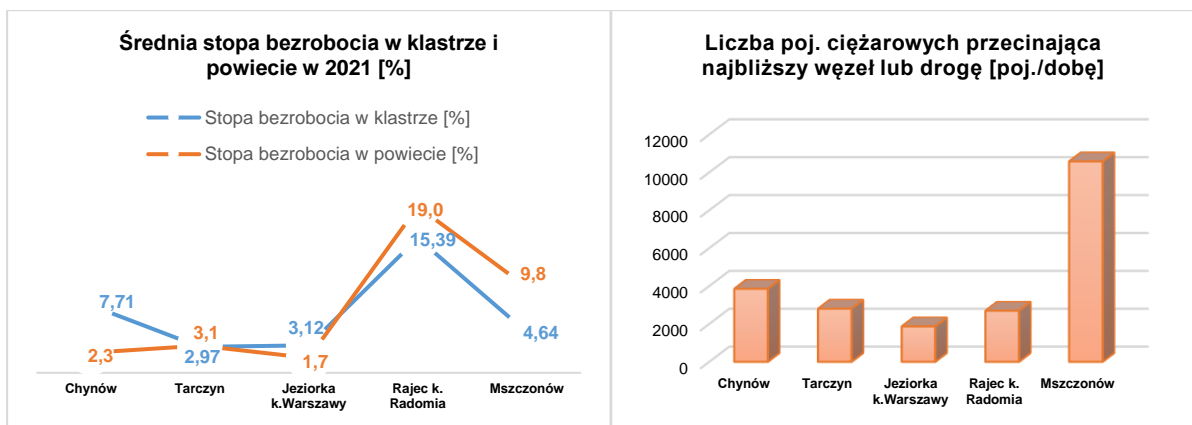
| Miejscowość | Przepływ preferencji netto | | | Ranking |
|----------------------|----------------------------|------|-------|---------|
| Chynów | 0,28 | 0,21 | 0,07 | 2 |
| Tarczyn | 0,23 | 0,19 | 0,05 | 3 |
| Jeziorka k. Warszawy | 0,12 | 0,36 | -0,24 | 5 |
| Rajec k. Radomia | 0,28 | 0,26 | 0,02 | 4 |
| Mszczonów | 0,27 | 0,16 | 0,11 | 1 |

Źródło: opracowanie własne

9.6. Analiza wyników

Każdą z wyżej zaproponowanych lokalizacji dla budowy terminala intermodalnego charakteryzują pewne wady i zalety. Poniżej omówiono ranking wariantów na stan z 2021 roku.

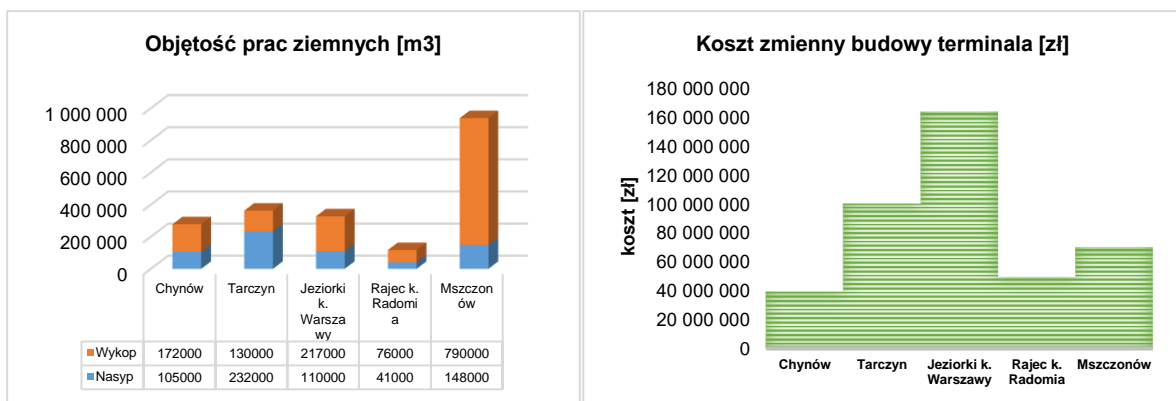
Terminal intermodalny w Mszczonowie z pewnością pomógłby w odciążeniu niektórych dróg krajowych – dziennie bowiem w różnych kierunkach przejeżdża przez nie ok. 10,5 tys. pojazdów ciężarowych z przyczepą. Terminal intermodalny w tej lokalizacji mógłby pozytywnie wpłynąć na aktywizację zawodową mieszkańców powiatu żyrardowskiego. Tamtejsze bezrobocie osiąga prawie 10% stopę (w klastrze 4,64%) – Rysunek 100.



Rysunek 100 Średnia stopa bezrobocia w klastrze (1), liczba pojazdów ciężarowych (2) w poszczególnych wariantach

Źródło: opracowanie własne

Niestety we Mszczonowie należałoby przeprowadzić największą ilość kosztochłonnych prac ziemnych spośród wszystkich wariantów. Rysunek 101 przedstawia ilość niezbędnych do wykonania prac ziemnych oraz koszt zmienny budowy terminala intermodalnego w każdym z wariantów.

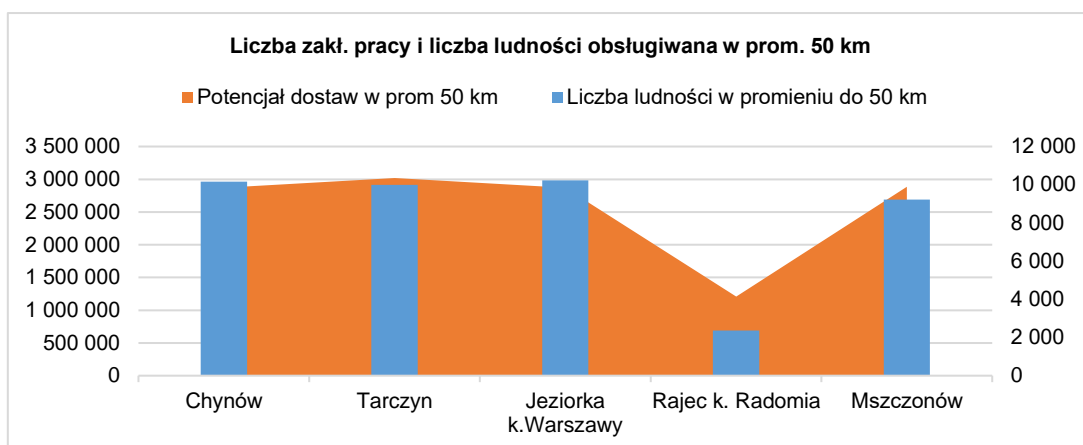


Rysunek 101 Objętość prac ziemnych (1), koszt zmienny budowy terminala intermodalnego (2)

Źródło: opracowanie własne

Inwestycja w terminal intermodalny w Rajcu Szlacheckim byłaby najkorzystniejsza z punktu widzenia stwarzanej konkurencji. Zasięg biznesowy terminala intermodalnego w Rajcu praktycznie nie koliduje z zasięgiem innych terminali intermodalnych w regionie poszukiwań. Pojawienie się bazy przeładunkowej w okolicy mogłoby przełożyć się na aktywizację zawodową mieszkańców powiatu radomskiego (tamtejsze bezrobocie osiąga 19% stopę w powiecie i 15% stopę w klastrze). Ponadto miasto Radom znajduje się najdalej od portu morskiego, dlatego lokalizacja terminala intermodalnego w tym miejscu mogłaby być najatrakcyjniejsza pod względem jednostkowych kosztów przewozów spośród innych

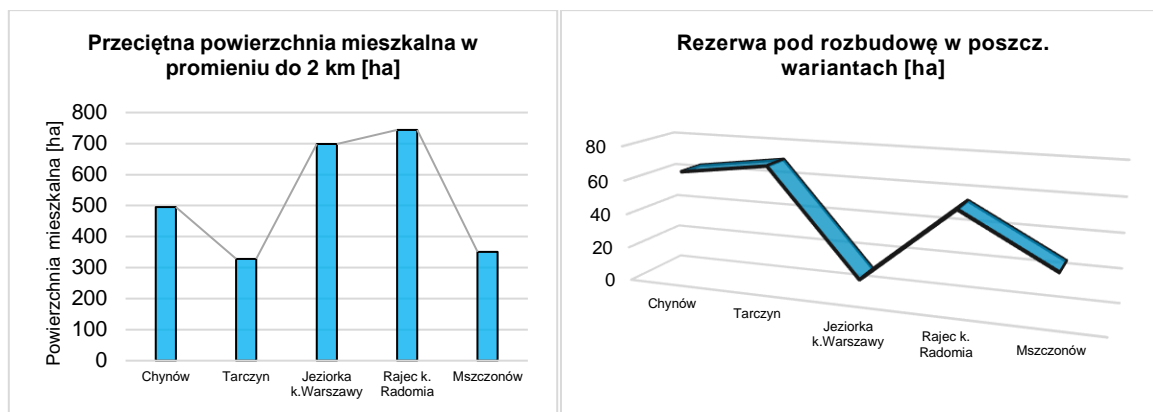
lokalizacji. Niestety omawiana lokalizacja zapewniałaby obsługę dla mniej niż 150 zakładów pracy oraz dla mniej niż 700 tys. mieszkańców znajdujących się w promieniu 50 km od obiektu (Rysunek 102). Przeciwno lokalizacji terminala intermodalnego w Radomiu przemawia fakt, iż wokół jego działki znajdują się duże enklawy zamieszkałe przez lokalną społeczność, która potencjalnie mogłaby negatywnie odebrać inwestycję w dyskutowanym miejscu.



Rysunek 102 Liczba zakładów pracy oraz liczba ludności znajdująca się w promieniu 50 km od wybranej lokalizacji terminala intermodalnego

Źródło: opracowanie własne

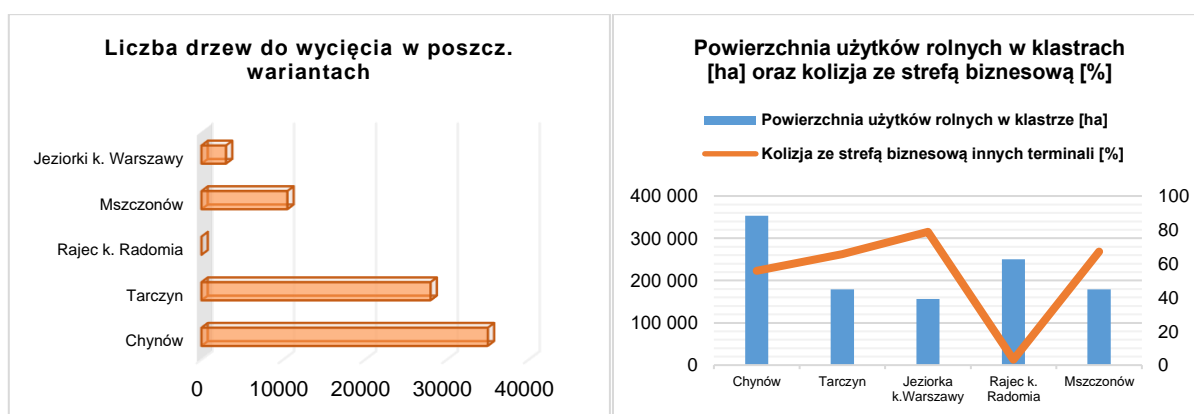
Lokalizacja terminala intermodalnego w Tarczynie charakteryzuje się największą rezerwą pod rozbudowę (71 ha) spośród pozostałych wariantów. Niestety trasa S7 biegnąca tuż obok działki terminala intermodalnego nie jest szczególnie uczęszczana przez pojazdy ciężarowe. Koszt budowy terminala intermodalnego w Tarczynie byłby jeden z najwyższych ze względu na wysoką cenę gruntów, dużą ilość prac ziemnych do wykonania oraz znaczącą liczbę drzew do wycięcia. Z drugiej strony, terminal intermodalny w Tarczynie jest najlepiej zlokalizowany względem zakładów pracy i linii wysokiego napięcia spośród innych terminali intermodalnych, a teren wokół najbliższego otoczenia terminala intermodalnego jest najmniej zaludniony spośród wszystkich wariantów – Rysunek 103.



Rysunek 103 Powierzchnia mieszkalna wokół terminala intermodalnego (1) oraz rezerwa pod rozbudowę terminala intermodalnego (2)

Źródło: opracowanie własne

W przypadku lokalizacji terminala intermodalnego w Chynowie konieczne byłoby wycięcie ok. 35 tys. drzew owocowych, co z pewnością wywołałoby sprzeciw okolicznych rolników. Teren, na którym miałyby docelowo znaleźć się terminal intermodalny jest uzbrojony w niezbędną media, których przebudowa mogłaby być bardzo kosztowna. Wadą lokalizacji jest duża odległość do miasta (czynnik hamujący rozwój logistyki wokół terminala intermodalnego) oraz odległość od linii wysokiego napięcia. Za lokalizacją terminala intermodalnego w tym miejscu przemawiają najniższe koszty zmienne budowy terminala intermodalnego oraz fakt, iż w klastrze z powiatem grójeckim znajduje się największa powierzchnia użytków rolnych (Rysunek 104).

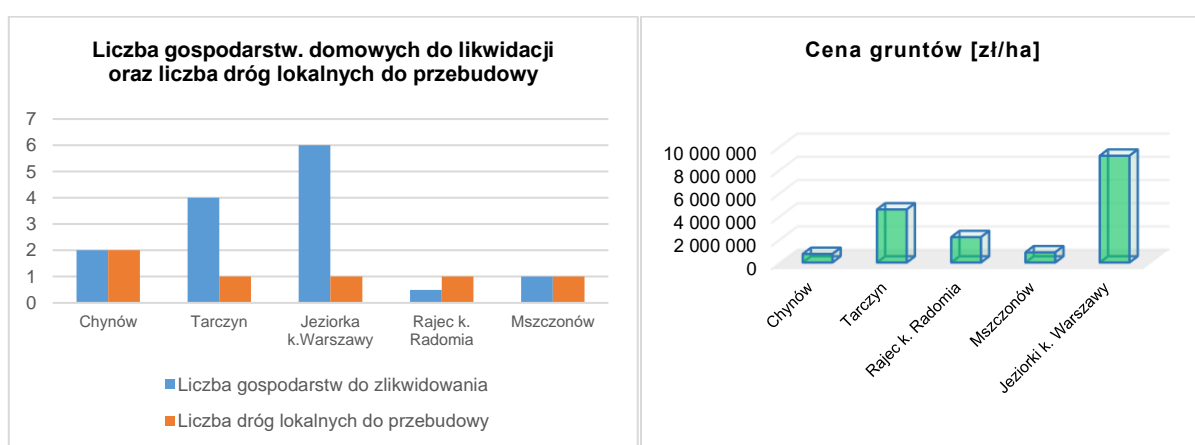


Rysunek 104 Zakres wycinki drzew (1) powierzchnia użytków rolnych i powierzchnia kolizji biznesowej (2) w poszczególnych wariantach lokalizacyjnych

Źródło: opracowanie własne

Najmniej korzystnie na tle innych wypadł wariant z lokalizacją terminala intermodalnego w Jeziorkach k. Warszawy. Koszt budowy terminala, zważywszy na cenę gruntów w niniejszym miejscu byłby najwyższy spośród wszystkich wariantów. Teren dedykowany dla

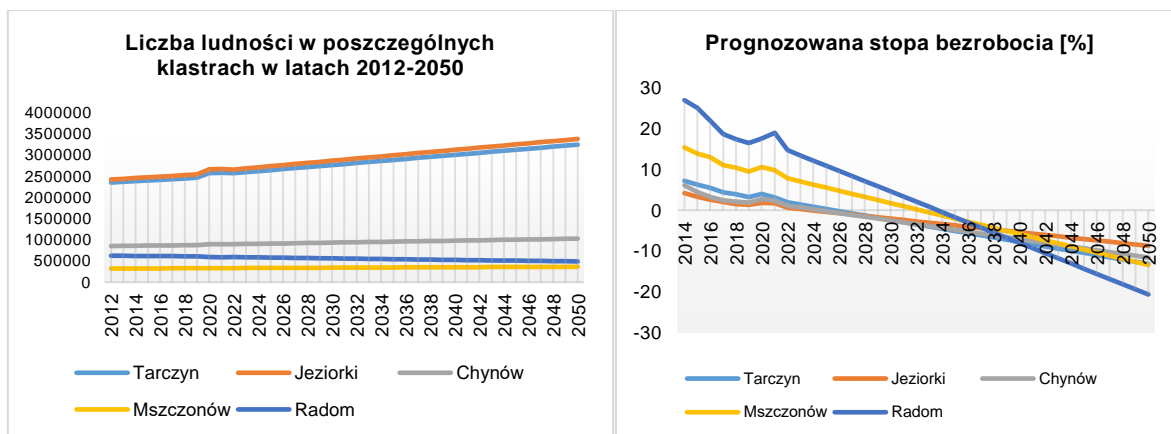
budowy terminala intermodalnego posiada najmniejszą rezerwę spośród innych wariantów. Wokół terminala intermodalnego znajduje się druga pod względem wielkości powierzchnia zamieszkała przez ludzi. Drogi znajdujące się tuż obok Jeziorki nie są zanadto uczęszczane przez pojazdy ciężarowe, aczkolwiek może się to zmienić w kolejnych latach eksploatacji trasy S7 biegnącej tuż obok terminala intermodalnego. Przeciw lokalizacji terminala intermodalnego w tym miejscu przemawia wyjątkowo niska stopa bezrobocia w okolicy, stosunkowo wysoka liczba budynków mieszkalnych, które należałoby zlikwidować (Rysunek 105) oraz największa kolizja ze strefą biznesową istniejących terminali intermodalnych. Za lokalizacją terminala intermodalnego w niniejszym miejscu przemawia jednak fakt, iż strefę w promieniu 50 km zamieszkuje największa liczba ludności spośród wszystkich wariantów.



Rysunek 105 Liczba gospodarstw i dróg lokalnych do likwidacji (1), cena gruntów (2)

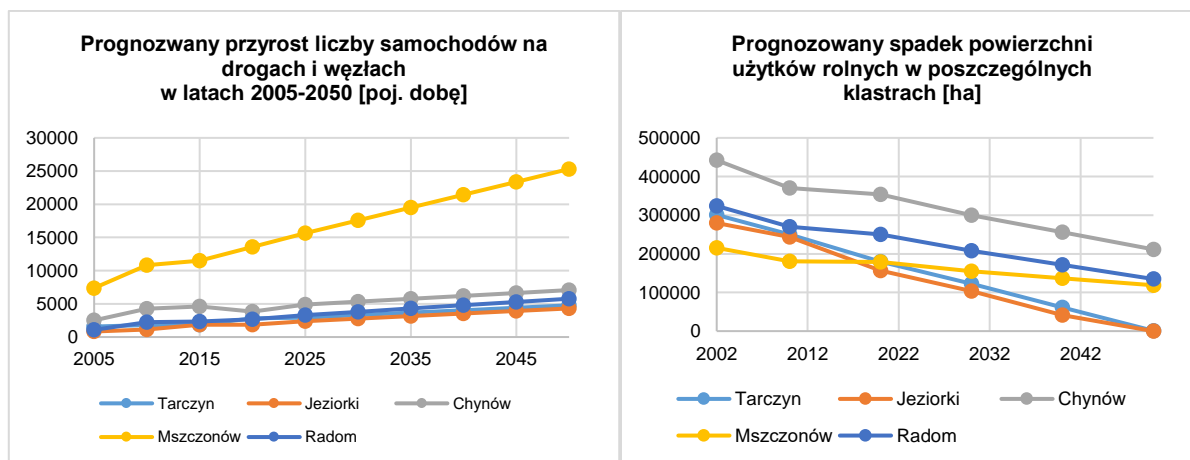
Źródło: opracowanie własne

W prowadzonych badaniach przy udziale wybranych metod prognozowania i metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji zaobserwowano, iż na przestrzeni kolejnych dekad (z wyjątkiem roku 2030) nastąpi przetasowanie pozycji w rankingu wariantów. W roku 2040 wariant mszczonowski awansuje na pozycję 1 w rankingu wariantów, wariant radomski spadnie na pozycję drugą, a warianty z Chynowem, Tarczynem i Warszawą utrzymają odpowiednio pozycję 3, 4 i 5. W roku 2050 wariant mszczonowski pozostanie na pozycji lidera, Chynów awansuje na poz. 2, Tarczyn awansuje na poz. 3, Radom spadnie na poz. 4, Jeziorka – bez zmian. Przyczyną osłabienia wariantu radomskiego w rankingu są problemy demograficzne południowej części Mazowsza oraz prognozowany spadek użytków rolnych. Należy także zauważyć, iż prognozowany przyrost demograficzny (Rysunek 106), wzrost potencjału dostaw, przyrost natężenia pojazdów ciężarowych oraz spadek stopy bezrobocia (rozumiany również jako brak rąk do pracy) odpowiadają za awans w rankingu lokalizacji położonych bliżej Warszawy.



Rysunek 106 Prognozowana liczba ludności (1) i stopa bezrobocia w poszczególnych klastrach (2)
Źródło: opracowanie własne

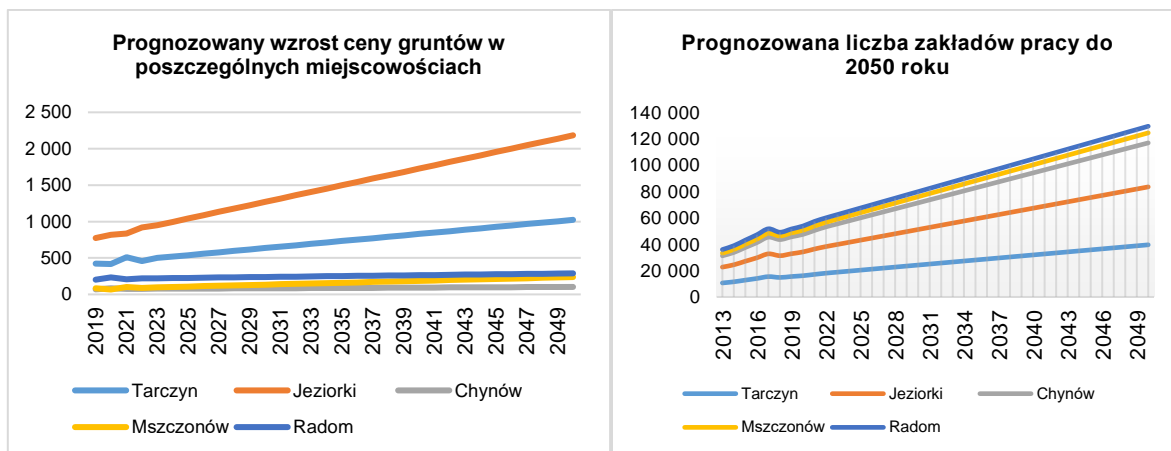
W trakcie analiz zaobserwowano także wzrost liczby pojazdów ciężarowych na drogach we wszystkich wariantach – przy czym najdynamiczniejszy okazał się w wariantcie mszczonowskim. Fakt ten uplasował Mszczonów na pozycji lidera już w 2040 roku. Z drugiej strony, we wszystkich wariantach zaobserwowano spadek powierzchni użytków rolnych, przy czym najmniej drastyczny okazał się w wariantcie z terminalem intermodalnym w Chynowie – Rysunek 107. Trend ten umocnił Chynów na pozycji nr 2 miejscu w rankingu w 2050 roku.



Rysunek 107 Prognozowana liczba samochodów (1) oraz spadek powierzchni użytków rolnych (2)
Źródło: opracowanie własne

W każdym wariantcie odnotowano wzrost poziomu cen gruntów. Według prognoz, najbardziej odczuwalny wzrost cen nastąpi w okolicy Warszawy. Fakt ten, w przyszłości z pewnością przełoży się na wzrost kosztów budowy terminala intermodalnego w tym miejscu. Wskutek tego lokalizacja w Jeziorkach ugruntuje się na ostatniej pozycji. Warto dodać, iż rozkwit przedsiębiorczości w każdym z wariantów jest równie dynamiczny, dlatego można

domniemywać, iż kryterium to nie ma silnego przełożenia na ranking wariantów – Rysunek 108.



Rysunek 108 Prognozowany wzrost cen gruntów (1) oraz prognoza wzrostu liczby zakładów pracy (2)
Źródło: opracowanie własne

9.7. Rekomendacja dla inwestora. Etap V

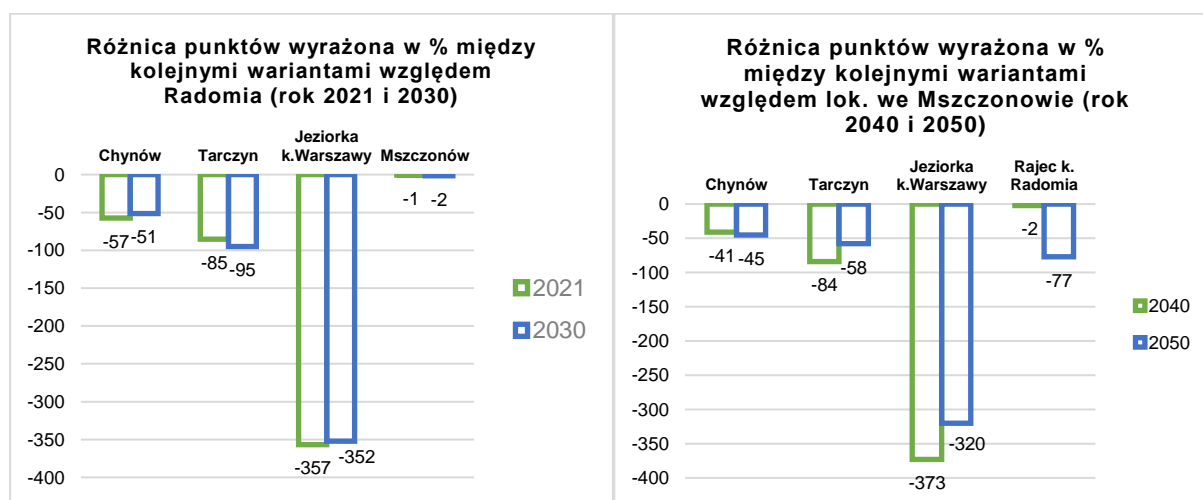
Z punktu widzenia prowadzonych prognoz, niewątpliwie wysoce ryzykowną lokalizacją dla terminala intermodalnego wydaje się Rajec Szlachecki k. Radomia. Choć w 2021 roku zajęłyby 1 pozycję w rankingu to w 2050 roku spadnie na pozycję nr 4. Za ten stan rzeczy odpowiadają w głównej mierze niekorzystne zmiany demograficzne mające miejsce w południowej części Mazowsza. Dlatego też, zgodnie z wynikami analiz przeprowadzonymi w niniejszym studium przypadku, potencjalny inwestor powinien w pierwszej kolejności rozważyć budowę terminala intermodalnego we Mszczonowie. Lokalizacja ta jest wyjątkowo dobrze skomunikowana układem drogowym i kolejowym. Przez węzeł mszczonowski przejeżdża średnio ponad 10,5 tys. pojazdów ciężarowych w dobie. Dla wielu właścicieli tychże pojazdów przewóz naczep w systemie RO-RO mógłby stanowić alternatywę dla przewozów drogowych. Miejsce to odznacza się także optymalnym położeniem względem strefy mieszkalnej. Terminal intermodalny bowiem znalazłby się w strefie przemysłowej miasta, która nie jest gęsto zabudowana nieruchomościami gospodarczymi.

Na tę chwilę nie rekomenduje się budowy terminala intermodalnego w okolicach Warszawy. Koszt budowy terminala intermodalnego w niniejszym miejscu będzie jednym z najwyższych, dlatego zwrot inwestycji terminalowej może potrwać długie lata. Ponadto, pewnym przeciwskazaniem do umiejscowienia terminala intermodalnego w okolicach Warszawy może być ciągły wzrost poziomu urbanizacji i wiążący się tym przyrost gęstości zaludnienia (a jak

wiadomo terminale intermodalne generują ruch samochodów ciężarowych oraz hałas negatywnie oddziałujący na ludzi).

Na przestrzeni lat, dużo większego znaczenia mogą nabrać lokalizacje w Chynowie i Tarczynie. W tych okolicach bowiem następuje systematyczny wzrost zaludnienia, liczby zakładów pracy, a spadek powierzchni gruntów ornych w tych okolicach będzie najniższy spośród pozostałych wariantów.

Poniżej umieszczono grafikę obrazującą różnicę punktów wyrażoną w wartościach procentowych pomiędzy *wariantem bazowym*¹² a pozostałymi wariantami (Rysunek 109). Według zamieszczonych wykresów, w każdej dekadzie lokalizacje mszczonowska i radomska będą lepsze: od lokalizacji terminala intermodalnego w Jeziorkach średnio o 320-370%, od lokalizacji tarczyńskiej o 60-95%, od lokalizacji chynowskiej o 40-60%. Różnica punktów między wariantem lokalizacyjnym w Chynowie i Tarczynie jest niewielka i wynosi w różnych latach średnio 20-40%. Najmniejsza różnica między wariantem mszczonowskim i radomskim występuje w latach 2021, 2030, 2040 – oscyluje wokół 1-2%. Rośnie natomiast w roku 2050 do ok. 80% na korzyść lokalizacji we Mszczonowie.



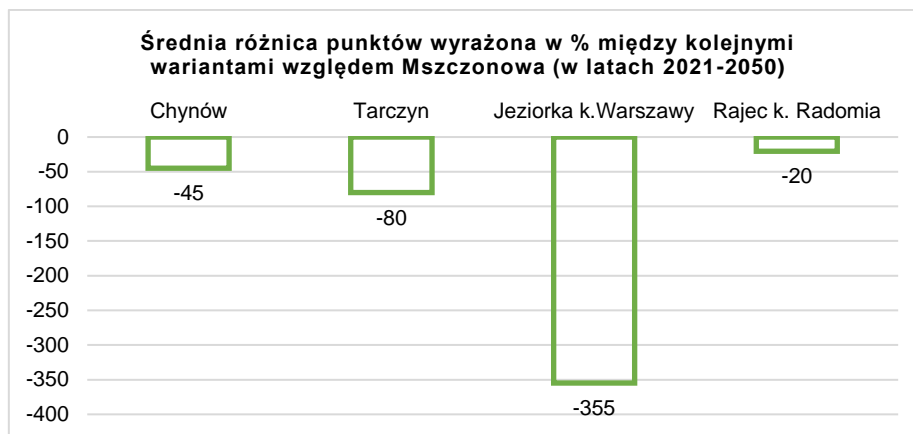
Rysunek 109 Różnica punktów między wariantem radomskim a pozostałymi wariantami (1) oraz między wariantem mszczonowskim a pozostałymi wariantami (2)

Źródło: opracowanie własne

Warto dodać, iż w ostatecznym rozrachunku, na przestrzeni lat 2021-2050 lokalizacja terminala intermodalnego we Mszczonowie byłaby średnio o 45% lepsza niż lokalizacja w Chynowie, o 20% lepsza niż lokalizacja w Radomiu, o 80% lepsza niż lokalizacja

¹² Najlepszy wariant w danej dekadzie, stanowiący odniesienie dla innych wariantów

w Tarczynie oraz o 355% lepsza niż lokalizacja terminala intermodalnego w Jeziorkach – Rysunek 110.



Rysunek 110 Średnia ocena wariantów względem wariantu mszczonowskiego w latach 2021-2050
Źródło: opracowanie własne

Poniżej przedstawiono uśredniony ranking wariantów z lat 2021-2050 (Tabela 23).

Tabela 23 Ranking wariantów na podstawie uśrednionego przepływu netto w latach 2021-2050

| Lokalizacja | Uśredniony przepływ netto | Ranking |
|----------------------|---------------------------|---------|
| Chynów | 0,056 | 3 |
| Tarczyn | 0,020 | 4 |
| Jeziorka k. Warszawy | -0,261 | 5 |
| Rajec k. Radomia | 0,082 | 2 |
| Mszczonów | 0,102 | 1 |

Źródło: opracowanie własne

Według powyższego zestawienia pierwsze miejsce w rankingu na przestrzeni lat zajmie lokalizacja we Mszczonowie, drugie w Chynowie, trzecie w Rajcu k. Radomia, czwarte w Tarczynie, piąte w Jeziorkach k. Warszawy. Niniejszy ranking wariantów może stanowić dodatkową sugestię dla inwestora co do wyboru ostatecznej lokalizacji terminala intermodalnego.

10. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

10.1. Osiągnięte efekty rozprawy

Poniżej przedstawiono uogólnione wnioski płynące z niniejszej rozprawy:

- Obiekty punktowe przeznaczone do równoległej obsługi naczep i kontenerów są obiektami bardzo istotnymi dla rozwoju regionów i kraju. Ich fizyczne lokalizowanie w sieci transportu kolejowego nie powinno odbywać się w sposób pochopny i nieprzemyślany,
- Szeroki i wieloaspektowy zakres analiz pozwala na zniwelowanie ryzyka zlokalizowania terminala intermodalnego w miejscu, w którym jego istnienie byłoby nieopłacalne lub niekorzystne z punktu widzenia: środowiskowego, biznesowego, techniczno-technologicznego, kosztowo-nakładowego oraz społeczno-politycznego,
- Istniejące metody lokalizacji terminali intermodalnych są niewystarczające w kontekście prowadzenia zrównoważonego rozwoju kraju i regionów. Często jedynym kryterium lokalizacyjnym w tych metodach są koszty bądź odległość. Przedstawiony w rozprawie model wyboru lokalizacji dla terminali intermodalnych obejmuje nie tylko kryteria techniczno-biznesowe, ale również te kryteria, które uwzględniają aspekt zrównoważonego rozwoju kraju/regionu,
- Opisane w światowej literaturze metody służące wspomaganie procesu decyzyjnego w zakresie wyboru lokalizacji dla terminali intermodalnych dzielą się głównie na metody jednokryterialne oraz wielokryterialne. Wyznaczanie terminali intermodalnych metodami jednokryterialnymi zostało opisane m.in. w pozycjach [3], [10], [163] natomiast metodami wielokryterialnymi w pozycjach [83], [85], [166], [176]. W metodach jednokryterialnych głównym kryterium lokalizacyjnym był zwykle czas lub koszt dostaw. Tak jak już wspomniano w rzeczywistości koszt dostaw w przypadku transportu intermodalnego przyjmuje charakter strefowy stąd nie jest najlepszym kryterium, jakie może być brane pod uwagę w tego typach problemach decyzyjnych. To powód, dla którego w niniejszej dysertacji postanowiono zaproponować inne metody lokalizowania terminali intermodalnych i inne kryteria ich wyboru. W niniejszych badaniach nie sprawdziliby się również prowadzenie prac badawczych na podstawie grafu odwzorowującego sieć kolejową. W regionach poszukiwań sieć kolejowa zazwyczaj będzie obejmowała zbyt małą liczbę linii kolejowych do stworzenia grafu. W przypadku metod wielokryterialnych autorzy publikacji rozważali wiele kryteriów i stosowali różnego rodzaju sposoby na rozwiązanie zadanego

problemu. W publikacjach tych brakowało jednak walidacji metodyki oraz sposobu kwantyfikacji zaproponowanych kryteriów – dlatego też nie wiadomo czy otrzymane wyniki są poprawne,

- Korzystanie z zaprezentowanej w rozprawie zmodyfikowanej metody grawitacyjnej obarczone jest pewnym ryzykiem. Przede wszystkim, metoda ta uwzględnia lokalizację konsumentów, którzy są tylko odbiorcami pośrednimi dóbr materialnych (klienci nie generują wolumenu kontenerowego – robią to za nich zakłady pracy). Po drugie, korzystanie z niniejszej metody niesie ze sobą duże prawdopodobieństwo wskazania lokalizacji terminala intermodalnego w obszarach o gęstej zabudowie, gdzie istnieje duża szansa wybuchu konfliktu społecznego. Z drugiej strony, warto mieć na uwadze, iż duże skupiska klienteli stwarzają warunki dla powstania w sąsiedztwie centrów zaopatrzeniowych, które są swoistym atraktorem ruchu kontenerowo-naczepowego. To m.in. przemawia za korzystaniem z omawianej metody,
- Najbardziej obiektywnymi metodami stosowanymi w niniejszej pracy wydają się być zmodyfikowana metoda pokrycia oraz metoda numeryczna, przy czym:
 - zmodyfikowana metoda pokrycia uwzględnia położenie zakładów pracy, które są bezpośrednimi generatorami i odbiorcami towarów przewożonych w naczepach oraz kontenerach. Niestety zebranie informacji o istniejących zakładach pracy stanowi duże wyzwanie i jest zadaniem czasochłonnym. Obecnie nie istnieje ogólnodostępna baza, która zawierałaby listę zakładów pracy wraz ze współrzędnymi geograficznymi w danych regionach,
 - metoda numeryczna uwzględnia obciążenie poszczególnych odcinków dróg wojewódzkich, krajowych i autostrad ruchem pojazdów ciężarowych, które potencjalnie mogłyby stanowić wolumen dla transportu szynowego. Zebranie danych analitycznych na jej potrzeby nie stanowi większego problemu – są ogólnodostępne.
- Korzystając z metody graficznej warto zwrócić uwagę na to, iż lokalizacja terminala intermodalnego może znaleźć się w miejscu, w którym nie będzie występowała dostateczna liczba przedsiębiorstw zainteresowanych korzystaniem z usług terminalowych,
- Wybór lokalizacji terminala intermodalnego metodą klastrową dla potencjału rolniczego jest obarczony pewnym ryzykiem. Rolnictwo w przyszłości może stanowić atrakcyjny sektor gospodarki dla transportu intermodalnego. Niestety, na tę chwilę

przewóz owoców, warzyw i zboża w transporcie intermodalnym to trend, który dopiero nabiera tempa,

- Polską branżę transportu intermodalnego i towarzyszącą mu nieodzownie gałąź kolejową trawią liczne problemy operacyjne oraz przepustowościowe. Budowa nowych lub modernizacja istniejących terminali intermodalnych (i stacji kolejowych) mogłaby pozytywnie wpłynąć na punktualność dostaw oraz zachęcić nowych klientów do korzystania z transportu intermodalnego. Z drugiej strony, w obecnej sytuacji geopolitycznej dodatkowa infrastruktura przeładunkowa dla transportu intermodalnego nie tylko pomogłaby wprowadzić kraj na nowy tor rozwoju gospodarczego, ale również mogłaby znacząco przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa:
 - energetycznego – obecnie bowiem kontenery stają się uniwersalnym naczyniem transportowym dla każdego rodzaju ładunku (w tym surowców energetycznych tj. węgla). Polska energetyka w dalszym ciągu oparta jest na węglu, którego obecnie brakuje. Transport kontenerowy węgla mógłby pomóc w odciążeniu transportu masowego oraz w szybkiej dystrybucji tego surowca do pośredników,
 - militarnego – terminale intermodalne o ile zaprojektowane są zgodnie ze standardem dual-use¹³ w razie potrzeby mogą pełnić rolę punktów przeładunkowych dla wojska. W kontekście wojny na Ukrainie mogłyby stać się obiektami wspierającym system bezpieczeństwa narodowego,
 - środowiskowego – przechwycenie ładunków z drogi na kolej pomogłoby odciążyć ruch drogowy czego konsekwencją byłaby redukcja emisji szkodliwych spalin.
- Zachodzące zmiany modelu biznesowego licznych firm stawiających na rozwój zielonego łańcucha dostaw, ogólny niedobór kierowców zawodowych na rynku, europejskie oraz krajowe regulacje prawne tj. *White Paper on Transport*, rosnąca konteneryzacja ładunków, powszechne odejście od aut spalinowych na rzecz aut elektrycznych o dużo krótszym zasięgu – wkrótce spowodują, iż budowa nowych terminali intermodalnych stanie się koniecznością. W tym sensie, badania oraz wnioski zawarte w niniejszej pracy mogą stać się pomocne przy realizowaniu transformacji krajowego systemu logistyczno-transportowego, którego nieodzownym elementem powinny stać się terminale intermodalne,

¹³ Standard projektowania infrastruktury umożliwiający wykonywanie na niej operacji cywilno-komercyjnych oraz militarnych

- Przedstawiony w pracy model charakteryzuje duża złożoność i czasochłonność przy zbieraniu niezbędnych informacji. Z drugiej strony, jest on jednak o wiele prostszy, bardziej intuicyjny i łatwiejszy w implementacji niż wiele z modeli dotychczas opublikowanych w globalnej literaturze,
- Niektóre elementy modelu zawarte w niniejszej pracy mogą w przyszłości zostać wykorzystane przez inwestorów planujących inwestycje w inne obiekty logistyczne tj. centra dystrybucyjne czy magazyny regionalne,
- Według przeprowadzonych badań najlepszymi lokalizacjami dla terminala intermodalnego byłyby Mszczonów (miejsce nr 1) oraz Radom (miejsce nr 2). Poprawność przeprowadzonych analiz walidują ostatnie doniesienia medialne z października 2023 o planowanej inwestycji w terminal intermodalny w Radomiu przez przedsiębiorstwo TG Park Sp. z.o.o oraz z kwietnia 2023 o planowanej inwestycji przez CPK Sp. z.o.o w terminal intermodalny w okolicach Baranowa (nieopodal Mszczonowa).

Głównym celem naukowym niniejszej dysertacji było przygotowanie metody wyznaczania lokalizacji terminali intermodalnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju Polski. Omawiana problematyka jest bardzo istotna z punktu widzenia gospodarki narodowej, gdyż terminale intermodalne stanowią pewnego rodzaju okno na świat oraz dają impuls do rozwoju obszarów, w których się znajdują.

Realizacja celu rozprawy wymagała dokonania szczegółowej analizy literatury związanej ze specyfiką transportu intermodalnego i tendencjami dotyczącymi lokalizacji obiektów logistycznych, w tym terminali intermodalnych. Wiedza ta pozwoliła zrozumieć jakie zachodzą zmiany w transporcie intermodalnym oraz jakimi czynnikami kierują się obecnie inwestorzy przy wyborze lokalizacji dla terminali intermodalnych. Na bazie niniejszej literatury opracowano m.in. koncept układu funkcjonalno-przestrzennego lokalizowanego terminala intermodalnego oraz nowe kryteria wyboru jego lokalizacji.

Analiza problemu oraz doświadczenie praktyczne autora dysertacji pozwoliły na opracowanie autorskiego modelu decyzyjnego w zakresie lokalizowania terminali intermodalnych. Przedstawiony w dysertacji model znacząco różni się od tych opisanych w światowej literaturze. Omawiany model wyznaczania lokalizacji terminali intermodalnych jest o wiele obszerniejszy od istniejących modeli. Składa się z pięciu poziomów i łączy w sobie wyznaczanie lokalizacji terminali intermodalnych metodami zarówno jedno- jak i wielokryterialnymi. W międzynarodowych publikacjach autorzy wychodzą z góry

z założenia, iż terminal intermodalny w danym rejonie jest potrzebny. W niniejszej dysertacji badania na Etapie I w pierwszej kolejności empirycznie udowadniają, że budowa terminala intermodalnego dla danego regionu jest potrzebna (model uwidacznia białe plamy na mapie, obrazujące obszary, w których brakuje terminali intermodalnych). Pomimo, iż Etap III badań nie różni się znacząco formą i treścią od badań innych naukowców, to Etap IV wprowadza element prognozowania wartości zmiennych diagnostycznych. Jest on pewnym *novum* w tego typu pracach. Jego zadaniem w modelu było zwrócenie uwagi decydentowi, że zakłócenia w modelu powodowane wartością zmiennych diagnostycznych w czasie mogą spowodować znaczące zmiany w rankingu wariantów w kolejnych latach.

W części teoretycznej rozprawy uzyskano następujące efekty rozważań:

- zdefiniowano podstawowe pojęcia związane z transportem intermodalnym, mikrootoczeniem, makrootoczeniem, prognozowaniem oraz jedno- i wielokryterialnymi metodami wspomaganie decyzji, które były niezbędne do pełnego zrozumienia zagadnień omawianych w rozprawie,
- dokonano przeglądu literatury w zakresie zidentyfikowanych obszarów badawczych. Uwzględniono zagadnienia takie jak: uwarunkowania mikro- i makrootoczenia rozwoju transportu intermodalnego, rola transportu intermodalnego w rozwoju systemu gospodarczego kraju i Europy według dokumentów o znaczeniu krajowym i europejskim, transport intermodalny i jego specyfika, terminale transportu intermodalnego jako punkty koncentracji i rozdziału strumieni ładunków,
- omówiono narzędzia oraz najpopularniejsze metody jednokryterialnego wspomaganie decyzji wykorzystywane do lokalizowania obiektów logistycznych, w tym terminali intermodalnych, magazynów, hub'ów logistycznych (w niniejszej rozprawie, dzięki wybranej metodzie jednokryterialnego wspomaganie decyzji wyznaczono lokalizacje dla terminali intermodalnych),
- omówiono najpopularniejsze metody oceny wielokryterialnej wykorzystywane do podejmowania różnorodnych decyzji w gospodarce i biznesie (w niniejszej rozprawie, dzięki wybranej metodzie wielokryterialnego wspomaganie decyzji przygotowano ranking wariantów lokalizacji terminala intermodalnego),
- omówiono najpopularniejsze metody prognozowania wykorzystywane do przewidywania wartości mierzalnych, które mogą ulec zmianie w miarę upływu czasu. W kontekście niniejszej rozprawy, metoda prognozowania posłużyła do pozyskania

wartości zmiennych diagnostycznych, które podstawiano do modelu wybranej metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji,

- przedstawiono zapis formalny modelu wyboru lokalizacji terminali intermodalnych obejmujący etapy wyznaczania regionów poszukiwań, lokalizacji terminali intermodalnych oraz etapy przygotowania rankingu wariantów dla stanu istniejącego i zaktualizowanych wartości zmiennych diagnostycznych.

W efekcie, rozprawa doktorska dostarcza formalnego zapisu modelu wyznaczania lokalizacji terminali intermodalnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju Polski.

Podjęta tematyka dysertacji wynika przede wszystkim z potrzeb prowadzenia zrównoważonego rozwoju kraju i regionów. Efekt dysertacji w postaci modelu decyzyjnego oraz analiza i wizualizacja wyników przy pomocy dedykowanych aplikacji komputerowych ułatwią w przyszłości potencjalnemu decydentowi wybór lokalizacji dla terminali intermodalnych. Specjalnie przygotowane narzędzia, programy i model mogą znaleźć zastosowanie przede wszystkim u operatorów transportu intermodalnego oraz zarządców infrastruktury kolejowej chcących fizycznie zaangażować się w budowę infrastruktury do przeładunku jłti.

Efekty rozważań uzyskane **w części praktycznej** rozprawy to:

- opracowanie procedury wyznaczania regionów poszukiwań, pozwalającej na określanie obszarów, w których brakuje terminali intermodalnych – obiektów kluczowych dla zrównoważonego rozwoju kraju i regionów,
- opracowanie procedur wyznaczania lokalizacji terminali intermodalnych metodami jednokryterialnego wspomaganie decyzji: w tym zmodyfikowanej metody grawitacyjnej, metody klastrowej, zmodyfikowanej metody maksymalnego pokrycia, metody graficznej oraz numerycznej,
- opracowanie sposobu wyznaczania prognozy wartości zmiennych diagnostycznych niezbędnych do przygotowania rankingu wariantów na kolejne lata funkcjonowania terminala intermodalnego,
- opracowanie metody oceny lokalizacji terminali intermodalnych na bazie wielokryterialnej metody wspomaganie decyzji do wyznaczania rankingu wariantów dla wartości w stanie istniejącym i zaktualizowanych wartości kryteriów,
- opracowanie narzędzi i programów do:
 - wizualizacji regionów poszukiwań na mapie kraju (narzędzie *MapTM2.xlsx* oraz program *MapViewwer.py*),

- wyznaczania lokalizacji terminali intermodalnych metodami jednokryterialnego wspomaganie decyzji (narzędzia *LokTMI.xlsx* oraz *LokTMIGraph.dwg*),
 - prognozowania wartości zmiennych diagnostycznych (*Prog2.0.py*),
 - przygotowywania rankingu wariantów w stanie istniejącym i dla zaktualizowanych zmiennych diagnostycznych (narzędzie *PROMII.xlsx* oraz program *PROMII.py*).
- wieloaspektowa ocena lokalizacji terminali intermodalnych z uwzględnieniem szans i zagrożeń dla rozwoju modelu biznesowego operatora transportu intermodalnego w danej lokalizacji.

W efekcie, rozprawa doktorska dostarcza nową procedurę i narzędzia, za pomocą których możliwe jest wyznaczenie optymalnych z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju lokalizacji dla terminali intermodalnych.

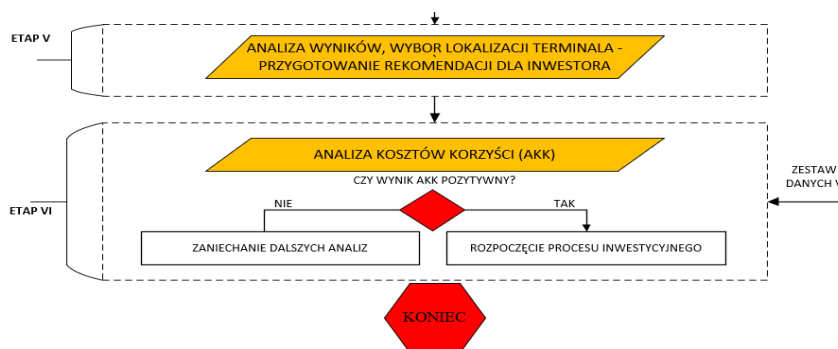
Warto dodać, iż w ramach szeroko-rozumianej Koncepcji Prowadzenia Ruchu Towarowego po liniach CPK równolegle prowadzone są analizy dotyczące budowy nowej sieci terminali intermodalnych w Polsce [8], [217]. Aktualnie, w toku wspomnianych prac implementowane są niektóre elementy przedstawionego modelu (tj. wielokryterialna ocena wariantów lokalizacyjnych, wyznaczanie lokalizacji terminali intermodalnych dla konkretnych kryteriów, lokalizowanie obiektów w miejscach, w których brak jest terminali intermodalnych). Nadrzędnym celem stosowania niniejszych składowych modelu w pracach analitycznych CPK jest zapewnienie omawianego w pracy zrównoważonego rozwoju kraju i regionów.

10.2. Kierunki dalszych badań

Wybór lokalizacji dla terminali lądowych dedykowanych do przeładunku kontenerów w systemie pionowym oraz naczep w systemie poziomym podyktowany był położeniem innych już funkcjonujących obiektów (analizy na poziomie Etapu I). Model nie uwzględniał natomiast położenia terminali RO-RO, które na tę chwilę w Polsce nie występują (z wyjątkiem terminala CLIP w Swarzędzu). Biorąc jednak pod uwagę globalne zmiany w łańcuchach dostaw, można dojść do wniosku, iż w niedalekiej przyszłości zajdzie konieczność ich budowy. Niestety, ograniczenia terenowe dla rozbudowy większości istniejących terminali intermodalnych oraz ich nierównomierne rozłożenie na mapie kraju sprawia, iż część terminali RO-RO będzie musiała funkcjonować niezależnie od istniejących obiektów. Dlatego na etapie dalszych badań należy zrewidować wnioski zawarte w niniejszej rozprawie i przygotować model lokalizacyjny dla terminali jednomodułowych z systemem RO-RO. Badania mogą wykazać, iż konieczne będzie rozważenie budowy tego typu obiektów tuż nieopodal istniejących terminali

kontenerowych lub na ich terenie (o ile posiadają wystarczającą rezerwę terenową pod ich rozbudowę).

Kolejnym krokiem niniejszych badań powinno być także przygotowanie modelu Analizy Kosztów Korzyści (AKK), który dostarczy informacji na temat tego czy wybrana przez inwestora lokalizacja terminala intermodalnego ma sens z punktu widzenia kosztowo-nakładowego. W tym celu, na dalszych etapach analiz konieczne będzie wyznaczenie m.in. prognozowanej liczby obsługiwanych par pociągów, samochodów ciężarowych oraz założeń nakładowych i kosztowych. Koncepcję rozbudowy modelu opisanego w niniejszej pracy przedstawia Rysunek 111.



Rysunek 111 Koncepcja rozbudowy modelu wyznaczania lokalizacji terminali intermodalnych

Źródło: opracowanie własne

Ponadto badania na kolejnych etapach można udoskonalić poprzez:

- uwzględnienie błędu prognozy w trakcie tworzenia rankingu wariantów. Błąd prognozy może znacząco wpłynąć na ranking wariantów, a w konsekwencji na końcową decyzję inwestora,
- wykorzystanie dokładniejszej mapy z jednostkami administracyjnymi (np. z granicami powiatów i gmin) do szczegółowego określania regionów poszukiwań,
- budowę kolejnych metod jednokryterialnego wspomaganie decyzji. W zaprezentowanych badaniach brakuje np. odniesienia do specjalnych stref ekonomicznych, których położenie powinno mieć istotny wpływ na decyzję dotyczącą lokalizacji terminala intermodalnego (niestety w niniejszym studium przypadku specjalne strefy ekonomiczne nie występują, dlatego nie rozważano ich jako kryterium lokalizacyjne),
- zastosowanie innych narzędzi do rozwiązania przedstawionego zagadnienia (np. logiki rozmytej, sieci neuronowych).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Abbassi A., A. E. hilali Alaoui, J. Boukachour, „Robust optimisation of the intermodal freight transport problem: Modeling and solving with an efficient hybrid approach”, *J Comput Sci*, t. 30, s. 127–142, sty. 2019, doi: 10.1016/J.JOCS.2018.12.001.
- [2] Allate B. M., „Terminal Location Models for Intermodal Transport Network Optimization”, *Open Journal of Applied Sciences*, t. 09, nr 05, s. 307–315, kwi. 2019, doi: 10.4236/OJAPPS.2019.95025.
- [3] Alumur S., B. Y. Kara, „Network hub location problems: The state of the art”, *Eur J Oper Res*, t. 190, nr 1, s. 1–21, paź. 2008, doi: 10.1016/J.EJOR.2007.06.008.
- [4] Ambroziak T., M. Jacyna, P. Gołębiowski, D. Pyza, M. Wasiak, E. Szczepański, „Transport Co-Modality and Intermodal Transshipment Terminals”, *Logistics and Transport*, t. 17, nr 3, 2013.
- [5] Ambroziak T., I. Jacyna-Gołda, J. Żak, „Kryteria oceny efektywności działania proekologicznego systemu transportowego”, *Logistyka*, nr 2, 2015.
- [6] Ambroziak T., K. Lewczuk, „Metoda wielokryterialna w zastosowaniu do oceny konfiguracji strefy składowania”, *Automatyka*, t. 13, nr 2, 2009.
- [7] Ampuła D., „Adaptacyjne metody predykcji”, *Problemy Techniki Uzbrojenia*, t. R. 42, z. 127, 2013.
- [8] Archutowska J. i in., „Biała Księga Rozwoju Kolei”, Warszawa, 2023.
- [9] Arnold P., D. Peeters, I. Thomas, „Modelling a rail/road intermodal transportation system”, *Transp Res E Logist Transp Rev*, t. 40, nr 3, s. 255–270, 2004, doi: 10.1016/j.tre.2003.08.005.
- [10] Badyal V., W. G. Ferrell, N. Huynh, B. Padmanabhan, „A two-stage stochastic model for intermodal terminal location and freight distribution under facility disruptions”, *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, t. 10, nr 1, grudz. 2023, doi: 10.1080/23302674.2023.2169055.
- [11] Bałuch H., M. Starczewska, *Leksykon terminów kolejowych*. Warszawa: KOW media & marketing, 2011.

- [12] Bartczak K., „Analiza barier rozwoju transportu intermodalnego w Polsce”, *Autobusy - Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, t. 4, nr 4, s. 120, 2016.
- [13] Bawelska A., K. Bącela, K. Józwicka, I. Kejer, „Transport drogowy w Polsce w latach 2018 i 2019”, Warszawa, 2021.
- [14] Bawelska A., D. Budny, J. Pawłowska, G. Schodowski, „Transport intermodalny w latach 2017–2019”, Warszawa, 2020. doi: 2719-2644.
- [15] Beasley J. E., „A note on solving large p-median problems”, *Eur J Oper Res*, t. 21, nr 2, s. 270–273, sie. 1985, doi: 10.1016/0377-2217(85)90040-2.
- [16] Beckmann M., „Lectures on location theory”, w *Springer Science & Business Media*, 1999. Dostęp: 31 sierpień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://books.google.com/books?hl=pl&lr=&id=QCBiSOWSpngC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Palander+i+L%C3%B6sch++&ots=ZwIYJa3ywA&sig=q3JTN6D570cnKckQ4XkfOnXHj6A>
- [17] Berman O., Z. Drezner, D. Krass, „Generalized coverage: New developments in covering location models”, *Comput Oper Res*, t. 37, nr 10, s. 1675–1687, paź. 2010, doi: 10.1016/J.COR.2009.11.003.
- [18] Bernábe-Loranca M. B., R. González-Velázquez, E. Granillo-Martinez, M. Romero-Montoya, R. A. Barrera-Cámara, „P-median problem: A real case application”, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, t. 1181 AISC, s. 182–192, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-49342-4_18/COVER.
- [19] Błaszczak W., *Metody organizacji i zarządzania. Kształtowanie relacji organizacyjnych*. Warszawa: PWN, 2005.
- [20] Borucka A., M. A. Grzelak, „Wyznaczanie optymalnej lokalizacji brygady logistycznej za pomocą metody grawitacyjnej”, *Gospodarka Materialowa & Logistyka*, nr 5, 2015.
- [21] Boudeville J.-R., „Perroux (François) - Pouvoir et économie.”, *Revue économique*, t. 25, nr 3, s. 500–503, 1974.
- [22] Brauers W. K. M., E. K. Zavadskas, F. Peldschus, Z. Turskis, „Multi-objective decision-making for road design”, *Transport*, t. 23, nr 3, s. 183–193, 2008, doi: 10.3846/1648-4142.2008.23.183-193.

- [23] Brimberg J., Z. Drezner, N. Mladenović, S. Salhi, „A new local search for continuous location problems”, *Eur J Oper Res*, t. 232, nr 2, s. 256–265, sty. 2014, doi: 10.1016/J.EJOR.2013.06.022.
- [24] Broniewicz E., E. Dziurdzikowska, „Metody wielokryterialne w równoważeniu procesów społeczno-gospodarczych”, *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, nr 491, s. 53–62, 2017, doi: 10.15611/PN.2017.491.05.
- [25] Brzeziński M., „Polskie owoce w kontenerach podbiją świat”. [Online]. Dostępne na: <https://logistyka.rp.pl/szynowy/art19014901-polskie-owoce-w-kontenerach-podbija-swiat>
- [26] Brzeziński M., D. Pyza, „Designing of Transshipment Terminals for Selected Intermodal Transport Systems”, w *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, cze. 2020, s. 52–62. doi: 10.1007/978-3-030-27687-4_6.
- [27] Brzeziński M., D. Pyza, „Carbon dioxide emission from diesel engine vehicles in intermodal transport”, *Transport*, t. 36, nr 3, s. 246–259, sie. 2021, doi: 10.3846/TRANSPORT.2021.15484.
- [28] Brzeziński M., D. Pyza, „A Refined Model for Carbon Footprint Estimation in Electric Railway Transport”, *Energies (Basel)*, t. 16, nr 18, wrz. 2023, doi: 10.3390/EN16186567.
- [29] Bućko P., „Zastosowanie regresji liniowej do analizy obciążeń cieplnych”, *Rynek Energii*, s. 18–21, 2009, Dostęp: 6 wrzesień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://mostwiedzy.pl/pl/publication/zastosowanie-regresji-liniowej-do-analizy-obciazen-cieplnych,111049-1>
- [30] Budner Waldemar., *Lokalizacja przedsiębiorstw: aspekty ekonomiczno-przestrzenne i środowiskowe*. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 2004.
- [31] Budner W. W., K. Pawlicka, „Lokalizacja centrum logistycznego jako czynnik wzmacniający pozycję rynkową firmy - studium porównawcze”, *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*, nr 12, 2018.
- [32] Butowski L., A. Bornikowska, „Zintegrowane metody AHP i PROMETHEE jako narzędzie oceny atrakcyjności europejskiej morskiej przestrzeni turystycznej dla turystyki”, *Prac Studi Geograf*, t. 63, nr 3, s. 133–152, 2018.

- [33] Cabała P., „Wykorzystanie metod ELECTRE w projektowaniu złożonych systemów organizacyjnych”, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie / Cracow Review of Economics and Management*, t. 0, nr 905, s. 5–20, grudz. 2015.
- [34] Calik H., B. C. Tansel, „Double bound method for solving the p-center location problem”, *Comput Oper Res*, t. 40, nr 12, s. 2991–2999, grudz. 2013, doi: 10.1016/J.COR.2013.07.011.
- [35] Caruso C., A. Colorni, L. Aloï, „Dominant, an algorithm for the p-center problem”, *Eur J Oper Res*, t. 149, nr 1, s. 53–64, sie. 2003, doi: 10.1016/S0377-2217(02)00464-2.
- [36] Chatys R., Z. Skrobaccki, „Zastosowanie metody Browna do prognozowania zniszczenia kompozytu warstwowego”, *Eksploatacja i Niezawodność*, t. 3, nr 47, s. 56–66, 2010.
- [37] Church R. L., S. Wang, „Solving the p-median problem on regular and lattice networks”, *Comput Oper Res*, t. 123, s. 105057, lis. 2020, doi: 10.1016/J.COR.2020.105057.
- [38] Church R., C. ReVelle, „The maximal covering location problem”, *Papers of the Regional Science Association*, t. 32, nr 1, s. 101–118, grudz. 1974, doi: 10.1007/BF01942293/METRICS.
- [39] Dantrakul S., C. Likasiri, R. Pongvuthithum, „Applied p-median and p-center algorithms for facility location problems”, *Expert Syst Appl*, t. 41, nr 8, s. 3596–3604, cze. 2014, doi: 10.1016/J.ESWA.2013.11.046.
- [40] Daskin M. S., K. L. Maass, „The p-Median Problem”, *Location Science*, s. 21–45, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-13111-5_2.
- [41] Dorozhovets M., „Wpływ korelacji wyników obserwacji na niepewność regresji liniowej”, *Pomiary Automatyka Kontrola*, nr R. 54, nr 12, s. 808–811, 2008, Dostęp: 6 wrzesień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-BSW4-0058-0002>
- [42] Downs G. W., L. B. Mohr, „Conceptual Issues in the Study of Innovation”, *Adm Sci Q*, t. 21, nr 4, s. 700, grudz. 1976, doi: 10.2307/2391725.
- [43] Dyr T., A. Pomykała, Raczyński. Jan, „Finansowanie rozwoju sieci TEN-T z instrumentu «Łącząc Europę»”, *Prawo i Finanse*, t. 4, s. 43–46, 2015.

- [44] Dziekoński K., E. Matuszewicz, „Koncepcja lokalizacji nowego centrum logistycznego w Polsce”, *Logistyka*, nr nr 3, s. 21–27, 2014.
- [45] Dz.U. 1974 nr 24 poz. 141, *Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy*. 1974.
- [46] Dz.U. 2005 nr 172 poz. 1444, *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 18 lipca 2005 r. w sprawie ogólnych warunków prowadzenia ruchu kolejowego i sygnalizacji*. 2005.
- [47] Dz.U. 2015 poz. 360, *Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 23 stycznia 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie ogólnych warunków prowadzenia ruchu kolejowego i sygnalizacji*.
- [48] Dz.U. 2021 poz. 1984, *Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 1 października 2021 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o transporcie kolejowym*. 2021.
- [49] Dz.U. 2022 poz. 528, *Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 28 stycznia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o samorządzie powiatowym*. 2022.
- [50] Dz.U. 2022 poz. 1693, *Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 7 lipca 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o drogach publicznych*. 2022.
- [51] Dz.U. z 2021 r. poz. 1984, *Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym*. 200n.e.
- [52] Dz.U. z 2022 r. poz. 988, *Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 28 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy - Prawo o ruchu drogowym*. 2022.
- [53] Dz.U.1998.151.987, *Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie*. 1999.
- [54] Elzinga J., D. W. Hearn, „Letter to the Editor—A Note on a Minimax Location Problem”, *Transportation Science*, t. 7, nr 1, s. 100–103, luty 1973, doi: 10.1287/TRSC.7.1.100.

- [55] Fabisiak L., P. Ziemia, „Wybrane metody analizy wielokryterialnej w ocenie użyteczności serwisów internetowych”, *Zeszyty naukowe uniwersytetu szczecińskiego*, t. 656, nr 28, 2011.
- [56] Fallah H., A. N. Sadigh, M. Aslanzadeh, „Covering problem”, *Contributions to Management Science*, s. 145–176, 2009, doi: 10.1007/978-3-7908-2151-2_7/COVER.
- [57] Farahani R. Z., N. Asgari, N. Heidari, M. Hosseini, M. Goh, „Covering problems in facility location: A review”, *Comput Ind Eng*, t. 62, nr 1, s. 368–407, luty 2012, doi: 10.1016/J.CIE.2011.08.020.
- [58] Fazel Zarandi M. H., S. Davari, S. A. Haddad Sisakht, „The large scale maximal covering location problem”, *Scientia Iranica*, t. 18, nr 6, s. 1564–1570, grudz. 2011, doi: 10.1016/J.SCIENT.2011.11.008.
- [59] Figueira J. R., V. Mousseau, B. Roy, „ELECTRE methods”, *International Series in Operations Research and Management Science*, t. 233, s. 155–185, 2016, doi: 10.1007/978-1-4939-3094-4_5/COVER.
- [60] Filina-Dawidowicz L., M. Kostrzewski, „The Complexity of Logistics Services at Transshipment Terminals”, *Energies 2022, Vol. 15, Page 1435*, t. 15, nr 4, s. 1435, luty 2022, doi: 10.3390/EN15041435.
- [61] Fojcik E., „Główne międzynarodowe linie kolejowe AGC/AGTC w obszarze Górnego Śląska”, *Przegląd komunikacyjny*, t. 3, nr 4, s. 56–61, 2011.
- [62] Garcia-Alvarez A., P. J. Perez-Martinez, I. Gonzalez-Franco, „Energy consumption and carbon dioxide emissions in rail and road freight transport in Spain: A case study of car carriers and bulk petrochemicals”, *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, t. 17, nr 3, s. 233–244, 2013, doi: 10.1080/15472450.2012.719456.
- [63] Gierszewska G., M. Romanowska, *Analiza strategiczna przedsiębiorstwa*. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, 2009.
- [64] Goldman A. J., „Optimal Center Location in Simple Networks”, *INFORMS*, t. 5, nr 2, s. 212–221, 1971.

- [65] Gołębiowski P., I. Jacyna-Gołda, K. Lewczuk, E. Szczepański, „Ocena emisji spalin w transporcie kolejowym w porównaniu z transportem drogowym”, *Pojazdy Szynowe*, nr 4, 2015.
- [66] Goszczyński T., „Wpływ czynników mikro i makrootoczenia na procesy innowacyjne zachodzące w przedsiębiorstwach”, *Zeszyty Naukowe. Quality. Production. Improvement*, t. No. 1 (8), s. 42–51, lip. 2018, doi: 10.30657/QPI.2018.08.04.
- [67] Górecka D., „Multi-Criteria Decision Aiding in Project Management - Outranking Approach and Verbal Decision Analysis”, *Studia Ekonomiczne*, t. 137, s. 11–38, 2013.
- [68] Griffin R. W., *Podstawy zarządzania organizacjami*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 1998.
- [69] Grulkowski S., „Kryteria doboru parametrów projektowych wybranych elementów terminali intermodalnych”, *Technika Transportu Szynowego*, t. 10, s. 49–58, 2013.
- [70] Guzmán V. C., D. A. Pelta, J. L. Verdegay, „An approach for solving maximal covering location problems with fuzzy constraints”, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, t. 9, nr 4, s. 734–744, sie. 2016, doi: 10.1080/18756891.2016.1204121.
- [71] Hakimi S. L., „p-Median theorems for competitive locations”, *Ann Oper Res*, t. 6, nr 4, s. 75–98, kwi. 1986, doi: 10.1007/BF02032873/METRICS.
- [72] Hanjoul P., D. Peeters, „A comparison of two dual-based procedures for solving the p-median problem”, *Eur J Oper Res*, t. 20, nr 3, s. 387–396, cze. 1985, doi: 10.1016/0377-2217(85)90012-8.
- [73] Hansun S., „A New Approach of Brown’s Double Exponential Smoothing Method in Time Series Analysis”, *BALKAN JOURNAL OF ELECTRICAL & COMPUTER ENGINEERING*, t. 4, nr 2, s. 75–78, 2016.
- [74] Iris Ç., J. S. L. Lam, „Recoverable robustness in weekly berth and quay crane planning”, *Transportation Research Part B: Methodological*, t. 122, s. 365–389, kwi. 2019, doi: 10.1016/J.TRB.2019.02.013.
- [75] Izdebski M., I. Jacyna-Gołda, E. Szczepański, „Warehouse location problem in supply chain designing”, 2019.

- [76] Izdebski M., I. Jacyna-Gołda, M. Wasiak, „Adoption of genetic algorithm for warehouse location in logistic network”, *Journal of KONES*, t. 23, nr 3, 2016.
- [77] Jacyna M., „Some aspects of multicriteria evaluation of traffic flow distribution in a multimodal transport corridor”, *Archives of Transport*, nr Vol. 10, iss.1–2, s. 37–52, 1998.
- [78] Jacyna M., „Modelowanie wielokryterialne w zastosowaniu do oceny systemów transportowych”, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, t. z. 47, s. 3–139, 2001.
- [79] Jacyna M., *Wspomaganie decyzji w praktyce inżynierskiej*. Warszawa: PWN, 2022.
- [80] Jacyna M., D. Pyza, „Rola intermodalnych terminali przeładunkowych w przewozach kolejowo-drogowych”, *Problemy Kolejnictwa-Zeszyt*, t. 169, 2015.
- [81] Jacyna M., D. Pyza, R. Jachimowski, *Transport intermodalny. Projektowanie terminali przeładunkowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2017.
- [82] Jacyna M., M. Wasiak, „Zastosowanie wielokryterialnej oceny do wyboru wariantu modernizacji elementów infrastruktury kolejowej”, *Problemy Kolejnictwa*, t. 146, s. 27–35, 2008.
- [83] Jacyna-Gołda I., M. Izdebski, „The Multi-criteria Decision Support in Choosing the Efficient Location of Warehouses in the Logistic Network”, *Procedia Eng*, t. 187, s. 635–640, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.424.
- [84] Jacyna-Gołda I., M. Izdebski, „The Warehouse Location Problem in the Context of Vehicle Routing Problem in the Production Companies”, *Lecture Notes in Networks and Systems*, t. 21, s. 50–62, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-64084-6_5.
- [85] Jacyna-Gołda I., M. Izdebski, K. Lewczuk, „The multi-criteria location problem of the municipal plants”, *Communications in Computer and Information Science*, t. 897, s. 493–505, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-97955-7_33.
- [86] Jakubowski L., „Miejsce przewozów intermodalnych w systemie transportowym”, *Problemy Kolejnictwa*, t. Z. 142, s. 28–36, 2006.
- [87] Jakubowski L., *Technologia praca ładunkowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2009.

- [88] Jakubowski L., „Technologia prac ładunkowych”, 2009.
- [89] Janic M., „An assessment of the performance of the European long intermodal freight trains (LIFTS)”, *Transp Res Part A Policy Pract*, t. 42, nr 10, s. 1326–1339, 2008, doi: 10.1016/J.TRA.2008.06.008.
- [90] Janić M., „Multicriteria Evaluation of Intermodal (Rail/Road) Freight Transport Corridors”, *Logistics & Sustainable Transport*, t. 11, nr 1, s. 1–23, luty 2020, doi: 10.2478/jlst-2020-0001.
- [91] Kacprzak D., „Przedziałowa metoda TOPSIS dla grupowego podejmowania decyzji”, *Optimum: studia ekonomiczne*, nr nr 4(94), s. 256–273, 2018, doi: 10.15290/OES.2018.04.94.19.
- [92] Kafel T., „Metodologiczne aspekty analizy mikrootoczenia organizacji”, *Zeszyty Naukowe / Akademia Ekonomiczna w Krakowie*, nr nr 554, s. 39–55, 2000.
- [93] Karimi E., H. R. Maleki, R. Akbari, „Tabu Search Algorithm to Solve the Intermodal Terminal Location Problem”, *Journal of Mathematical Extension*, t. 9, nr 1, s. 75–80, 2015.
- [94] Karolak J. i in., „Analiza i weryfikacja zasad określania widoczności sygnałów świetlnych nadawanych przez sygnalizatory kolejowe i wskaźniki stosowane na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP PLK S.A. Wersja końcowa”. 2018.
- [95] Kądziołka K., „Metoda PROMETHEE II w wielokryterialnej ocenie giełd kryptowalut”, *ECREG STUDIES*, t. 14, nr 2, s. 2451–182, 2021, doi: 10.2478/ers-2021-0010.
- [96] De Keyser W., P. Peeters, „A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods”, *Eur J Oper Res*, t. 89, nr 3, s. 457–461, mar. 1996, doi: 10.1016/0377-2217(94)00307-6.
- [97] Kłodawski M., R. Jachimowski, N. Chamier-Gliszczyński, „Analysis of the Overhead Crane Energy Consumption Using Different Container Loading Strategies in Urban Logistics Hubs”, *Energies (Basel)*, t. 17, nr 985, mar. 2024, doi: 10.3390/EN17050985.
- [98] Koba L., „Teoria cyklu życia produktu - prawda czy fałsz?”, *Marketing i Rynek*, nr nr 6, s. 15–21, 2006.

- [99] Korzeb J., A. Kostrzewski, „Ocena i rola technologicznych aspektów przeładunku samobieżnych zestawów drogowych w transporcie intermodalnym”, *Logistyka*, t. nr 4, 2012.
- [100] Kostrzewski A., M. Nader, „Analiza zagadnienia projektowania lądowych terminali przeładunkowych dla transportu intermodalnego”, *Logistyka*, nr nr 2, s. 397--407, CD1, 2015.
- [101] Kostrzewski A., M. Nader, „Technologiczne uwarunkowania krajowych lądowych baz przeładunkowych pośredniczących w transporcie intermodalnym”, *WUT Journal of Transportation Engineering*, nr 97, 2013.
- [102] Kostrzewski A., M. Nader, „Carakterystyka obsługi manipulacyjnej jednostek transportu intermodalnego z wykorzystaniem wozu wysięgnikowego typu Reach Stacker”, *Logistyka*, nr 4, 2015.
- [103] Kostrzewski M., M. Nader, A. Kostrzewski, „Racjonalizacja rozłożenia wybranych jednostek transportu intermodalnego na długości ładunkowej pociągu”, *WUT Journal of Transportation Engineering*, nr 120, 2018.
- [104] Kott I., P. Łochowska, P. Moszyńska, „Lokalizacja obiektów logistycznych w aspekcie ochrony środowiska naturalnego”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie*, t. 4, s. 61–69, 2011, Dostęp: 9 styczeń 2023. [Online]. Dostępne na: www.paprocki.pl
- [105] Kozerska M., „Transport intermodalny w Polsce – szanse i bariery rozwoju”, *Logistyka*, s. 3200–3205, 2014.
- [106] Koziół K., „Analiza strategiczna przedsiębiorstwa na poziomie makrootoczenia”, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania*, nr nr 17 Przedsiębiorstwa w procesie zmian, s. 77–88, 2010.
- [107] Królik R., „Wpływ społecznych czynników makrootoczenia na strategię współczesnych przedsiębiorstw”, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania*, nr nr 39 T.4 Zarządzanie, s. 111–124, 2015.

- [108] Krzysztofiak M., A. Luszniwicz, *Statystyka*. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 1976.
- [109] Książek M., „Analiza porównawcza wybranych metod wielokryterialnych oceny przedsięwzięć inwestycyjnych”, *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, t. Vol. 2, nr 4, s. 555–561, 2011.
- [110] Kuczyńska E., J. Ziółkowski, „Wyznaczanie lokalizacji obiektu logistycznego z zastosowaniem metody wyważonego środka ciężkości: studium przypadku”, *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, t. 61, nr 3, s. 339–351, 2012.
- [111] Kukulski J., K. Lewczuk, I. Góra, M. Wasiak, „Methodological aspects of risk mapping in multimode transport systems”, *Eksploatacja i Niezawodność*, t. 25, nr 1, luty 2023, doi: 10.17531/EIN.2023.1.19.
- [112] Kukulka A., M. Wirkus, „Metody wielokryterialne wspomaganie decyzji oraz ich zastosowanie w opracowaniu metody oceny niepotokowych procesów produkcyjnych”, *Innowacje W Zarządzaniu I Inżynierii Produkcji*, t. 1, s. 612–623, 2017.
- [113] Li X., Y. Fan, L. Wu, „CO2 emissions and expansion of railway, road, airline and inland waterway networks over the 1985–2013 period in China: A time series analysis”, *Transp Res D Transp Environ*, t. 57, s. 130–140, grudz. 2017, doi: 10.1016/j.trd.2017.09.008.
- [114] Limbourg S., B. Jourquin, „Optimal rail-road container terminal locations on the European network”, *Transp Res E Logist Transp Rev*, t. 45, nr 4, s. 551–563, lip. 2009, doi: 10.1016/J.TRE.2008.12.003.
- [115] Lin C. C., S. W. Lin, „Two-stage approach to the intermodal terminal location problem”, *Comput Oper Res*, t. 67, s. 113–119, mar. 2016, doi: 10.1016/J.COR.2015.09.009.
- [116] Macharis, Cathy, „The importance of stakeholder analysis in freight transport”, *European Transport \ Trasporti Europei*, nr 25–26, s. 114–126, 2004, Dostęp: 31 sierpień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://ideas.repec.org/a/sot/journal/y2004i25-26p114-126.html>
- [117] Macharis C., A. Caris, B. Jourquin, E. Pekin, „A decision support framework for intermodal transport policy”, *European Transport Research Review*, t. 3, nr 4, s. 167–178, grudz. 2011, doi: 10.1007/S12544-011-0062-5.

- [118] Macioszek E., M. Staniek, G. Sierpiński, „Analysis of trends in development of freight transport logistics using the example of Silesian Province (Poland) - a case study”, *Transportation Research Procedia*, t. 27, s. 388–395, sty. 2017, doi: 10.1016/J.TRPRO.2017.12.026.
- [119] Majowicz M., „Emilianowo bramą do polskich portów”. [Online]. Dostępne na: <https://intermodalnews.pl/2021/07/22/emilianowo-brama-do-polskich-portow/>
- [120] Martinov S., „Increasing the accuracy of evaluation in selecting a location for establishing an intermodal terminal”, *BulTrans*, t. 234, 2018, doi: 10.1051/mateconf/20182.
- [121] Merkisz-Guranowska A., „Kryteria optymalizacji w lokalizacji podmiotów sieci recyklingu pojazdów”, *Logistyka*, t. nr 4, 2012.
- [122] Merkisz-Guranowska A., *Modelowanie lokalizacji podmiotów sieci recyklingu pojazdów samochodowych*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2011. Dostęp: 16 maj 2024. [Online]. Dostępne na: <https://www.ibuk.pl/fiszka/124967/modelowanie-lokalizacji-podmiotow-sieci-recyklingu-pojazdow-samochodowych.html>
- [123] Michalak P., *Rozprawa doktorska: Metoda doboru zespołu silnikowo-prądnicowego w celu modernizacji lokomotyw spalinowych*. Poznań: Politechnika Poznańska, 2021.
- [124] Michłowicz E., „Optymalizacja zadań operatora logistycznego”, *Logistyka*, t. nr 3. s. CD-CD, 2009.
- [125] Michłowicz E., „Solving delivery problems in distribution systems”, *Logistics and Transport*, t. Vol. 18, No. 2, 2013.
- [126] Mikuś J., *Prognozowanie w badaniach marketingowych*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2003.
- [127] Mindur L., M. Gąsior, „Przewozy intermodalne”, *Eksploatacja*, t. 10, nr 6, s. 46–51, 2003.
- [128] Moroń D., S. Krzyżaniak, *Logistyka*. Instytut Logistyki i Magazynowania, 2009.

- [129] Muchayan A., „Comparison of Holt and Brown’s Double Exponential Smoothing Methods in The Forecast of Moving Price for Mutual Funds”, 2019, Dostęp: 5 wrzesień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://jurnal.ahmar.id/index.php/asci/article/view/67>
- [130] Murawski J., I. Jacyna-Gołda, „Problem wyznaczania optymalnej lokalizacji terminali transportu intermodalnego”, *Logistyka*, t. 2, s. 605–614, 2018.
- [131] Nader M., A. Kostrzewski, „Podstawowe założenia struktury procedury projektowania centrum przeładunkowego dla transportu intermodalnego”, *TTS Technika Transportu Szynowego*, nr 10, 2014.
- [132] Nader M., A. Kostrzewski, „Analiza zagadnienia projektowania lądowych terminali przeładunkowych dla transportu intermodalnego w”, *Logistyka*, nr 2, 2015.
- [133] Nader M., A. Kostrzewski, M. Kostrzewski, „Technological conditions of intermodal transshipment terminals in Poland”, *Archives of Transport*, t. 41, nr 1, s. 73–88, 2017, doi: 10.5604/01.3001.0009.7388.
- [134] Najwyższa Izba Kontroli, „Bariery rozwoju transportu intermodalnego”, Warszawa, 2019. Dostęp: 25 luty 2021. [Online]. Dostępne na: <https://www.nik.gov.pl/plik/id,21954,vp,24621.pdf>
- [135] Narula S. C., U. I. Ogbu, H. M. Samuelsson, „Technical Note—An Algorithm for the p-Median Problem”, <https://doi.org/10.1287/opre.25.4.709>, t. 25, nr 4, s. 709–713, sie. 1977, doi: 10.1287/OPRE.25.4.709.
- [136] Niebuhr A., S. Stiller, „Współczesne nurty w teorii lokalizacji a nowa geografia ekonomiczna”, *dbc.wroc.pl*, 2010, Dostęp: 31 sierpień 2023. [Online]. Dostępne na: https://www.dbc.wroc.pl/Content/119655/Miszczak_Wspolczesne_nurty_w_teorii_lokalizacji.pdf
- [137] Nowak M., „Metody ELECTRE w deterministycznych i stochastycznych problemach decyzyjnych”, *Decyzje*, nr nr 2, s. 35–65, 2004.
- [138] Oesterreich M., „Wykorzystanie modelu Holta-Wintersa oraz metod bootstrapowych w prognozowaniu na podstawie zmiennych ekonomicznych z wahaniami sezonowymi”, *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Oeconomica*, t. 62, nr 62, s. 73–80, 2011.

- [139] Official Journal of the European Union, *REGULATION (EU) No 1315/2013 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*. 2013.
- [140] Ogryczak W., „On the lexicographic minimax approach to location problems”, *Eur J Oper Res*, t. 100, nr 3, s. 566–585, sie. 1997, doi: 10.1016/S0377-2217(96)00154-3.
- [141] Oudani M., A. Alaoui, J. Boukachour, „An efficient genetic algorithm to solve the intermodal terminal location problem”, *IJSOM*, t. 1, nr 3, s. 279–296, 2014.
- [142] Petrović M., T. J. Mlinarić, I. Šemanjski, „Location Planning Approach for Intermodal Terminals in Urban and Suburban Rail Transport”, *Promet - Traffic&Transportation*, t. 31, nr 1, s. 101–111, luty 2019, doi: 10.7307/PTT.V31I1.3034.
- [143] PKP PLK, „Wykaz maksymalnych prędkości - pociągi pasażerskie”, 2017.
- [144] PKP-PLK, *Regulamin przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rjp 2016/2017*. 2017.
- [145] PKP-PLK, „Regilamin sieci 2019/2020”, 2020.
- [146] Ponsard C., „From Palander to Losch”, w *Springer*, Springer, Berlin, Heidelberg, 1983, s. 61–64. doi: 10.1007/978-3-642-82125-7_8.
- [147] Przystupa W., S. Juściński, „Analiza możliwości wykorzystania modelu Holta-Wintersa do oceny popytu na części zamienne do pojazdów rolniczych”, *Logistyka*, nr nr 5, s. 475-481, CD1, 2015, Dostęp: 5 wrzesień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-f9e29c7d-e04e-4145-9434-df8f754e7102>
- [148] Pyza D., „Multicriteria evaluation of designing transportation system within distribution sub-systems - Logistics and Transport - Tom Vol. 10, No. 1 (2010) - Biblioteka Nauki - Yadda”, *Logistics and Transport*, t. 10, nr 1, s. 25–34, 2010.
- [149] Pyza D., „Technologie przewozowe w transporcie intermodalnym”, *Przegląd komunikacyjny*, ISSN 0033-22-32, eISSN 2544-6037, t. 4, s. 2–12, 2019.
- [150] Pyza Dariusz., „Systemy przewozowe – problemy obsługi, potencjał i jego utrzymanie”, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, ISBN 978-83-7814-881-4, s. 235, 2019.

- [151] Pyza D., M. Brzeziński, „The loadings service process rationalization in the intermodal terminals”, *WUT Journal of Transportation Engineering*, t. 123, s. 121–136, grudz. 2018, doi: 10.5604/01.3001.0013.7467.
- [152] Pyza D., M. Piątek, „Wybrane aspekty projektowania terminali intermodalnych”, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, t. 119, s. 389–399, 2017.
- [153] Rahmawati A., C. N. Ramadhanti, F. H. Ismiav, R. Nurcahyo, „Comparing The Accuracy of Holt’s and Brown’s Double Exponential Smoothing Method in Forecasting The Coal Demand Of Company X”. IEOM Society, s. 460–469, 2021. Dostęp: 5 wrzesień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://scholar.ui.ac.id/en/publications/comparing-the-accuracy-of-holts-and-browns-double-exponential-smo>
- [154] ReVelle C. S., H. A. Eiselt, M. S. Daskin, C. S. ReVelle, H. A. Eiselt, M. S. Daskin, „A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science”, *Eur J Oper Res*, t. 184, nr 3, s. 817–848, 2008, Dostęp: 31 sierpień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:ejores:v:184:y:2008:i:3:p:817-848>
- [155] Rodziewicz K., P. Engel, I. Plutecka, „Kierunki rozwoju transportu intermodalnego w Polsce do 2030 r. z perspektywą do 2040 r”, 2020.
- [156] Roso V., N. Brnjac, B. Abramovic, „Inland intermodal terminals location criteria evaluation: The case of Croatia”, *Transportation Journal*, t. 54, nr 4, s. 496–515, wrz. 2015, doi: 10.5325/transportationj.54.4.0496.
- [157] Rostek M., R. Knosala, „Prognozowanie produktywności dla przedsiębiorstwa produkcyjnego - Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji - Tom Vol. 6, iss. 9 (2017) - BazTech - Yadda”, *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, t. 6, nr 9, s. 83–93, 2017.
- [158] Sierpiński G., M. Staniek, „Environmentally responsible management of transport of goods in urban areas”, *Transport Economics and Logistics*, t. 80, s. 205–216, grudz. 2018, doi: 10.26881/ETIL.2018.80.21.
- [159] Sierpiński G., M. Staniek, „Environmentally sustainable transport planning in the first and last mile section of the supply chain”, *Logistics and Transport*, t. 42, nr 2, s. 83–92, 2019, doi: 10.26411/83-1734-2015-2-42-6-19.

- [160] Sierpiński G., M. Staniek, M. J. Kłos, „Decision making support for local authorities choosing the method for siting of in-city EV charging stations”, *Energies (Basel)*, t. 13, nr 18, wrz. 2020, doi: 10.3390/EN13184682.
- [161] Snyder S. A., R. G. Haight, „Application of the Maximal Covering Location Problem to Habitat Reserve Site Selection: A Review”, *Int Reg Sci Rev*, t. 39, nr 1, s. 28–47, sty. 2016, doi: 10.1177/0160017614551276.
- [162] Solecka K., „Porównanie metod AHP oraz Promethee na przykładzie oceny wariantów zintegrowanego systemu miejskiego transportu publicznego w Krakowie”, *Logistyka*, nr nr 3, CD 1, s. 4521–4532, 2015.
- [163] Sörensen K., C. Vanovermeire, S. Busschaert, „Efficient metaheuristics to solve the intermodal terminal location problem”, *Comput Oper Res*, t. 39, nr 9, s. 2079–2090, wrz. 2012, doi: 10.1016/J.COR.2011.10.005.
- [164] Stecyk A., „Zastosowanie metody PROMETHEE II do wyboru kursu e-learningowego w przedsiębiorstwie”, *e-mentor*, t. 2019, nr nr 1, s. 39–45, mar. 2019, doi: 10.15219/EM78.1398.
- [165] Stoilova S., „Evaluation efficiency of intermodal transport using multi-criteria analysis”, w *Engineering for Rural Development*, Latvia University of Agriculture, 2018, s. 2030–2039. doi: 10.22616/ERDev2018.17.N246.
- [166] Stoilova S. D., S. V. Martinov, „Selecting a location for establishing a rail-road intermodal terminal by using a hybrid SWOT/MCDM model”, *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, t. 618, nr 1, s. 012060, paź. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/618/1/012060.
- [167] Stoilova S. D., S. V. Martinov, „Choosing the container handling equipment in a rail-road intermodal terminal through multi-criteria methods”, w *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, paź. 2019, s. 012032. doi: 10.1088/1757-899X/664/1/012032.
- [168] Stokłosa J., T. Cisowski, K. Olejnik, G. Woźniak, „Lokalizacja terminali intermodalnych”, *TTS Technika Transportu Szybowego*, t. R. 21, nr 5–6. 2014.
- [169] Stokłosa J., E. Kowalska-Napora, „Modele zarządzania łańcuchami transportu intermodalnego - Logistyka - Tom nr 3 (2014) - BazTech - Yadda”, *Logistyka*, t. 3, s. 6000–6007, 2014.

- [170] Szczepaniak W., I. Maćków, A. Sobianowska, „Analiza cyklu życia w teorii”, *Recykling*, nr nr 12, s. 18–19, 2007, Dostęp: 31 sierpień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-BOS4-0020-0063>
- [171] Szczepański E., R. Jachimowski, M. Izdebski, I. Jacyna-Gołda, „Warehouse location problem in supply chain designing: A simulation analysis”, *Archives of Transport*, t. 50, nr 2, s. 101–110, 2019, doi: 10.5604/01.3001.0013.5752.
- [172] Szostek R., „Uogólniony model Holta na przykładzie prognozowania liczby pasażerów w transporcie lotniczym w Polsce”, *Ekonometria*, t. 2, nr 36, 2012.
- [173] Śmierzchalski R., „Problemy eksploatacji kontenerów chłodniczych na statku”, *Problemy Eksploatacji*, t. nr 2, s. 223–230, 2008.
- [174] Świeboda J., A. Majowicz, A. Pająk, B. Janicka, „Transport intermodalny. Automatyzacja, technologia, infrastruktura i tabor. Stan obecny i trendy rozwoju.”, 2021.
- [175] Świtała M., K. Zowada, M. Fołtyński, „Transport Intermodalny W Polsce – Kierunki I Bariery Rozwoju Z Uwzględnieniem Perspektywy Usługodawców Logistycznych”, *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe*, t. 357, s. 108–121, 2018.
- [176] Tadić S., M. Krstić, N. Brnjac, „Selection of efficient types of inland intermodal terminals”, *J Transp Geogr*, t. 78, s. 170–180, cze. 2019, doi: 10.1016/J.JTRANGE0.2019.06.004.
- [177] Tadić S., M. Krstić, V. Roso, N. Brnjac, „Planning an Intermodal Terminal for the Sustainable Transport Networks”, *Sustainability 2019, Vol. 11, Page 4102*, t. 11, nr 15, s. 4102, lip. 2019, doi: 10.3390/SU11154102.
- [178] Tarapata Z., „Analiza możliwości wykorzystania wybranych modeli wygładzania wykładniczego do prognozowania wartości WIG-u”, *Wojskowa Akademia Techniczna*, 2000.
- [179] Tarasinska J., „Optymalne rozmieszczenie obserwacji w pewnym modelu regresji liniowej”, *Colloquium Biometryczne*, t. 31, 2001.
- [180] Tesfahuney M., „Geographical Imaginations”, *JSTOR*, 1995, Dostęp: 31 sierpień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://www.jstor.org/stable/490488>

- [181] Tułeczki A., S. KRÓL Politechnika Krakowska, S. kluczowe, „Modele decyzyjne z wykorzystaniem metody Analytic Hierarchy Process (AHP) w obszarze transportu”, *Problemy Eksploatacji*, t. nr 2, s. 171–179, 2007.
- [182] UIC-ETF, „Report on Combined Transport in Europe”, sty. 2019.
- [183] UTK, „Tabor kolejowy przewoźników towarowych - stan obecny i plany do 2023 r.”, Warszawa, 2018.
- [184] UTK, „Dane o terminalach intermodalnych”. Dostęp: 31 sierpień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/mapa-terminali/18573,Dane-o-terminalach-intermodalnych.html>
- [185] Vetschera R., A. T. De Almeida, „A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems”, *Comput Oper Res*, t. 39, nr 5, s. 1010–1020, maj 2012, doi: 10.1016/J.COR.2011.06.019.
- [186] Vidović M., S. Zečević, M. Kilibarda, J. Vlajić, N. Bjelić, S. Tadić, „The p-hub Model with Hub-catchment Areas, Existing Hubs, and Simulation: A Case Study of Serbian Intermodal Terminals”, *Netw Spat Econ*, t. 11, nr 2, s. 295–314, cze. 2011, doi: 10.1007/S11067-009-9126-7/METRICS.
- [187] Warsza Z. L., J. Puchalski, „Niepewności pomiarów w metodzie regresji liniowej. Część 1. Prosta i jej pasma niepewności dla nieskorelowanych danych pomiarowych”, *Pomiary Automatyka Robotyka*, t. R. 24, nr 3, nr 3, s. 79–91, wrz. 2020, doi: 10.14313/PAR_237/79.
- [188] Wasiak M., „O optymalności lokalizacji obiektów metodą sieciową”, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, t. z. 78, s. 113–125, 2011.
- [189] Wasiak M., I. Jacyna-Gołda, J. Żak, „Metodyka lokalizacji magazynów w sieci logistycznej”, *Logistyka*, nr nr 4, CD 1, s. 1143–1152, 2015.
- [190] White J. A., K. E. Case, „On Covering Problems and the Central Facilities Location Problem”, *Geogr Anal*, t. 6, nr 3, s. 281–294, lip. 1974, doi: 10.1111/J.1538-4632.1974.TB00513.X.
- [191] Wichser J., S. Besters, „Strategies for increasing intermodal transport between Eastern and Western Europe”, 2006. doi: 10.3929/ethz-b-000022419.

- [192] Wiegmans B. W., E. Masurel, P. Nijkamp, „Intermodal freight terminals: an analysis of the terminal market”, <https://doi.org/10.1080/03081069908717643>, t. 23, nr 2, s. 105–128, 2007, doi: 10.1080/03081069908717643.
- [193] Wieloński A., *Teoretyczne podstawy lokalizacji działalności gospodarczej*. Warszawa: Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, wydanie drugie poprawione i uzupełnione, 2007.
- [194] Wiśnicki B., „Rozprawa doktorska: Wielokryterialna analiza lokalizacji terminalu międzynarodowych przewozów multimodalnych w węźle szczecińskim”, grudz. 2001.
- [195] Wiśnicki B., A. Dyrda, „Analysis of the Intermodal Transport Efficiency in the Central and Eastern Europe”, *Naše more*, t. 63, nr 2, s. 43–47, 2016, doi: 10.17818/NM/2016/2.1.
- [196] Wojciechowski A., N. Wojciechowska, „Zastosowanie modeli Holta i Wintersa w zarządzaniu paletami w kanale dystrybucyjnym firmy Quatra”, *Logistyka*, nr nr 6, s. 520–523, CD, 2015, Dostęp: 5 wrzesień 2023. [Online]. Dostępne na: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-24123af0-16bf-43bf-b969-d6250d47f17b>
- [197] Wojciechowski T., „Encyklopedyczne podstawy marketingu”, *PLACET*, s. 56–58, 2009.
- [198] Yang K., L. Yang, Z. Gao, „Planning and optimization of intermodal hub-and-spoke network under mixed uncertainty”, *Transp Res E Logist Transp Rev*, t. 95, s. 248–266, lis. 2016, doi: 10.1016/J.TRE.2016.10.001.
- [199] Yar M., C. Chatfield, „Prediction intervals for the Holt-Winters forecasting procedure”, *Int J Forecast*, t. 6, nr 1, s. 127–137, sty. 1990, doi: 10.1016/0169-2070(90)90103-I.
- [200] Zabudsky G. G., D. V. Filimonov, „Solving MINIMAX location problems on networks with admissible maximal distances”, *IFAC Proceedings Volumes*, t. 39, nr 3, s. 413–418, sty. 2006, doi: 10.3182/20060517-3-FR-2903.00219.
- [201] Załoga E., M. Pluciński, W. Drózdź, M. Mańkowska, „Transport intermodalny w Polsce. Uwarunkowania i perspektywy rozwoju”, *Problemy transportu i logistyki*, t. 22, nr 778, 2013.
- [202] Zecevic S., S. Tadic, M. Krstic, „Multi-criteria evaluation of the intermodal terminal technologies”, w *3rd Logistics International Conference Belgrade, Serbia, 2017*, s. 105–110.

- [203] Żak J. *i in.*, „The Role Of Railway Transport In Designing A Proecological Transport System”, *WIT Transactions on The Built Environment*, t. 155, s. 15–25, paź. 2014, doi: 10.2495/CRS140021.
- [204] Żak J., „O pewnym podejściu do modelowania procesów transportowych”, *Logistyka*, nr 2, 2015.
- [205] Żak J., P. Gołębiowski, „Comparative analysis of the rail and road transport in the CO2 emission”, *Combustion Engines*, t. 162, nr 3, 2015.
- [206] „Długie pociągi odbiorą tirom ładunki - logistyka.rp.pl”. Dostęp: 28 luty 2021. [Online]. Dostępne na: <https://logistyka.rp.pl/transport/6498-dlugie-pociagi-odbiora-tirom-ladunki>
- [207] „Produkcja energii elektrycznej w Polsce | Rynek Elektryczny”. Dostęp: 27 czerwiec 2022. [Online]. Dostępne na: <https://www.rynekelektryczny.pl/produkcja-energii-elektrycznej-w-polsce/>
- [208] „Katalog wagonów PKP”. Dostęp: 26 styczeń 2020. [Online]. Dostępne na: https://www.pkpcargo.com/media/244882/pkp_cargo_katalog_03072018.pdf
- [209] „Zakup wagonów platform do przewozów intermodalnych przez PKP CARGO S.A. | PKP CARGO”. Dostęp: 27 czerwiec 2022. [Online]. Dostępne na: <https://www.pkpcargo.com/pl/co-robimy/zakup-wagonow-platform-do-przewozow-intermodalnych-przez-pkp-cargo-sa/>
- [210] „Małaszewicze z rekordem przeładunków - rp.pl”. Dostęp: 9 styczeń 2023. [Online]. Dostępne na: <https://logistyka.rp.pl/szynowy/art18890251-malaszewicze-z-rekordem-przeladunkow>
- [211] „Rząd będzie sterował transportem. PKP Cargo ma wozić węgiel, nawet kosztem strat - rp.pl”. Dostęp: 9 styczeń 2023. [Online]. Dostępne na: <https://www.rp.pl/transport/art36770761-rzad-bedzie-sterowal-transportem-pkp-cargo-ma-wozic-wegiel-nawet-kosztem-strat>
- [212] „CFL multimodal terminal | Félix Giorgetti”. Dostęp: 9 styczeń 2023. [Online]. Dostępne na: <https://www.gio.lu/en/projets/eurohub-cfl-terminal-multimodal>

- [213] „Rail solutions for semi-trailers: LOHR system – Rail Turkey En”. Dostęp: 9 styczeń 2023. [Online]. Dostępne na: <https://railturkey.org/2014/09/30/lohr-system-for-semi-trailers/>
- [214] „Kierunki rozwoju transportu intermodalnego do 2030 r. z perspektywą do 2040”. Dostęp: 16 kwiecień 2022. [Online]. Dostępne na: https://www.cupt.gov.pl/images/KRTI_po_konsultacjach_15.01.pdf
- [215] „Procesy demograficzne”. [Online]. Dostępne na: <https://docplayer.pl/108403408-1-procesy-demograficzne.html>
- [216] *Monitor Polski Nr 3, poz. 50.* 2002.
- [217] „Koncepcja rozwoju przewozów i sieci terminali intermodalnych w Spółce CPK”, Warszawa, 2013.
- [218] „Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju”, 2017, [Online]. Dostępne na: www.gov.pl
- [219] *Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030.* 2019. [Online]. Dostępne na: www.gov.pl
- [220] „Statystyka rynku pracy - woj. mazowieckie”, 2019. [Online]. Dostępne na: https://obserwatorium.mazowsze.pl/pliki/files/statystyki/2019/lipiec_19.pdf
- [221] „Report on Combined Transport in Europe”, Paryż, 2020.
- [222] *Rynek pracy w województwie mazowieckim w 2020 r.* Warszawa: Główny Urząd Statystyczny, Mazowiecki Ośrodek Badań Regionalnych, 2021. [Online]. Dostępne na: <https://warszawa.stat.gov.pl/publikacje-i-foldery/praca-wynagrodzenie/rynek-pracy-w-wojewodztwie-mazowieckim-w-2020-r-,3,16.html>
- [223] „Polska wciąż w czołówce największych producentów jabłek na świecie”. [Online]. Dostępne na: https://hurtidet.pl/article/art_id,35479-107/polska-wciaz-w-czolowce-najwiekszych-producentow-jablek-na-swiecie/
- [224] „CargoBeamer inaugure un nouveau terminal ferroviaire d'autoroute à Calais.” Dostęp: 9 styczeń 2023. [Online]. Dostępne na: <https://www.nordfranceinvest.fr/cargobeamer-inaugure-un-nouveau-terminal-ferroviaire-dautoroute-a-calais/>

[225] „Charakterystyka rolnictwa województwa świętokrzyskiego”. [Online]. Dostępne na:
<https://www.wrota-swietokrzyskie.pl/charakterystyka-rolnictwa-woj.-swietokrzyskiego>

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH POJĘĆ UŻYWANYCH W PRACY

Transport intermodalny – rodzaj transportu wykorzystujący więcej niż jedną gałąź transportu wykorzystywany do przewozu jłti na całej trasie przewozu bez zmiany naczynia transportowego [81].

Terminal intermodalny – obiekt przestrzenny połączony z infrastrukturą i właściwą organizacją, którego zadaniem jest możliwie szybki i sprawny przeładunek obsługiwanych jłti, pomiędzy środkami transportu różnych gałęzi transportowych oraz prowadzenie operacji ładunkowych na tych jednostkach związanych z ich użytkowaniem i składowaniem [152].

Pociąg – skład wagonów bądź innych pojazdów kolejowych ciągnionych przez czynny pojazd trakcyjny lub pojedynczy pojazd trakcyjny, obsadzony przez drużynę pociągową, odpowiednio osygnalizowany, przygotowany do jazdy lub znajdujący się aktualnie w ruchu [11].

Zmienna diagnostyczna – mierzalna cecha danego obiektu.

Kontener – metalowa skrzynia o zunifikowanych wymiarach i konstrukcji służąca do przewozu drobnicy.

Naczepa siodłowa – pojazd nieposiadający własnego napędu, który w każdej chwili może zostać sprzęgnięty z pojazdem silnikowym w taki sposób, że częściowo opierając się na nim, pojazd silnikowy przenosi większą część obciążenia masy własnej naczepy oraz ładunku.

Linia kolejowa – droga kolejowa przystosowana do prowadzenia ruchu pociągów [51].

Zarządca infrastruktury – podmiot odpowiedzialny za zarządzanie infrastrukturą kolejową, jej utrzymanie, eksploatację modernizację lub rozwój. W przypadku budowy nowej infrastruktury – występuje jako inwestor [48].

Makrootoczenie – wszystkie czynniki i zjawiska, które mają bezpośredni wpływ na przedsiębiorstwo, ale nie mogą być przez nie regulowane [19].

Mikrootoczenie – warunki działania przedsiębiorstwa w danej branży na danym rynku, wpływające na jego funkcjonowanie oraz rozwój [197].

Pojazd ciężarowy – pojazd samochodowy przeznaczony do przewozu ładunków o dopuszczalnej masie większej niż 3,5 tony [52].

Front ładunkowy – miejsce styku dwóch różnych gałęzi transportu, na którym dochodzi do przeładunku jednostek ładunkowych.

Droga ekspresowa – droga publiczna o ograniczonym dostępie przeznaczona do szybkiego przemieszczania się pojazdów samochodowych, zwykle posiadająca bezkolizyjne skrzyżowania z drogami lokalnymi [50].

Droga krajowa – najwyższa kategoria dróg publicznych, przeznaczona dla płynnego ruchu krajowego oraz międzynarodowego między dużymi miastami oraz przejściami granicznymi [50].

Droga wojewódzka – droga stanowiąca własność samorządu wojewódzkiego, przeznaczona do płynnego ruchu kołowego między kluczowymi miastami danego województwa [50].

Stacja kolejowa – posterunek zapowiadawczy, zbudowany z toru głównego i co najmniej jednego toru głównego dodatkowego. W stacji kolejowej pociągi mogą kończyć, zaczynać swój bieg lub zmieniać kierunek jazdy [46].

Ortofotomapa – rastrowy obraz powierzchni terenu, powstały w wyniku przetworzenia zdjęć lotniczych lub satelitarnych.

Zakład pracy – jednostka organizacyjna zatrudniająca pracowników [45].

Powiat – jednostka samorządu terytorialnego i podziału administracyjnego II stopnia w Polsce [49].

Miasto – jednostka osadnicza o przewadze gęstej zabudowy i funkcjach nierolniczych posiadająca prawa miejskie.

SPIS ILUSTRACJI

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Rysunek 1. System Modalohr (1), system CargoBeamer (2)..... | 27 |
| Rysunek 2. Udział UTI w przeładunkach w 2022 r w Polsce..... | 30 |
| Rysunek 3. Udział poszczególnych wagonów w rynku ze względu na długość..... | 31 |
| Rysunek 4. Liczba przewiezionych UTI/TEU oraz praca przewozowa w transporcie intermodalnym w latach 2012-2022..... | 33 |
| Rysunek 5. Struktura przewożonych towarów w Polsce w transporcie intermodalnym | 34 |
| Rysunek 6. Udział % poszczególnych rodzajów linii kolejowych w sieci transportu kolejowego | 35 |
| Rysunek 7. Skład o długości 600 m oraz pociąg o długości 750 m..... | 36 |
| Rysunek 8. Udział odcinków linii kolejowych przystosowanych do kursowania w danym przedziale prędkości..... | 37 |
| Rysunek 9. Długość oraz powierzchnia przypadająca na 1 km torów kolejowych w krajach UE | 38 |
| Rysunek 10 Udział przewoźników realizujących przewozy intermodalne w rynku | 38 |
| Rysunek 11 Szacunkowy udział klientów korzystających z transportu intermodalnego typu kolej-droga-morze oraz droga-morze | 41 |
| Rysunek 12 Terminal do obsługi kontenerów, zestawów drogowych oraz naczep siodłowych (1), Terminal CFL w Luksemburgu (2) | 47 |
| Rysunek 13 Koncept terminala do obsługi tranzytujących pociągów kontenerowych oraz naczep (1), Terminal tranzytowy w Małaszewiczach (2) | 48 |
| Rysunek 14 Koncept terminala regionalnego do obsługi pociągów kontenerowych oraz naczep (1), terminal o znaczeniu regionalnym w Kątach Wrocławskich (2)..... | 49 |
| Rysunek 15 Koncept terminala hub do obsługi pociągów kontenerowych oraz naczep (1), terminal PCC typu hub w Kutnie (2) | 50 |
| Rysunek 16 Front ładunkowy z Reachstackerem (1), Front ładunkowy z suwnicą RMG (2). 53 | |
| Rysunek 17 Rozmieszczenie terminali intermodalnych na mapie Polski..... | 56 |
| Rysunek 18 Liczba terminali (1) oraz powierzchnia poszczególnych państw przypadająca na 1 terminal w poszczególnych krajach UE (2) | 57 |
| Rysunek 19 Rozmieszczenie terminali intermodalnych w Europie..... | 58 |
| Rysunek 20 Sieć terminali LOHR (1) i CargoBeamer (2)..... | 59 |
| Rysunek 21 Przyczyny wyboru lokalizacji terminali intermodalnych według ankiety CUPT | 62 |
| Rysunek 22. Graficzna ilustracja metody maksymalnego pokrycia | 70 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Rysunek 23 Graficzna reprezentacja metody P-Mediany | 71 |
| Rysunek 24 Schemat struktury hierarchicznej w metodzie AHP | 74 |
| Rysunek 25 Graficzna reprezentacja problemu ITLP | 85 |
| Rysunek 26 Przykład obszarów szczególnie zagrożonych powodzią (przy LK 296 i LK 298 na wysokości Legnicy) (1), Przykład miejsca o pochyleniu 2,5% na wysokości Żywca przy LK 139 (2) | 88 |
| Rysunek 27 Przykład obszaru prawnie chronionego (przy LK 18 i LK 353 na wysokości Torunia) (1), Przykład potencjalnej lokalizacji dla terminala (Radom między LK 8 a 22 z przeszkodą w postaci cmentarza) (2) | 88 |
| Rysunek 28 Przykład lokalizacji terminala intermodalnego pośród gęstej zabudowy (Metrans Pruszków) (1), Potencjalna działka dla terminala intermodalnego w kolizji z zagospodarowaniem przestrzennym (przy LK 131/LK 201 Zag. Prz. ozn. MPZP023) (2) | 89 |
| Rysunek 29 Przykład kolizji z uzbrojeniem terenu (przy LK 137 w Rudzie Śląskiej) (1), Przykład kolizji z infrastrukturą cywilną (lotnisko w Łodzi) (2)..... | 90 |
| Rysunek 30 Przykład terminala z potencjalną rezerwą terenu pod rozbudowę..... | 90 |
| Rysunek 31 Metoda oceny lokalizacji terminali intermodalnych..... | 97 |
| Rysunek 32 Dane wejściowe..... | 98 |
| Rysunek 33 Przykład małego zakładu pracy (Fruit Family w Aleksandrówce) (1) Przykład zakładu pracy średniej wielkości (AgraFoods w Lesznie) (2) | 109 |
| Rysunek 34 Przykład zakładu dużej wielkości (PGZ w Radomiu) (1), Przykład zakładu pracy bardzo dużej wielkości (Park logistyczny Pruszków) (2) | 109 |
| Rysunek 35 Sposób wyznaczania lokalizacji terminala intermodalnego metodą graficzną .. | 112 |
| Rysunek 36 Podział węzła drogowego na kierunku..... | 113 |
| Rysunek 37 Sposób odczytu danych z tabeli GPR | 114 |
| Rysunek 38 Aplikacja komputerowa dla modelu badawczego..... | 119 |
| Rysunek 39 Opcje dodatku Mapa3D | 120 |
| Rysunek 40 Narzędzie <i>MapView.py</i> | 121 |
| Rysunek 41 Opcje narzędzia <i>LokTMIGraph.dwg</i> (Civil3D) | 122 |
| Rysunek 42 Aktualizowane pozycje w metodzie PROMETHEEII w narzędziu <i>PROMII.xlsx</i> | 123 |
| Rysunek 43 Prognozowanie zm. diagnostycznych metodą regresji liniowej w programie <i>Prog2.0.py</i> (1), Procedura pozyskiwania wskaźników wzrostu w narzędziu <i>Prog2.0.xlsx</i> (2) | 124 |
| Rysunek 44 Wybór parametrów w programie <i>PROMII.py</i> | 124 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Rysunek 45 Zasięg terminali intermodalnych w Polsce wygenerowany przy użyciu narzędzia <i>MapTM2.xlsx</i> (1) oraz programu <i>MapView.py</i> (2)..... | 125 |
| Rysunek 46 Zasięg terminali intermodalnych w Polsce bez terminali, które będą musiały być w przyszłości relokowane wygenerowany przy użyciu narzędzia <i>MapTM2.xlsx</i> (1) oraz <i>MapView.py</i> (2)..... | 126 |
| Rysunek 47 Regiony poszukiwań | 127 |
| Rysunek 48 Geograficzny oraz administracyjny zasięg regionu poszukiwań | 128 |
| Rysunek 49 Obszary chronione w obszarze poszukiwań..... | 129 |
| Rysunek 50 Tendencje związane z przyrostem demograficznym (1) oraz gęstość zaludnienia w regionie numer 7 (2) | 130 |
| Rysunek 51 Stopa bezrobocia w poszczególnych powiatach województwa mazowieckiego | 131 |
| Rysunek 52 Struktura zatrudnienia w województwie mazowieckim..... | 132 |
| Rysunek 53 Rozmieszczenie zakładów pracy w poszczególnych powiatach regionu numer 7 | 133 |
| Rysunek 54 Zarobki mieszkańców województwie mazowieckim..... | 136 |
| Rysunek 55 Przebieg linii PKP PLK w regionie numer 7 | 137 |
| Rysunek 56 Liczba pociągów na poszczególnych linii kolejowych w regionie numer 7..... | 138 |
| Rysunek 57 Długość poszczególnych linii kolejowych w regionie numer 7..... | 138 |
| Rysunek 58 Przebieg dróg ekspresowych (1) oraz dróg wojewódzkich w regionie numer 7 (2) | 139 |
| Rysunek 59 Długość poszczególnych dróg ekspresowych i autostrad w regionie numer 7 .. | 140 |
| Rysunek 60 Linie energetyczne wysokiego i najwyższego napięcia | 142 |
| Rysunek 61 Zasięg terminali intermodalnych w promieniu 50 i 100 km w regionie numer 7 i jego sąsiedztwie..... | 143 |
| Rysunek 62 Szacunkowe wykorzystanie przepustowości terminali intermodalnych w poszczególnych województwach | 144 |
| Rysunek 63 Siatka połączeń terminali intermodalnych najbliższej znajdujących się regionu numer 7..... | 145 |
| Rysunek 64 Propozycja lokalizacji terminala intermodalnego nieopodal miejscowości Józefosław | 148 |
| Rysunek 65 Obszar wznoszenia lotniska Okęcie..... | 148 |
| Rysunek 66 Geometria tras szybkiego ruchu w promieniu 5 km od terminala intermodalnego w Jeziorkach..... | 150 |
| Rysunek 67 Rezerwa pod rozbudowę terminala intermodalnego w Jeziorkach k. Piaseczna | 151 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Rysunek 68 Kolizja ze strefą biznesową terminala intermodalnego w Jeziorkach względem innych terminali..... | 151 |
| Rysunek 69 Propozycja lokalizacji terminala intermodalnego nieopodal wsi Zalesie Górne (powiat piaseczyński)..... | 152 |
| Rysunek 70 Powierzchnia użytków rolnych (1) oraz powierzchnia sadów owocowych (2). 153 | |
| Rysunek 71 Lokalizacja terminala intermodalnego (1), koncepcja włączenia terminala intermodalnego do LK 8 (2)..... | 154 |
| Rysunek 72 Geometria tras szybkiego ruchu w promieniu 5 km od terminala intermodalnego w Chynowie..... | 156 |
| Rysunek 73 Uzbrojenie terenu na działce zarezerwowanej pod budowę terminala intermodalnego w miejscowości Chynów..... | 156 |
| Rysunek 74 Rezerwa terenu pod rozbudowę terminala w Chynowie..... | 157 |
| Rysunek 75 Kolizja ze strefą biznesową terminala intermodalnego w Chynowie względem innych terminali..... | 157 |
| Rysunek 76 Propozycja lokalizacji terminala intermodalnego w Tarczynie | 159 |
| Rysunek 77 Wpięcie terminala intermodalnego do LK 12 na wysokości Tarczyna | 159 |
| Rysunek 78 Geometria układów torowych stacji Tarczyn [<i>Dostęp: 20.09.2022</i>] | 161 |
| Rysunek 79 Geometria tras szybkiego ruchu w promieniu 5 km od terminala intermodalnego w Tarczynie | 161 |
| Rysunek 80 Kolizja z uzbrojeniem terenu na działce terminala intermodalnego w Tarczynie | 162 |
| Rysunek 81 Rezerwa pod rozbudowę terminala intermodalnego w Tarczynie..... | 162 |
| Rysunek 82 Kolizja ze strefą biznesową terminala intermodalnego w Tarczynie względem innych terminali..... | 163 |
| Rysunek 83 Lokalizacja terminala intermodalnego w Radomiu wyznaczona metodą graficzną | 163 |
| Rysunek 84 Propozycja lokalizacji terminala intermodalnego w Rajcu k. Radomia | 164 |
| Rysunek 85 Wpięcie terminala intermodalnego do LK 22 w Rajcu k. Radomia | 165 |
| Rysunek 86 Geometria tras szybkiego ruchu w promieniu 5 km od terminala intermodalnego w Rajcu k. Radomia | 166 |
| Rysunek 87 Kolizja z uzbrojeniem terenu na działce terminala intermodalnego w Rajcu k. Radomia | 167 |
| Rysunek 88 Rezerwa pod rozbudowę terminala intermodalnego w Rajcu k. Radomia | 167 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Rysunek 89 Kolizja ze strefą biznesową terminala intermodalnego w Rajcu k. Radomia względem innych terminali | 168 |
| Rysunek 90 Poziom natężenia ruchu pojazdów ciężarowych w poszczególnych powiatach regionu poszukiwań..... | 169 |
| Rysunek 91 Propozycja lokalizacji terminala w Mszczonowie | 170 |
| Rysunek 92 Wpięcie terminala intermodalnego do LK 12 na wysokości Mszczonowa | 170 |
| Rysunek 93 Kolizja z zagospodarowaniem przestrzennym w Mszczonowie..... | 171 |
| Rysunek 94 Układ torów stacyjnych w stacji Mszczonów | 172 |
| Rysunek 95 Geometria tras szybkiego ruchu w promieniu 5 km od terminala intermodalnego w Mszczonowie..... | 172 |
| Rysunek 96 Kolizje z uzbrojeniem terenu na terenie działki terminala intermodalnego w Mszczonowie..... | 173 |
| Rysunek 97 Rezerwa terenu pod rozbudowę terminala intermodalnego w Mszczonowie | 173 |
| Rysunek 98 Kolizja ze strefą biznesową terminala intermodalnego w Mszczonowie względem innych terminali..... | 174 |
| Rysunek 99 Lokalizacje terminali intermodalnych wyznaczone na podstawie modelu badawczego | 175 |
| Rysunek 100 Średnia stopa bezrobocia w klastrze (1), liczba pojazdów ciężarowych (2) w poszczególnych wariantach..... | 180 |
| Rysunek 101 Objętość prac ziemnych (1), koszt zmienny budowy terminala intermodalnego (2) | 180 |
| Rysunek 102 Liczba zakładów pracy oraz liczba ludności znajdująca się w promieniu 50 km od wybranej lokalizacji terminala intermodalnego | 181 |
| Rysunek 103 Powierzchnia mieszkalna wokół terminala intermodalnego (1) oraz rezerwa pod rozbudowę terminala intermodalnego (2) | 182 |
| Rysunek 104 Zakres wycinki drzew (1) powierzchnia użytków rolnych i powierzchnia kolizji biznesowej (2) w poszczególnych wariantach lokalizacyjnych..... | 182 |
| Rysunek 105 Liczba gospodarstw i dróg lokalnych do likwidacji (1), cena gruntów (2)..... | 183 |
| Rysunek 106 Prognozowana liczba ludności (1) i stopa bezrobocia w poszczególnych klastrach (2) | 184 |
| Rysunek 107 Prognozowana liczba samochodów (1) oraz spadek powierzchni użytków rolnych (2) | 184 |
| Rysunek 108 Prognozowany wzrost cen gruntów (1) oraz prognoza wzrostu liczby zakładów pracy (2) | 185 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Rysunek 109 Różnica punktów między wariantem radomskim a pozostałymi wariantami (1) oraz między wariantem mszconowskim a pozostałymi wariantami (2)..... | 186 |
| Rysunek 110 Średnia ocena wariantów względem wariantu mszconowskiego w latach 2021-2050..... | 187 |
| Rysunek 111 Koncepcja rozbudowy modelu wyznaczania lokalizacji terminali intermodalnych | 195 |
| Rysunek 112 Koncept terminala RO-RO/LO-LO..... | 256 |
| Rysunek 113 Koncept terminala RO-RO/LO-LO typu HUB | 256 |

SPIS TABEL

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1. Elementy mikrootoczenia w kontekście transportu intermodalnego | 22 |
| Tabela 2. Cele i kroki zawarte w KRTI | 23 |
| Tabela 3. Podział linii kolejowych ze względu na parametry | 34 |
| Tabela 4. Klasy linii kolejowych..... | 36 |
| Tabela 5 Czynniki wpływające na ostateczny kształt terminala intermodalnego | 51 |
| Tabela 6 Założenia projektowe dla terminali | 53 |
| Tabela 7 Europejskie porty morskie i ich obroty w 2020 roku | 58 |
| Tabela 8 Powiaty i miasta w regionie numer 7 | 128 |
| Tabela 9 Liczba zakładów pracy w poszczególnych powiatach regionu numer 7 z podziałem na wielkość | 133 |
| Tabela 10 Linie kolejowe oraz ich długość w regionie numer 7 | 137 |
| Tabela 11 Numery dróg oraz ich długości w regionie numer 7 | 140 |
| Tabela 12 Terminale intermodalne w regionie numer 7 oraz jego najbliższym sąsiedztwie. 142 | |
| Tabela 13 Terminale intermodalne najbliżej znajdujące się regiony numer 7 i ich funkcje.. 145 | |
| Tabela 14 Powiaty i miasta wykreślone z dalszych analiz..... | 146 |
| Tabela 15 Proponowane lokalizacje dla budowy terminala intermodalnego oraz dane o popycie generowanym w promieniu 50 km..... | 158 |
| Tabela 16 Uśredniona liczba pojazdów ciężarowych przejeżdżająca przez dany węzeł transportowy..... | 168 |
| Tabela 17 Współrzędne geograficzne proponowanych lokalizacji..... | 174 |
| Tabela 18 Kryteria oceny oraz wagi poszczególnych ocen | 175 |
| Tabela 19 Macierz przepływów preferencji netto oraz ranking wariantów | 177 |
| Tabela 20 Ranking wariantów lokalizacyjnych w roku 2030 | 178 |
| Tabela 21 Ranking wariantów lokalizacyjnych w roku 2040 | 179 |
| Tabela 22 Ranking wariantów lokalizacyjnych w roku 2050 | 179 |
| Tabela 23 Ranking wariantów na podstawie uśrednionego | 187 |
| Tabela 24 Terminale intermodalne oraz ich estymowany zasięg | 231 |
| Tabela 25 Miasta w regionie numer 7 oraz ich liczba ludności | 232 |
| Tabela 26 Powiaty regionu numer 7 oraz ich liczba mieszkańców | 234 |
| Tabela 27 Powierzchnia użytków rolnych w poszczególnych powiatach (przykład dla 4 klastrów)..... | 234 |
| Tabela 28 Zakłady pracy w regionie nr 7..... | 235 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 29 Liczba pojazdów ciężarowych w danych węzłach drogowych regionu nr 7 | 250 |
| Tabela 30 Koszty budowy terminala i ich składowe..... | 252 |
| Tabela 31 Koszt zmienny budowy terminala intermodalnego w poszczególnych wariantach | 253 |
| Tabela 32 Macierz decyzyjna ze zmiennymi diagnostycznymi..... | 255 |

ZAŁĄCZNIKI

Załącznik 1

Charakterystyka regionów poszukiwań wyznaczonych w trakcie analiz

Region nr 1 – jest to obszar znajdujący się w zachodniej części Polski na wschód od Poznania i Wrocławia – przy granicy z Niemcami. Teren położony jest na styku Niziny Śląskiej i Pojezierza Wielkopolskiego. Zasięgiem obejmuje obszar województwa lubuskiego, części dolnośląskiego i zachodniopomorskiego. W jego granicach znajdują się miasta tj. Gorzów Wielkopolski, Żary oraz Zielona Góra – stolica województwa. Obszar charakteryzuje się niską gęstością zaludnienia (ok. 75 os/km²), a bezrobocie osiąga tutaj niewielką - 6% stopę. W zakreślonym obszarze występują tak duże zakłady pracy jak Faurecia – producent części samochodowych, Swiss Krono – producent mebli, Arctic Paper - producent wyrobów papierniczych. Przez region nr 1 swoją bieżącą ważną ciągą komunikacyjną tj. autostrady A2, A4, A18 oraz linie kolejowe tj. LK 3, LK 14, LK 203, LK 358. Atutem lokalizacji terminala intermodalnego w tym miejscu jest bliskość do granicy Niemiec, dokąd trafia 1/3 polskiego eksportu przez przejścia graniczne w Słubicach, Zgorzelcu, Kostrzynie i Gubinie.

Region nr 2 – jest to obszar znajdujący się w północnej części Polski, na wschód od Szczecina i na zachód od Trójmiasta. Teren położony jest na Pojezierzu Pomorskim i Pobrzeżu Koszalińskim. Region ten charakteryzuje się niewielką gęstością linii kolejowych oraz dróg szybkiego ruchu i względnie słabym uprzemysłowieniem. Bezrobocie osiąga tutaj bardzo wysoką stopę (ok. 15%), a gęstość zaludnienia wynosi ok. 125 os/km². Teren położony jest na styku Pojezierza Pomorskiego i Pojezierza Wielkopolskiego. Zasięgiem obejmuje obszar większej części województwa zachodniopomorskiego, niewielkiej części wielkopolskiego i pomorskiego. W granicach regionu znajdują się miasta: Koszalin, Słupsk, Kołobrzeg oraz Piła. W Kołobrzegu funkcjonuje port morski, nie mający niestety większego znaczenia w wymianie towarowej z innymi państwami. Swoje fabryki mają tutaj Signify – producent elektroniki czy Mercedes Benz – producent samochodów dostawczych. Obszar regionu przecina droga szybkiego ruchu S6 oraz linie kolejowe LK 202, LK 402 oraz LK 404. Niewątpliwą wadą lokalizacji terminala intermodalnego w tym miejscu jest stosunkowo bliska odległość do portów morskich w Gdańsku, Gdyni oraz w Szczecinie.

Region nr 3 – jest to obszar znajdujący się w północnej części Polski, na południe od Trójmiasta. Teren położony jest na Pojezierzu Chełmińsko-Dobrzyńskim. Obejmuje obszar województwa kujawsko-pomorskiego oraz niewielkiej części województwa pomorskiego. Charakteryzuje się względnie dużym uprzemysłowieniem i dobrymi warunkami dla rozwoju

rolnictwa (około 60% powierzchni regionu stanowią grunty orne). Stopa bezrobocia osiąga tutaj ok. 8%, a średnia gęstość zaludnienia to ok. 115 os/km². W zasięgu regionu znajdują się: Inowrocław, Włocławek, Świecie, Bydgoszcz oraz Toruń – dwa miasta o znaczeniu wojewódzkim. Swoje oddziały mają tutaj Mondi – zakład przetwórstwa celulozowego, Ciech – producent nawozów, Pesa – producent taboru kolejowego czy LPP – producent odzieży. Przez region przebiega autostrada A1, droga szybkiego ruchu S5 oraz linie kolejowe LK 19, LK 131, LK 201, LK 208 i LK 353, przy czym linia LK 131 nieprzerwanie od XX-lecia międzywojennego jest jedną z najważniejszych linii towarowych w kraju. Region posiada optymalne warunki dla budowy terminala intermodalnego. W omawianym obszarze, inwestycją w tego typu obiekt interesuje się spółka PKP Cargo[119].

Regiony nr 4 i 5 – są to obszary znajdujące się w północno-wschodniej części Polski, na północ od Warszawy. W ich zasięgu znajdują się miasta takie jak: Łomża, Ostrołęka, Giżycko, Suwałki oraz Olsztyn i Białystok (miasta o znaczeniu wojewódzkim). Tereny położone są na Pojezierzu Mazurskim, Suwalskim i częściowo na Nizinie Podlaskiej. Obszar charakteryzuje się niewielką gęstością linii kolejowych oraz dróg szybkiego ruchu, niską gęstością zaludnienia (ok. 60 os/km²) i dosyć wysokim na tle kraju bezrobociem (ok. 9%). W regionie zlokalizowanych jest jednak wiele dużych fabryk takich jak: fabryka mebli Forte, Cedrob – producent pasz, Animex – producent mrożonek, BAT – producent wyrobów tytoniowych. Zasięgiem obejmuje obszar województwa podlaskiego, warmińsko-mazurskiego oraz północnej części województwa mazowieckiego. Znajduje się tutaj wiele cennych obiektów o znaczeniu kulturowo-środowiskowym. Region przecinają drogi szybkiego ruchu S7, S8, S19, S51 i S61 oraz linie kolejowe takie jak LK 9, LK 38, LK 40, LK 202 i LK 353. Na cały obszar przypada wyłącznie jeden niewielki terminal NTQ w Ełku. Za lokalizacją terminala intermodalnego w niniejszym miejscu przemawia fakt strategicznego położenia regionu względem sąsiednich krajów (Rosją od północy, Litwą od północnego-wschodu i Białorusią od wschodu). Dodatkowy potencjał stanowi transgraniczna inwestycja *Rail Baltica*, trasowana przez okolice Białegostoku oraz inwestycja kolejowa CPK na odcinku Ostrołęka-Giżycko. Region 4 i 5 oddziela północna granica województwa mazowieckiego.

Region nr 6 – obszar znajdujący się we wschodniej części Polski, na południe od centrum logistycznego Małaszewicze i na północ od Rzeszowa. Swoim zasięgiem obejmuje województwo lubelskie oraz północną część województwa podkarpackiego. Są to tereny o charakterze rolniczym, w którym występują urodzajne czarnoziemy. Obszar położony jest na Polesiu i Wyżynie Małopolskiej. Stopa bezrobocia w regionie nr 6 wynosi ok. 7%. Znajdują się tutaj takie zakłady jak fabryka mebli Black Red White, Zakłady Azotowe Puławy, Zakłady

Mięsne Wierzejki i Łuków czy kopalnia węgla kamiennego „Bogdanka”. Przez region przebiega LK nr 7,12,26,32, 65, LK 2 (po, której poruszają się pociągi z NJS) oraz LK 65 (PKP LHS) – jedyna linia szerokotorowa w Polsce rozpoczynająca swój bieg w Hrubieszowie i kończąca w Sławkowie (województwo śląskie). Ponadto, region przecinają m.in. DK nr 17, 19, 74, S12, a na południu w okolicach Rzeszowa znajduje się autostrada A4. Jedyny terminal intermodalny w zasięgu granic regionu zlokalizowany został na tę chwilę w Zamościu. W obrębie regionu położone są takie miasta jak: Chełm, Zamość, Krasnystaw, Hrubieszów, Stalowa Wola, Tomaszów Lubelski oraz Lublin – miasto o znaczeniu wojewódzkim. Na wschodzie wskazanej strefy znajdują się przejścia graniczne z Białorusią i Ukrainą w Hrebenne, Zosinie, Dorohusku i Włodawie. Ze względu na bliskość szlaku NJS, potencjalna lokalizacja terminala intermodalnego mogłaby pozytywnie wpłynąć na międzynarodową wymianę handlową z omawianym regionem.

Region nr 7 – obszar obejmujący południową część Mazowsza. Szczegółowo został opisany w studium przypadku.

Region nr 8 – obszar znajdujący się w południowej części Polski, na południe od Radomia, na północ od Krakowa i na wschód od Częstochowy. Teren położony jest na Wyżynie Małopolskiej i częściowo na Nizinie Małopolskiej. Zasięgiem obejmuje granice województwa świętokrzyskiego. W obrębie regionu znajdują się Sandomierz, Ostrowiec Świętokrzyski oraz Kielce – miasto o znaczeniu wojewódzkim. Gęstość zaludnienia wynosi tutaj ok. 105 os./km². Przez region przebiegają LK 8, LK 25, LK 65, LK 70, CMK oraz drogi DK73, DK74 i S7. Większość linii kolejowych znajduje się jednak na peryferiach jego terytorium. Bezrobocie osiąga tutaj 7% stopę. Mieszkańcy regionu głównie trudzą się działalnością rolniczą (ok. 40%). Najwięksi pracodawcy w regionie to Pilkington – producent szkła, Formaster – producent art. przemysłowych, Vive – producent odzieży. Region wykazuje potencjał na zlokalizowanie w nim niewielkiego terminala intermodalnego, który mógłby aktywizować strefę industrialną województwa świętokrzyskiego.

Region nr 9 – obszar znajdujący się w południowej części Polski na zachód od Częstochowy, na wschód od Wrocławia i na południe od Poznania. Teren położony jest na Nizinie Śląskiej i Wielkopolskiej. Obszar obejmuje województwo opolskie, część województwa wielkopolskiego, łódzkiego, śląskiego i dolnośląskiego. W obrębie regionu znajdują się trzy duże miasta, m.in. Kalisz, Ostrów Wielkopolski oraz Opole – miasto o znaczeniu wojewódzkim. Gęstość zaludnienia oscyluje tutaj wokół 125 os./km², a bezrobocie osiąga 6% stopę. Przez region przebiegają LK 132, 137, 143, 272, 277 oraz autostrada A4, Droga Krajowa nr 40 i trasa S8. Od południa region graniczy z Czechami. Znajdują się tam przejścia graniczne

m.in. w Głucholazach i Trzebinie. W regionie zlokalizowane są fabryki firm takich jak: Nutricia Grupa Danone – producent art. spożywczych, Animex – producent mrozonek, Brenntag – dystrybutor art. chemicznych, Patrol Group – producent tworzyw sztucznych, Electrolux – producent elektroniki i wiele innych. Za umiejscowieniem terminala intermodalnego w niniejszym miejscu przemawia liczebność tutejszych zakładów przemysłowych oraz znaczący ruch samochodów ciężarowych przenoszony przez miejscowe drogi.

Załącznik 2

Tabela 24 Terminale intermodalne oraz ich estymowany zasięg

| Lp. (u) | Powiat / Terminal | Województwo | Miasto | Szer. (X_u) | Dł. (Y_u) | Rodzaj terminala | Przepustowość ($\delta[\frac{TEU}{rok}]$) | Promień oddziaływania ($v_u(x_u, y_u)(\delta)[km]$) |
|---------|-------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|---------------|--------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1 | Terminal Emilianowo | kujawsko-pomorskie | Bydgoszcz | 53,06 | 18,09 | hub | 125000 | 50 |
| 2 | Erontrans Terminal Kontenerowy w Radomsku | łódzkie | Radomsko | 51,08 | 19,44 | peryferyjny | 18000 | 20 |
| 3 | Erontrans Terminal Kontenerowy w Strykowie | łódzkie | Stryków | 51,91 | 19,60 | peryferyjny | 32000 | 20 |
| 4 | Lubelski Terminal Kontenerowy - Drzewce | lubelskie | Drzewce | 51,32 | 22,21 | peryferyjny | 13000 | 20 |
| 5 | Nelport - Terminal w Elku | warmińsko-mazurskie | Elk | 53,81 | 22,37 | peryferyjny | 6800 | 20 |
| 6 | PKP CARGO Centrum Logistyczne Medyka - Żurawica sp. z o.o. | podkarpackie | Przemyśl | 49,83 | 22,83 | tranzytowy | 43800 | 20 |
| 7 | PKP Cargo Connect - Terminal Kontenerowy - Poznań Franowo | wielkopolskie | Poznań | 52,37 | 16,99 | peryferyjny | 40000 | 20 |
| 8 | Port Gdański Eksploatacja | pomorskie | Gdańsk | 54,38 | 18,71 | port morski | 20000 | 20 |
| 9 | Rail Terminal Rzepin | lubuskie | Słubice | 52,35 | 14,82 | peryferyjny | 40000 | 20 |
| 10 | Terminal kontenerowy Siechnice - Baltic Rail | dolnośląskie | Wrocław | 51,04 | 17,14 | peryferyjny | 15000 | 20 |
| 11 | Terminal Kontenerowy Włosienica - Baltic Rail | małopolskie | Oświęcim | 50,03 | 19,31 | peryferyjny | 50000 | 20 |
| 12 | Cargosped Terminal Braniewo | warmińsko-mazurskie | Braniewo | 54,38 | 19,84 | tranzytowy | 40000 | 20 |
| 13 | Centrostal Łódź | łódzkie | Łódź | 51,73 | 19,54 | peryferyjny | 72000 | 20 |
| 14 | Centrum Logistyczne Kontrast - Łapy | podlaskie | Łapy | 52,99 | 22,88 | peryferyjny | 54750 | 20 |
| 15 | Centrum Logistyczne LAUDE SMART INTERMODAL S.A. w Zamościu | lubelskie | Zamość | 50,74 | 23,19 | peryferyjny | 15000 | 20 |
| 16 | LAUDE SMART INTERMODAL S.A. Terminal kontenerowy w Sosnowcu | śląskie | Sosnowiec | 50,29 | 19,13 | peryferyjny | 8000 | 20 |
| 17 | Euroterminal Sławków | śląskie | Dąbrowa Górnicza | 50,29 | 19,32 | peryferyjno - tranzytowy | 284810 | 50 |
| 18 | Hupac | mazowieckie | Brwinów | 52,14 | 20,72 | hub | 180000 | 50 |
| 19 | DB Port Szczecin | zachodnio-pomorskie | Szczecin | 53,42 | 14,57 | port morski | 150000 | 50 |
| 20 | PCC Intermodal – Terminal PCC Gliwice | śląskie | Gliwice | 50,33 | 18,64 | peryferyjny | 150000 | 50 |
| 21 | Schavemaker Kąty Wrocławskie | dolnośląskie | Kąty Wrocławskie | 51,04 | 16,76 | peryferyjny | 300000 | 50 |
| 22 | Spedcont -Terminal Kontenerowy Łódź Olechów | łódzkie | Łódź | 51,73 | 19,54 | peryferyjny | 450000 | 50 |
| 23 | Metrans Terminal Dąbrowa Górnicza | śląskie | Dąbrowa Górnicza | 50,34 | 19,33 | peryferyjny | 233600 | 50 |
| 24 | PKP Centrum Logistyczne Małaszewicze | lubelskie | Małaszewicze | 52,02 | 23,53 | peryferyjny | 223830 | 50 |

| Lp. (u) | Powiat / Terminal | Województwo | Miasto | Szer. (X_u) | Dł. (Y_u) | Rodzaj terminala | Przepustowość (δ_{rok}^{TEU}) | Promień oddziaływania ($v_{u(x_u, y_u)}(\delta)$ [km]) |
|----------------|----------------------------------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|------------------|------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 25 | Andrex Logistics - Siemianówka | podlaskie | Bielsk Podlaski | 52,81 | 23,64 | peryferyjny | 180000 | 50 |
| 26 | Rail Hub Terminal Gadki - Metrans Polonia | wielkopolskie | Poznań | 52,31 | 17,04 | hub | 385400 | 50 |
| 27 | Europort - Małaszewicze Duże | lubelskie | Małaszewicze | 52,02 | 23,53 | peryferyjny | 150000 | 50 |
| 28 | PCC Intermodal - Terminal PCC Kutno | łódzkie | Kutno | 52,23 | 19,44 | hub | 250000 | 50 |
| 29 | PKP Cargo Connect - Terminal Kontenerowy - Gliwice | śląskie | Gliwice | 50,30 | 18,74 | peryferyjny | 128000 | 50 |
| 30 | Adampol - Małaszewicze | lubelskie | Małaszewicze | 52,02 | 23,53 | tranzytowy | 140000 | 50 |
| 31 | Brzeski Terminal Kontenerowy | małopolskie | Brzesko | 49,98 | 20,63 | tranzytowy | 108000 | 50 |
| 32 | CLIP Swarzędz | wielkopolskie | Swarzędz | 52,40 | 17,12 | peryferyjny | 135000 | 50 |
| 33 | Loconi Intermodal Terminal Kontenerowy Radomsko | mazowieckie | Radomsko | 51,08 | 19,44 | peryferyjny | 100000 | 50 |
| 34 | Ostped Intermodal - Terminal Kontenerowy Szamotuły | wielkopolskie | Szamotuły | 52,60 | 16,59 | peryferyjny | 100000 | 50 |
| 35 | OT Port Świnoujście | zachodniopomorskie | Świnoujście | 53,91 | 14,27 | port morski | 70000 | 50 |
| 36 | PCC Intermodal - Terminal Kolbuszowa | podkarpackie | Kolbuszowa | 50,24 | 21,79 | peryferyjny | 16000 | 50 |
| 37 | PCC Intermodal - PCC Brzeg Dolny | dolnośląskie | Wołów | 51,34 | 16,65 | peryferyjny | 110000 | 50 |
| 38 | PCC Terminal Ropczyce | podkarpackie | Ropczyce | 50,08 | 21,58 | peryferyjny | 100000 | 50 |
| 39 | Terminal Morado | dolnośląskie | Wrocław | 51,12 | 17,10 | peryferyjny | 80000 | 50 |
| 40 | BCT-Bałycki Terminal Kontenerowy - Gdynia | pomorskie | Gdynia | 54,52 | 18,54 | port morski | 1200000 | 100 |
| 41 | Gdynia Container Terminal | pomorskie | Gdynia | 54,54 | 18,51 | port morski | 636000 | 100 |
| 42 | Deepwater Container Terminal DCT Gdańsk | pomorskie | Gdańsk | 54,38 | 18,71 | port morski | 3250000 | 100 |
| 43 | PKP Cargo Connect - Terminal Kontenerowy Warszawa | Warszawa | mazowieckie | 52,32 | 21,00 | peryferyjny | 100000 | 50 |
| 44 | Loconi Intermodal Terminal Kontenerowy Warszawa | Warszawa | mazowieckie | 52,29 | 21,01 | peryferyjny | 140000 | 50 |
| 45 | Metrans Terminal Kontenerowy Pruszków | Pruszków | mazowieckie | 52,17 | 20,79 | | 96000 | 50 |

Źródło: opracowanie własne

Załącznik 3

Tabela 25 Miasta w regionie numer 7 oraz ich liczba ludności

| Nr miasta ($ic(rp)$) | Miasto | Nr powiatu ($pc(rp)$) | Powiat | Współrzędna ($x_{ic(rp)}^{MS}$) | Współrzędna ($y_{ic(rp)}^{MS}$) | Liczba ludności miejskiej ($L_{ic(rp)}^{MS}$) |
|---------------------------|---------------------|----------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1 | Białobrzegi | 1 | białobrzezski | 20,94187 | 51,646209 | 6980 |
| 2 | Wyśmierzyce | 1 | białobrzezski | 20,813333 | 51,625 | 2819 |
| 3 | Garwolin | 2 | garwoliński | 21,622002 | 51,896946 | 17494 |
| 4 | Pilawa | 2 | garwoliński | 21,523611 | 51,959722 | 4532 |
| 5 | Łaskarzew | 2 | garwoliński | 21,5925 | 51,79 | 4893 |
| 6 | Żelechów | 2 | garwoliński | 21,901161 | 51,804435 | 3995 |
| 7 | Grodzisk Mazowiecki | 3 | grodziski | 20,632792 | 52,106569 | 31505 |
| 8 | Podkowa Leśna | 3 | grodziski | 20,726389 | 52,121667 | 3926 |
| 9 | Milanówek | 3 | grodziski | 20,6654 | 52,1243 | 16056 |
| 10 | Grójec | 4 | grójcecki | 20,871035 | 51,863969 | 16707 |
| 11 | Mogielnica | 4 | grójcecki | 20,704517 | 51,69203 | 2260 |

| Nr miasta ($ic(rp)$) | Miasto | Nr powiatu ($pc(rp)$) | Powiat | Współrzędna ($x_{ic(rp)}^{MS}$) | Współrzędna ($y_{ic(rp)}^{MS}$) | Liczba ludności miejskiej ($L_{ic(rp)}^{MS}$) |
|---------------------------|------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------|
| 12 | Nowe Miasto nad Pilicą | 4 | grójecki | 20,565465 | 51,624003 | 3789 |
| 13 | Warka | 4 | grójecki | 21,173246 | 51,78631 | 11926 |
| 14 | Belsk Duży | 4 | grójecki | 20,808974 | 51,825294 | 803 |
| 15 | Kozienice | 5 | kozienicki | 21,53506 | 51,586565 | 17331 |
| 16 | Lipsko | 6 | lipski | 21,649167 | 51,158333 | 5593 |
| 17 | Mińsk Mazowiecki | 7 | miński | 21,56024 | 52,177685 | 40799 |
| 18 | Cegłów | 7 | miński | 21,738889 | 52,146944 | 2226 |
| 19 | Halinów | 7 | miński | 21,352778 | 52,225833 | 3745 |
| 20 | Kałuż | 7 | miński | 21,811667 | 52,208333 | 2916 |
| 21 | Mrozy | 7 | miński | 21,800833 | 52,166111 | 3547 |
| 22 | Sulejówek | 7 | miński | 21,28 | 52,244167 | 19481 |
| 23 | Otwock | 8 | otwocki | 21,291648 | 52,115359 | 44880 |
| 24 | Karczew | 8 | otwocki | 21,250833 | 52,078056 | 9826 |
| 25 | Józefów | 8 | otwocki | 21,236944 | 52,135556 | 20605 |
| 26 | Góra Kalwaria | 9 | piaseczyński | 21,208219 | 51,98204 | 12009 |
| 27 | Piaseczno | 9 | piaseczyński | 21,019504 | 52,071672 | 48119 |
| 28 | Konstancin-Jeziorna | 9 | piaseczyński | 21,120833 | 52,083333 | 17191 |
| 29 | Tarczyn | 9 | piaseczyński | 20,833542 | 51,987216 | 4129 |
| 30 | Pruszków | 10 | pruskowski | 20,800533 | 52,172815 | 61784 |
| 31 | Piastów | 10 | pruskowski | 20,839722 | 52,184444 | 3937 |
| 32 | Brwinów | 10 | pruskowski | 20,7175 | 52,1425 | 13698 |
| 33 | Przysucha | 11 | przysuski | 20,62907 | 51,353733 | 5854 |
| 34 | Radom | 12 | Radom | 21,156555 | 51,406209 | 213029 |
| 35 | Pionki | 13 | radomski | 21,449412 | 51,474105 | 18427 |
| 36 | Jedlińsk | 13 | radomski | 21,123481 | 51,513929 | 1740 |
| 37 | Jedlnia-Letnisko | 13 | radomski | 21,328056 | 51,430833 | 3976 |
| 38 | Iłża | 13 | radomski | 21,236944 | 51,162222 | 4918 |
| 39 | Skaryszew | 13 | radomski | 21,251944 | 51,310556 | 4135 |
| 40 | Przytyk | 13 | radomski | 20,904444 | 51,468333 | 1007 |
| 41 | Rawa Mazowiecka | 14 | rawski | 20,252397 | 51,761231 | 17404 |
| 42 | Biała Rawska | 14 | rawski | 20,471944 | 51,8075 | 3151 |
| 43 | Sochaczew | 15 | sochaczewski | 20,250614 | 52,235326 | 36462 |
| 44 | Teresin | 15 | sochaczewski | 20,418692 | 52,196091 | 2804 |
| 45 | Solec n. Wisłą | 16 | szydłowiecki | 21,763056 | 51,133889 | 939 |
| 46 | Szydłowiec | 16 | szydłowski | 20,844618 | 51,223275 | 11779 |
| 47 | Warszawa | 17 | Warszawa | 21,04781 | 52,229293 | 1777972 |
| 48 | Błonie | 18 | warszawski zachodni | 20,619762 | 52,196905 | 12327 |
| 49 | Łomianki | 18 | warszawski zachodni | 20,894444 | 52,335556 | 17042 |
| 50 | Ożarów Mazowiecki | 18 | warszawski zachodni | 20,793611 | 52,208333 | 12285 |
| 51 | Zwoleń | 19 | zwoleński | 21,584328 | 51,357262 | 7737 |
| 52 | Żyrardów | 20 | żyrardowski | 20,44425 | 52,057049 | 39992 |
| 53 | Wiskitki | 20 | żyrardowski | 20,382778 | 52,086944 | 1347 |
| 54 | Mszczonów | 20 | żyrardowski | 20,528177 | 51,974868 | 6386 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 4

Tabela 26 Powiaty regionu numer 7 oraz ich liczba mieszkańców

| Nr m. powiatowego lub powiatu ($pc(rp)$) | Miasto powiatowe | Powiat | Współrzędna m. powiatowego ($X_{pc(rp)}^{POW}$) | Współrzędna m. powiatowego ($Y_{pc(rp)}^{POW}$) | Liczba ludności w powiecie ($L_{pc(rp)}^{POW}$) |
|--------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1 | Białobrzegi | białobrzegi | 20,94187 | 51,646209 | 33332 |
| 2 | Garwolin | garwoliński | 21,622002 | 51,896946 | 108940 |
| 3 | Grodzisk Mazowiecki | grodziski | 20,632792 | 52,106569 | 96968 |
| 4 | Grójec | grójcecki | 20,871035 | 51,863969 | 98173 |
| 5 | Kozienice | kozienicki | 21,53506 | 51,586565 | 59793 |
| 6 | Lipsko | lipski | 21,649167 | 51,158333 | 33738 |
| 7 | Mińsk Mazowiecki | miński | 21,56024 | 52,177685 | 154942 |
| 8 | Otwock | otwocki | 21,291648 | 52,115359 | 124460 |
| 9 | Piaseczno | piaseczyński | 21,019504 | 52,071672 | 189516 |
| 10 | Pruszków | pruszkowski | 20,800533 | 52,172815 | 166436 |
| 11 | Przysucha | przysuski | 20,62907 | 51,353733 | 41360 |
| 12 | Radom | radomski | 21,156555 | 51,406209 | 152237 |
| 13 | Radom Miasto | radomski | 21,156555 | 51,406209 | 209296 |
| 14 | Rawa Mazowiecka | rawski | 20,252397 | 51,761231 | 48504 |
| 15 | Sochaczew | sochaczewski | 20,250614 | 52,235326 | 84804 |
| 16 | Szydłowiec | szymborski | 20,844618 | 51,223275 | 39547 |
| 17 | Warszawa | Warszawa | 21,04781 | 52,229293 | 1777972 |
| 18 | Ożarów Mazowiecki | warszawski zachodni | 20,793611 | 52,208333 | 119503 |
| 19 | Zwoleń | zwoleński | 21,584328 | 51,357262 | 36026 |
| 20 | Żyrardów | żyrardowski | 20,44425 | 52,057049 | 75616 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 5

Tabela 27 Powierzchnia użytków rolnych w poszczególnych powiatach (przykład dla 4 klastrów)

| nr | Nr powiatu ($pc(rp)$) | Powiat | Powierzchnia użytków rolnych [ha] | nr | Nr powiatu ($pc(rp)$) | Powiat | Powierzchnia użytków rolnych [ha] | nr | Nr powiatu ($pc(rp)$) | Powiat | Powierzchnia użytków rolnych [ha] | nr | Nr powiatu ($pc(rp)$) | Powiat | Powierzchnia użytków rolnych [ha] | |
|------------------------------------|-------------------------|--------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------|-----------------------------------|---------|
| Klaster grójcecki ($sm(rp) = 4$) | 4 | grójcecki | 81368 | Klaster radomski ($sm(rp) = 13$) | 12 | radomski | 68546 | Klaster garwoliński ($sm(rp) = 2$) | 2 | garwoliński | 59962 | Klaster kozienicki ($sm(rp) = 5$) | 5 | kozienicki | 34442 | |
| | 1 | białobrzegi | 29663 | | 13 | m. Radom | 40098 | | 5 | kozienicki | 34442 | | 4 | grójcecki | 81368 | |
| | 2 | garwoliński | 59962 | | 11 | przysuski | 2798 | | 7 | miński | 49173 | | 12 | radomski | 68546 | |
| | 3 | grodziski | 15510 | | 6 | lipski | 40098 | | 8 | otwocki | 18066 | | 1 | białobrzegi | 29663 | |
| | 5 | kozienicki | 34442 | | 5 | kozienicki | 34442 | | 4 | grójcecki | 81368 | | 19 | zwoleński | 36659 | |
| | 8 | otwocki | 18066 | | 1 | białobrzegi | 29663 | | | | | | 2 | garwoliński | 59962 | |
| | 9 | piaseczyński | 24052 | | 19 | zwoleński | 36659 | | | | | | | | | |
| | 11 | przysuski | 2798 | | 16 | szymborski | 11625 | | | | | | | | | |
| | 14 | rawski | 41682 | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | żyrardowski | 22104 | | | | | | | | | | | | | |
| | Łącznie | | 329 652 | | | | 263 933 | | | | | | | | | 310 643 |

Źródło: opracowanie własne

Załącznik 6

Tabela 28 Zakłady pracy w regionie nr 7

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------------------------|-------------|------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 1 | Białobrzegi | Austria Juice Pol. | białobrzegi | spożywczy | SRE | 20,9500 | 51,6500 |
| 2 | Broniszew | SADPOL | białobrzegi | spożywczy | MAL | 20,9167 | 51,7333 |
| 3 | Lisów | PROCAM | białobrzegi | spożywczy | MAL | 20,8413 | 51,7003 |
| 4 | Celejów | Brüggen Polska | garwoliński | spożywczy | DUZ | 21,3581 | 51,8606 |
| 5 | Garwolin | CO-STA-POL | garwoliński | art. przemysłowe | MAL | 21,6167 | 51,9000 |
| 6 | Garwolin | ZELLER Plastik Polska | garwoliński | art. przemysłowe | SRE | 21,6167 | 51,9000 |
| 7 | Garwolin | Centrum Ogrodzeń Garwolin | garwoliński | budowlany | MAL | 21,6167 | 51,9000 |
| 8 | Garwolin | Avon | garwoliński | chemiczny | BDUZ | 21,6167 | 51,9000 |
| 9 | Garwolin | ERCA | garwoliński | chemiczny | SRE | 21,6167 | 51,9000 |
| 10 | Garwolin | Tatra Spring | garwoliński | chemiczny | SRE | 21,6167 | 51,9000 |
| 11 | Garwolin | Lechpol Electronics | garwoliński | elektroniczny | MAL | 21,6167 | 51,9000 |
| 12 | Garwolin | Huta Szkła CZECHY | garwoliński | hutniczy | DUZ | 21,6167 | 51,9000 |
| 13 | Piława | Akzo Nobel | garwoliński | chemiczny | DUZ | 21,5838 | 51,9503 |
| 14 | Piława | Fabrykę Farb i Lakierów "Polifarb" | garwoliński | chemiczny | DUZ | 21,5838 | 51,9503 |
| 15 | Stodzew | Przedsiębiorstwo Produkcyjno Handlowe K&D "KADAR" | garwoliński | spożywczy | MAL | 21,6500 | 52,0167 |
| 16 | Sulbiny Górne | "INTERDRUK" | garwoliński | przetwórstwa drzewnego | SRE | 21,6306 | 51,8658 |
| 17 | Trąbki | Huta Szkła | garwoliński | hutniczy | DUZ | 21,6000 | 51,9500 |
| 18 | Wola Rębkowska | ZELLER Plastik Polska | garwoliński | art. przemysłowe | MAL | 21,5608 | 51,8981 |
| 19 | Wola Rębkowska | Okręgowa Spółdzielnia Mleczarska | garwoliński | spożywczy | SRE | 21,5608 | 51,8981 |
| 20 | Adamów | Panattoni Park | grodziski | magazyn | DUZ | 20,6372 | 52,1456 |
| 21 | Budy-Grzybek | Kwazar | grodziski | mechaniczny | MAL | 20,5506 | 52,0757 |
| 22 | Chlebnia | Raben Logistics Polska | grodziski | magazyn | SRE | 20,5667 | 52,1333 |
| 23 | Chlebnia | AL FAKHER FACTORY | grodziski | magazyn | MAL | 20,5667 | 52,1333 |
| 24 | Chlebnia | Hopi | grodziski | magazyn | MAL | 20,5667 | 52,1333 |
| 25 | Chlebnia | LOG-IT Magazyn | grodziski | magazyn | MAL | 20,5667 | 52,1333 |
| 26 | Chlebnia | H&M | grodziski | magazyn | SRE | 20,5667 | 52,1333 |
| 27 | Chrzanów Mały | Premium Spirits | grodziski | art. przemysłowe | SRE | 20,6330 | 52,1500 |
| 28 | Jaktorów | Toyota Material Handling | grodziski | mechaniczny | MAL | 20,5167 | 52,0833 |
| 29 | Kozierki | Czarpol | grodziski | magazyn | MAL | 20,5873 | 52,0932 |
| 30 | Kozery | OLMAJ | grodziski | magazyn | MAL | 20,6008 | 52,0962 |
| 31 | Książenice | Duo-Tes | grodziski | magazyn | MAL | 20,7000 | 52,0667 |
| 32 | Książenice | Vivi Polska | grodziski | magazyn | MAL | 20,7000 | 52,0667 |
| 33 | Milanówek | KG Logistics | grodziski | magazyn | MAL | 20,6621 | 52,1255 |
| 34 | Natolin | DAFA Polska | grodziski | magazyn | MAL | 20,6167 | 52,1333 |
| 35 | Gmina Grodzisk Mazowiecki | 3M | grodziski | art. przemysłowe | MAL | 20,6334 | 52,0725 |
| 36 | Gmina Grodzisk | Rabtrolley | grodziski | art. | MAL | 20,6334 | 52,0725 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| | Mazowiecki | | | przemysłowe | | | |
| 37 | Gmina Grodzisk Mazowiecki | Amerplast | grodziski | art. przemysłowe | SRE | 20,6334 | 52,0725 |
| 38 | Grodzisk Mazowiecki | Danfoss Poland | grodziski | budowlany | DUZ | 20,6225 | 52,1025 |
| 39 | Grodzisk Mazowiecki | Budokrusz | grodziski | budowlany | MAL | 20,6225 | 52,1025 |
| 40 | Grodzisk Mazowiecki | STALBUD | grodziski | budowlany | MAL | 20,6225 | 52,1025 |
| 41 | Grodzisk Mazowiecki | STAMBET-BUD | grodziski | budowlany | MAL | 20,6225 | 52,1025 |
| 42 | Grodzisk Mazowiecki | Glasskon | grodziski | budowlany | SRE | 20,6225 | 52,1025 |
| 43 | Grodzisk Mazowiecki | Raben Logistics Polska | grodziski | magazyn | DUZ | 20,6225 | 52,1025 |
| 44 | Grodzisk Mazowiecki | GEFCO Polska | grodziski | magazyn | MAL | 20,6225 | 52,1025 |
| 45 | Grodzisk Mazowiecki | GLP Warsaw | grodziski | magazyn | MAL | 20,6225 | 52,1025 |
| 46 | Grodzisk Mazowiecki | Interton | grodziski | magazyn | MAL | 20,6225 | 52,1025 |
| 47 | Grodzisk Mazowiecki | Milar | grodziski | magazyn | MAL | 20,6225 | 52,1025 |
| 48 | Grodzisk Mazowiecki | Rabugino | grodziski | magazyn | MAL | 20,6225 | 52,1025 |
| 49 | Gmina Grodzisk Mazowiecki | Fresh Logistics Polska | grodziski | magazyn | SRE | 20,6334 | 52,0725 |
| 50 | Gmina Grodzisk Mazowiecki | Gedeon Richter | grodziski | magazyn | SRE | 20,6334 | 52,0725 |
| 51 | Gmina Grodzisk Mazowiecki | Pepsico Logistyka | grodziski | magazyn | MAL | 20,6334 | 52,0725 |
| 52 | Gmina Grodzisk Mazowiecki | Aryzta Polska | grodziski | spożywczy | MAL | 20,6334 | 52,0725 |
| 53 | Gmina Grodzisk Mazowiecki | Trouw Nutrition Polska | grodziski | spożywczy | SRE | 20,6334 | 52,0725 |
| 54 | Natolin | ID LOGISTICS | grodziski | magazyn | MAL | 20,6167 | 52,1333 |
| 55 | Natolin | Inter-Team | grodziski | magazyn | MAL | 20,6167 | 52,1333 |
| 56 | Natolin | GEFCO | grodziski | magazyn | SRE | 20,6167 | 52,1333 |
| 57 | Natolin | Frito-Lay Poland | grodziski | spożywczy | SRE | 20,6167 | 52,1333 |
| 58 | Nowa Bukówka | FINCO-STAL SERWIS | grodziski | magazyn | SRE | 20,6525 | 52,0214 |
| 59 | Radziejowice | Ekonip | grodziski | magazyn | MAL | 20,5500 | 52,0000 |
| 60 | Sięstrzeń | HIFI FILTER Polska | grodziski | magazyn | MAL | 20,7167 | 52,0500 |
| 61 | Sięstrzeń | IGP Operations | grodziski | magazyn | MAL | 20,7167 | 52,0500 |
| 62 | Sięstrzeń | Schüco International Polska | grodziski | magazyn | SRE | 20,7167 | 52,0500 |
| 63 | Sięstrzeń | Ro-Ma Zakłady Narzędzi Skrawających | grodziski | mechaniczny | MAL | 20,7167 | 52,0500 |
| 64 | Stara Bukówka | Big Brands Group | grodziski | magazyn | MAL | 20,6514 | 52,0242 |
| 65 | Stara Bukówka | Rogala | grodziski | magazyn | MAL | 20,6514 | 52,0242 |
| 66 | Urszulin | Manufaktura Kwasu Korus | grodziski | art. przemysłowe | MAL | 20,7229 | 52,0813 |
| 67 | Żabia Wola | Greenyard Logistics | grodziski | magazyn | MAL | 20,6911 | 52,0317 |
| 68 | Żabia Wola | Logi-Pack | grodziski | magazyn | MAL | 20,6911 | 52,0317 |
| 69 | Żabia Wola | Żabka Polska - Magazyn Mroźnia | grodziski | magazyn | SRE | 20,6911 | 52,0317 |
| 70 | Aleksandrówka | KOW-FRUIT | grójcecki | spożywczy | MAL | 20,7527 | 51,8487 |
| 71 | Belsk Duży | Ferrero | grójcecki | spożywczy | BDUZ | 20,8167 | 51,8333 |
| 72 | Belsk Mały | Gold Sad | grójcecki | spożywczy | MAL | 20,8167 | 51,8500 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|----------------|--------------------------------------------------------------------|----------|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 73 | Bikówek | Tłocznia Soków GWIAZDA | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8251 | 51,8830 |
| 74 | Błędów | Turek | grójecki | art. przemysłowe | MAL | 20,6964 | 51,7792 |
| 75 | Błędów | GOLDEN Fruits & Vegetables | grójecki | spożywczy | MAL | 20,6964 | 51,7792 |
| 76 | Błędów | GOOD FRUIT | grójecki | spożywczy | MAL | 20,6964 | 51,7792 |
| 77 | Błędów | Janfruit | grójecki | spożywczy | MAL | 20,6964 | 51,7792 |
| 78 | Błędów | SAD-PAK | grójecki | spożywczy | MAL | 20,6964 | 51,7792 |
| 79 | Budziszyn | Mega Fruit | grójecki | spożywczy | MAL | 21,0541 | 51,8536 |
| 80 | Chynów | Malchem | grójecki | chemiczny | MAL | 21,0847 | 51,9064 |
| 81 | Dańków | Fresh Fruit Services | grójecki | spożywczy | MAL | 20,6933 | 51,7331 |
| 82 | Dąbrowka | Fruitgroup | grójecki | spożywczy | SRE | 20,7321 | 51,8721 |
| 83 | Dąbrowka Stara | MK Fruit | grójecki | spożywczy | MAL | 20,7277 | 51,7759 |
| 84 | Drwałew | Drwałewskie Zakłady Przemysłu Weterynaryjnego | grójecki | elektroniczny | MAL | 21,0222 | 51,8967 |
| 85 | Drwałew | Drwałewskie Zakłady Przemysłu Bioweterynaryjnego | grójecki | chemiczny | MAL | 21,0222 | 51,8967 |
| 86 | Drwałew | BIEWET DRWAŁEW Sp. z o.o. | grójecki | spożywczy | MAL | 21,0222 | 51,8967 |
| 87 | Drwałew | Nature's Produce | grójecki | spożywczy | MAL | 21,0222 | 51,8967 |
| 88 | Drwałew | Nature's Produce Sp. Z O.o. | grójecki | spożywczy | MAL | 21,0222 | 51,8967 |
| 89 | Drwałewice | TW Plast Sp. z o.o. | grójecki | spożywczy | MAL | 21,0181 | 51,8869 |
| 90 | Głuchów | Kon-Vin | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8500 | 51,9167 |
| 91 | Głuchów | ZAKŁAD PRODUKCYJNO - HANDLOWY "D R U T E X" | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8500 | 51,9167 |
| 92 | Goszczyń | MSAD | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8533 | 51,7303 |
| 93 | Goszczyń | Świeży Owoc Sp. z o.o. | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8533 | 51,7303 |
| 94 | Gośńiewice | Macierzynski MD | grójecki | spożywczy | MAL | 21,1330 | 51,8170 |
| 95 | Grójec | Przedsiębiorstwo Robót Inżynieryjno - Drogowych w Grójcu | grójecki | budowlany | MAL | 20,8597 | 51,8698 |
| 96 | Grójec | Auchan Centrum Dystrybucyjne Grójec | grójecki | magazyn | DUZ | 20,8597 | 51,8698 |
| 97 | Grójec | Faurecia | grójecki | mechaniczny | DUZ | 20,8597 | 51,8698 |
| 98 | Grójec | Auchan | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8597 | 51,8698 |
| 99 | Grójec | Cukiernicza Spółdzielnia Inwalidów JEDNOŚĆ Zakład Pracy Chronionej | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8597 | 51,8698 |
| 100 | Gmina Grójec | Mazowieckie Zakłady Przetwórstwa Rolno-Spożywczego „POL-AGRO” | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8675 | 51,8656 |
| 101 | Gmina Grójec | Pawtrans Holding | grójecki | spożywczy | BDUZ | 20,8675 | 51,8656 |
| 102 | Gmina Grójec | Pol-Agro | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8675 | 51,8656 |
| 103 | Gmina Grójec | Prima 2000 | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8675 | 51,8656 |
| 104 | Gmina Grójec | Production Supplies | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8675 | 51,8656 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|----------|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 105 | Goliany | Agrosimex | grójecki | spożywczy | SRE | 20,7457 | 51,7998 |
| 106 | Jakubów, Gmina Goszczyn | Orion | grójecki | art. przemysłowe | SRE | 20,8009 | 51,7593 |
| 107 | Jankowice | Folwark | grójecki | spożywczy | MAL | 20,4971 | 51,6499 |
| 108 | Kaplin | Sadmax | grójecki | spożywczy | MAL | 20,7508 | 51,6922 |
| 109 | Kozietyły | Doehler | grójecki | spożywczy | DUZ | 20,7659 | 51,7502 |
| 110 | Lewiczyn | HIT-POL | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8667 | 51,8000 |
| 111 | Lewiczyn | Sadpol | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8667 | 51,8000 |
| 112 | Łęczeszycze | Polkarton | grójecki | art. przemysłowe | MAL | 20,7672 | 51,7746 |
| 113 | Łęczeszycze | FRUGO | grójecki | spożywczy | MAL | 20,7672 | 51,7746 |
| 114 | Łęczeszycze | La-sad Trade | grójecki | spożywczy | MAL | 20,7672 | 51,7746 |
| 115 | Łęczeszycze | Rajpol | grójecki | spożywczy | MAL | 20,7672 | 51,7746 |
| 116 | Michrów | Pepsi | grójecki | spożywczy | DUZ | 20,7949 | 51,9383 |
| 117 | Mirowice | Miropasz | grójecki | spożywczy | MAL | 20,9228 | 51,9296 |
| 118 | Gmina Mogielnica | ZAKŁAD PRZEMYSŁU CUKIERNICZEGO IGA | grójecki | spożywczy | MAL | 20,7231 | 51,6897 |
| 119 | Odrzywołek | FM Logistic | grójecki | magazyn | MAL | 20,8331 | 51,8477 |
| 120 | Odrzywołek | Chaber S.A. | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8331 | 51,8477 |
| 121 | Pniewy | Point of View | grójecki | magazyn | SRE | 20,7380 | 51,9096 |
| 122 | Podole | Maan sp z o.o. | grójecki | elektroniczny | MAL | 20,8516 | 51,9212 |
| 123 | Sacin | ZTS Uniplast | grójecki | art. przemysłowe | MAL | 20,5833 | 51,6667 |
| 124 | Aleksandrówka | Fruit Famili | grójecki | spożywczy | MAL | 20,7527 | 51,8487 |
| 125 | Aleksandrówka | KOW-Fruit | grójecki | spożywczy | MAL | 20,7527 | 51,8487 |
| 126 | Siedzów | Owoc Wysoczyn | grójecki | spożywczy | MAL | 21,2939 | 51,9002 |
| 127 | Stara Warka | Polimex Majewscy | grójecki | art. przemysłowe | MAL | 21,2167 | 51,8000 |
| 128 | Stara Warka | Warka Fruit Center | grójecki | spożywczy | MAL | 21,2167 | 51,8000 |
| 129 | Trzylatków Duży | Grupa Producentów Owoców i Warzyw "Eurosad" sp. z o. o. | grójecki | spożywczy | MAL | 20,7064 | 51,8005 |
| 130 | Trzylatków Duży | "Eurosad" | grójecki | spożywczy | MAL | 20,7064 | 51,8005 |
| 131 | Stara Warka | Kifato | grójecki | budowlany | MAL | 21,2167 | 51,8000 |
| 132 | Stara Warka | Deltima Sp. z o. o. | grójecki | magazyn | MAL | 21,2167 | 51,8000 |
| 133 | Stara Warka | Frostico Chłodnia | grójecki | magazyn | MAL | 21,2167 | 51,8000 |
| 134 | Stara Warka | Browar Warka | grójecki | spożywczy | BDUZ | 21,2167 | 51,8000 |
| 135 | Warka | Warwin | grójecki | spożywczy | MAL | 21,1657 | 51,8572 |
| 136 | Wilków, Lesser Poland Voivodeship | Rajfruit | grójecki | spożywczy | SRE | 20,1097 | 50,1803 |
| 137 | Wilków, Lesser Poland Voivodeship | Shark Group | grójecki | spożywczy | MAL | 20,1097 | 50,1803 |
| 138 | Witalówka | Grupa Gaik | grójecki | spożywczy | MAL | 20,7570 | 51,9047 |
| 139 | Wodziczna | Pol-Plants Szkołka Drzew i Krzewów Ozdobnych | grójecki | art. przemysłowe | MAL | 20,7317 | 51,7236 |
| 140 | Wola Worowska | Agrostar | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8497 | 51,8858 |
| 141 | Wólka Turowska | Nasz Sad. Spółdzielcza grupa producentów owoców | grójecki | spożywczy | MAL | 20,8909 | 51,8402 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh}^Z(rp)$) | Długość geogr. ($X_{nh}^Z(rp)$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh}^Z(rp)$) |
|-----------------|------------------|--------------------------------------------|------------|------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 142 | Nowa Góra | Golsad Adam Gaik | grójecki | spożywczy | MAL | 19,5901 | 50,1717 |
| 143 | Żdżary | Ditta-Seria | grójecki | spożywczy | MAL | 20,4500 | 51,6500 |
| 144 | Czerwonka | Bojda Chłodnice Klimatyzacja | kozienicki | mechaniczny | MAL | 21,2006 | 51,7429 |
| 145 | Janików | Bakoma bis | kozienicki | spożywczy | SRE | 21,5845 | 51,5716 |
| 146 | Kozienice | Essetle Polska | kozienicki | art. przemysłowe | SRE | 21,5474 | 51,5843 |
| 147 | Kozienice | Prefabet | kozienicki | budowlany | MAL | 21,5474 | 51,5843 |
| 148 | Kozienice | Esselte | kozienicki | przetwórstwa drzewnego | SRE | 21,5474 | 51,5843 |
| 149 | Kozienice | Obory sp. Z.o.o. | kozienicki | spożywczy | DUZ | 21,5474 | 51,5843 |
| 150 | Łuczynów | EOC BELGIUM NV S.A | kozienicki | chemiczny | MAL | 21,4940 | 51,6054 |
| 151 | Pionki | Zakłady Silikatowe Żytkowice | kozienicki | chemiczny | MAL | 21,4500 | 51,4833 |
| 152 | Lipsko | Kingspan | lipski | budowlany | DUZ | 21,6277 | 51,1520 |
| 153 | Lipsko | Marbet | lipski | budowlany | DUZ | 21,6277 | 51,1520 |
| 154 | Lipsko | Ab Concept | lipski | budowlany | MAL | 21,6277 | 51,1520 |
| 155 | Lipsko | Mikro. PPH | lipski | budowlany | MAL | 21,6277 | 51,1520 |
| 156 | Lipsko | Paroc Panel System | lipski | budowlany | MAL | 21,6277 | 51,1520 |
| 157 | Lipsko | Pol-Gips | lipski | budowlany | MAL | 21,6277 | 51,1520 |
| 158 | Lipsko | PolMlek | lipski | spożywczy | MAL | 21,6277 | 51,1520 |
| 159 | Lipsko | Scandic Food | lipski | spożywczy | MAL | 21,6277 | 51,1520 |
| 160 | Lipsko | Publima sp.j. Zakład przetwórstwa mięsnego | lipski | spożywczy | SRE | 21,6277 | 51,1520 |
| 161 | Brzeziny | Media-Tech | miński | elektroniczny | MAL | 19,7500 | 51,8000 |
| 162 | Brzeziny | Texland | miński | odzieżowy | MAL | 21,3667 | 52,2000 |
| 163 | Brzeziny | KB Folie | miński | tworzywa sztuczne | MAL | 21,3667 | 52,2000 |
| 164 | Długa Kościelna | ASKOP SC | miński | art. przemysłowe | MAL | 21,3462 | 52,2366 |
| 165 | Długa Kościelna | Z.Z. Maropak Sp. z o.o. | miński | art. przemysłowe | MAL | 21,3462 | 52,2366 |
| 166 | Długa Kościelna | Bella Plast Sp. z o.o. | miński | art. przemysłowe | SRE | 21,3462 | 52,2366 |
| 167 | Długa Kościelna | Stapiz | miński | chemiczny | MAL | 21,3462 | 52,2366 |
| 168 | Jakubów | Si-Tech Sp.z o.o. | miński | elektroniczny | MAL | 21,6772 | 52,2189 |
| 169 | Jakubów | TW Plast Sp.z o.o. | miński | chemiczny | MAL | 21,6772 | 52,2189 |
| 170 | Józefin | Artek | miński | art. przemysłowe | MAL | 21,7002 | 52,1962 |
| 171 | Kałużyn | PXF Lighting | miński | elektroniczny | SRE | 21,7987 | 52,2552 |
| 172 | Kałużyn | Centrum Dystrybucyjne Lidl | miński | magazyn | DUZ | 21,7987 | 52,2552 |
| 173 | Mińsk Mazowiecki | Opax | miński | art. przemysłowe | MAL | 21,5732 | 52,1789 |
| 174 | Mińsk Mazowiecki | Gruplast | miński | budowlany | MAL | 21,5732 | 52,1789 |
| 175 | Mińsk Mazowiecki | Novmax | miński | budowlany | MAL | 21,5732 | 52,1789 |
| 176 | Mińsk Mazowiecki | Harper Hygienics | miński | chemiczny | SRE | 21,5732 | 52,1789 |
| 177 | Mińsk Mazowiecki | Carcommerce Sp. z o.o. | miński | magazyn | MAL | 21,5732 | 52,1789 |
| 178 | Mińsk Mazowiecki | PESA | miński | mechaniczny | DUZ | 21,5732 | 52,1789 |
| 179 | Mińsk Mazowiecki | ZM Jabłoński | miński | mechaniczny | MAL | 21,5732 | 52,1789 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------|------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 180 | Mińsk Mazowiecki | Stora Enso | miński | przetwórstwa drzewnego | MAL | 21,5732 | 52,1789 |
| 181 | Nowy Konik | F-Trade / AVANTI | miński | budowlany | MAL | 21,2934 | 52,2207 |
| 182 | Nowy Konik | Marcin Dekor Sp. z o.o. | miński | budowlany | MAL | 21,2934 | 52,2207 |
| 183 | Nowy Konik | Mea Polska Sp. Z O.O. | miński | budowlany | MAL | 21,2934 | 52,2207 |
| 184 | Nowy Konik | Kowalczyk Materiały Budowlane | miński | budowlany | SRE | 21,2934 | 52,2207 |
| 185 | Nowy Konik | Art Logistic | miński | magazyn | MAL | 21,2934 | 52,2207 |
| 186 | Nowy Konik | Real S.A Chłodnia Składowa | miński | magazyn | MAL | 21,2934 | 52,2207 |
| 187 | Nowy Konik | White Star Logistics | miński | magazyn | MAL | 21,2934 | 52,2207 |
| 188 | Podrudzie | Złom-kol | miński | recykling | MAL | 21,4833 | 52,1667 |
| 189 | Gmina Stanisławów | Zakłady Mięsne Stanisławów | miński | spożywczy | SRE | 21,5500 | 52,2833 |
| 190 | Sulejówek | Fol-Plast | miński | art. przemysłowe | MAL | 21,2712 | 52,2452 |
| 191 | Sulejówek | Graham Packaging Poland | miński | art. przemysłowe | MAL | 21,2712 | 52,2452 |
| 192 | Sulejówek | PPH MARC-TH M. i B. Kamiński sp.j | miński | art. przemysłowe | MAL | 21,2712 | 52,2452 |
| 193 | Wiązowna | Rekpol | miński | art. przemysłowe | MAL | 21,3167 | 52,1667 |
| 194 | Wiązowna | Box-Print | miński | tworzywa sztuczne | MAL | 21,3167 | 52,1667 |
| 195 | Wiązowna | Makarony Bartolini | miński | spożywczy | MAL | 21,3167 | 52,1667 |
| 196 | Wielgolas | Zadrozni | miński | budowlany | MAL | 21,7289 | 52,0325 |
| 197 | Chrzęszczówka | Agro-Pak | otwocki | art. przemysłowe | MAL | 21,4667 | 52,0167 |
| 198 | Duchnow | Korstal - zbrojenia | otwocki | budowlany | MAL | 21,3500 | 52,1833 |
| 199 | Duchnow | DAX COSMETICS Sp. z o.o | otwocki | chemiczny | MAL | 21,3500 | 52,1833 |
| 200 | Duchnow | CHANTAL | otwocki | chemiczny | SRE | 21,3500 | 52,1833 |
| 201 | Duchnow | CK Mediator | otwocki | magazyn | MAL | 21,3500 | 52,1833 |
| 202 | Duchnow | Saueressig Polska | otwocki | magazyn | SRE | 21,3500 | 52,1833 |
| 203 | Duchnow | Grycan Sp | otwocki | spożywczy | MAL | 21,3500 | 52,1833 |
| 204 | Duchnow | World Meat Zakład | otwocki | spożywczy | MAL | 21,3500 | 52,1833 |
| 205 | Duchnow | Polskamp S.A. | otwocki | spożywczy | SRE | 21,3500 | 52,1833 |
| 206 | Józefosław | Technicolor Polska | otwocki | chemiczny | DUZ | 21,0462 | 52,0975 |
| 207 | Karczew | Artek Opakowania | otwocki | art. przemysłowe | MAL | 21,2502 | 52,0758 |
| 208 | Karczew | Baks | otwocki | magazyn | SRE | 21,2502 | 52,0758 |
| 209 | Karczew | Let-Met | otwocki | recykling | MAL | 21,2502 | 52,0758 |
| 210 | Karczew | Bunge Sp. z o.o. | otwocki | spożywczy | DUZ | 21,2502 | 52,0758 |
| 211 | Karczew | Mlekomat Sp. z o.o. | otwocki | spożywczy | MAL | 21,2502 | 52,0758 |
| 212 | Karczew | ŚLAWIT Zakład Rozbioru Drobiu | otwocki | spożywczy | MAL | 21,2502 | 52,0758 |
| 213 | Otwock | AKOST Adam Kostyra | otwocki | art. przemysłowe | MAL | 21,2667 | 52,1167 |
| 214 | Otwock | Otwocka Wytwórnia Farb Artystycznych | otwocki | chemiczny | SRE | 21,2667 | 52,1167 |
| 215 | Rzakta | KGL S.A. | otwocki | art. przemysłowe | DUZ | 21,4500 | 52,1333 |
| 216 | Stefanówka, Masovian Voivodeship | Tools Factory Sp.j. | otwocki | art. przemysłowe | MAL | 20,8667 | 51,9500 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|--------------|------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 217 | Wiązowna | F.K. Madex | otwocki | metalurgiczny | MAL | 21,3167 | 52,1667 |
| 218 | Wola Ducka | Mochtoys | otwocki | art. przemysłowe | DUZ | 21,3867 | 52,1136 |
| 219 | Wola Ducka | Asma Polska | otwocki | chemiczny | SRE | 21,3867 | 52,1136 |
| 220 | Zakręt | Parfum Company | otwocki | chemiczny | MAL | 21,2695 | 52,2206 |
| 221 | Góra Kalwaria | Polski Tytoń S. A | piaseczyński | art. przemysłowe | MAL | 21,2161 | 51,9801 |
| 222 | Góra Kalwaria | INCO S.A. | piaseczyński | chemiczny | MAL | 21,2161 | 51,9801 |
| 223 | Góra Kalwaria | Brenntag Polska | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,2161 | 51,9801 |
| 224 | Góra Kalwaria | Karopak Opakowania | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,2161 | 51,9801 |
| 225 | Góra Kalwaria | SMS | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,2161 | 51,9801 |
| 226 | Gmina Góra Kalwaria | POLSPORT | piaseczyński | odzieżowy | MAL | 21,1903 | 51,9462 |
| 227 | Gmina Góra Kalwaria | Stora Enso Poland | piaseczyński | przetwórstwa drzewnego | MAL | 21,1903 | 51,9462 |
| 228 | Baniocha | BIZON INT | piaseczyński | budowlany | SRE | 21,1303 | 52,0206 |
| 229 | Baniocha | Mondi Group | piaseczyński | przetwórstwa drzewnego | SRE | 21,1303 | 52,0206 |
| 230 | Grzędy | Frisomat Sp. z o.o. | piaseczyński | budowlany | MAL | 20,8482 | 52,0095 |
| 231 | Grzędy | TT-Thermo King | piaseczyński | budowlany | MAL | 20,8482 | 52,0095 |
| 232 | Grzędy | Altmaster Logistyka | piaseczyński | magazyn | MAL | 20,8482 | 52,0095 |
| 233 | Jabłonowo | Hurtownia Wielobranzowa | piaseczyński | magazyn | MAL | 20,8582 | 52,0570 |
| 234 | Kawęczyn | Point of View Sp. z o.o. Sp.k. | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,1736 | 52,0450 |
| 235 | Lesznawola | Domoferm | piaseczyński | budowlany | MAL | 20,9203 | 52,0978 |
| 236 | Lesznawola | NutroPharma | piaseczyński | chemiczny | MAL | 20,9203 | 52,0978 |
| 237 | Lesznawola | Eveline Cosmetics Dystrybucja | piaseczyński | magazyn | MAL | 20,9203 | 52,0978 |
| 238 | Łazy | Mateco | piaseczyński | elektroniczny | MAL | 20,8747 | 52,0828 |
| 239 | Łazy | Systemair S.A. | piaseczyński | elektroniczny | MAL | 20,8747 | 52,0828 |
| 240 | Łazy | Logicor Łazy | piaseczyński | magazyn | MAL | 20,8747 | 52,0828 |
| 241 | Łazy | Magazyny Demart | piaseczyński | magazyn | MAL | 20,8747 | 52,0828 |
| 242 | Łazy | TAMEX | piaseczyński | magazyn | MAL | 20,8747 | 52,0828 |
| 243 | Łazy | Tangerine Dream | piaseczyński | magazyn | MAL | 20,8747 | 52,0828 |
| 244 | Łazy | BALTICON S.A. | piaseczyński | terminal | MAL | 20,8747 | 52,0828 |
| 245 | Łoziska | Raben | piaseczyński | magazyn | SRE | 20,9889 | 52,0775 |
| 246 | Łubna | Albea Poland Sp z.o.o. | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,1278 | 52,0342 |
| 247 | Łubna | Point Of View Sp.z.o.o. Sp.k. | piaseczyński | magazyn | SRE | 21,1278 | 52,0342 |
| 248 | Marysin | Azamoda Centrum Logistyki | piaseczyński | magazyn | MAL | 20,8714 | 52,0658 |
| 249 | Mroków | Polska Sp.z o.o. | piaseczyński | odzieżowy | MAL | 20,8593 | 52,0399 |
| 250 | Mysiadło | Selgros | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,0060 | 52,0967 |
| 251 | Piaseczno | Reynaers | piaseczyński | budowlany | SRE | 21,0216 | 52,0600 |
| 252 | Piaseczno | Viessmann | piaseczyński | budowlany | DUZ | 21,0216 | 52,0600 |
| 253 | Piaseczno | Bisk | piaseczyński | budowlany | MAL | 21,0216 | 52,0600 |
| 254 | Piaseczno | Grupa Inco S.A. | piaseczyński | chemiczny | MAL | 21,0216 | 52,0600 |
| 255 | Piaseczno | INS-EL | piaseczyński | elektroniczny | MAL | 21,0216 | 52,0600 |
| 256 | Piaseczno | Dr Irena ERIS | piaseczyński | chemiczny | DUZ | 21,0216 | 52,0600 |
| 257 | Piaseczno | Floslek | piaseczyński | chemiczny | MAL | 21,0216 | 52,0600 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|----------------|------------------------------------------|--------------|------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 258 | Piaseczno | Diamond Business Park Piaseczno | piaseczyński | magazyn | DUZ | 21,0216 | 52,0600 |
| 259 | Piaseczno | TDP | piaseczyński | magazyn | DUZ | 21,0216 | 52,0600 |
| 260 | Piaseczno | Clayens NP | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,0216 | 52,0600 |
| 261 | Piaseczno | Euroterm TGS Sp. z o.o | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,0216 | 52,0600 |
| 262 | Piaseczno | Green Integrated Logistics Poland | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,0216 | 52,0600 |
| 263 | Piaseczno | MET-EUROSYSTEM | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,0216 | 52,0600 |
| 264 | Piaseczno | SPRINTPLUS | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,0216 | 52,0600 |
| 265 | Piaseczno | VIPERA | piaseczyński | magazyn | MAL | 21,0216 | 52,0600 |
| 266 | Piaseczno | Hunnebeck | piaseczyński | przetwórstwa drzewnego | MAL | 21,0216 | 52,0600 |
| 267 | Stefanowo | Berling S.A | piaseczyński | metalurgiczny | MAL | 20,8828 | 52,0472 |
| 268 | Stefanowo | Mccormick | piaseczyński | spożywczy | DUZ | 20,8828 | 52,0472 |
| 269 | Stefanowo | Polsoja | piaseczyński | spożywczy | MAL | 20,8828 | 52,0472 |
| 270 | Tarczyn | POLFLAM | piaseczyński | art. przemysłowe | MAL | 20,7261 | 51,9801 |
| 271 | Tarczyn | POLFLAM Sp. z o.o. | piaseczyński | art. przemysłowe | SRE | 20,7261 | 51,9801 |
| 272 | Tarczyn | METAL STEEL POLSKA | piaseczyński | budowlany | MAL | 20,7261 | 51,9801 |
| 273 | Tarczyn | Euro-Light Sp. z o.o | piaseczyński | magazyn | MAL | 20,7261 | 51,9801 |
| 274 | Tarczyn | Złompol | piaseczyński | recykling | DUZ | 20,7261 | 51,9801 |
| 275 | Tarczyn | Browar Tarczyn | piaseczyński | spożywczy | MAL | 20,7261 | 51,9801 |
| 276 | Tarczyn | Dystrybucja Jabłonowo "Piwa Jabłonowskie | piaseczyński | spożywczy | MAL | 20,7261 | 51,9801 |
| 277 | Tarczyn | Turka Invest Sp. z o.o | piaseczyński | spożywczy | MAL | 20,7261 | 51,9801 |
| 278 | Tarczyn | Doehler | piaseczyński | spożywczy | SRE | 20,7261 | 51,9801 |
| 279 | Tarczyn | Doehler sp. z o.o. | piaseczyński | spożywczy | SRE | 20,7261 | 51,9801 |
| 280 | Tarnice | Fackelmann | piaseczyński | art. przemysłowe | MAL | 15,9011 | 53,3508 |
| 281 | Tarnice | 2N-Everpol | piaseczyński | magazyn | MAL | 15,9011 | 53,3508 |
| 282 | Tarnice | MAZOWIANKA | piaseczyński | mechaniczny | MAL | 15,9011 | 53,3508 |
| 283 | Wola Mrokowska | Budmech Biuro i Magazyn Centralny | piaseczyński | budowlany | MAL | 20,8565 | 52,0290 |
| 284 | Wola Mrokowska | Alnor Systemy Wentylacji | piaseczyński | elektroniczny | MAL | 20,8565 | 52,0290 |
| 285 | Wola Mrokowska | Gruau Polska | piaseczyński | mechaniczny | MAL | 20,8565 | 52,0290 |
| 286 | Wola Mrokowska | Berfin Dywany | piaseczyński | odzieżowy | MAL | 20,8565 | 52,0290 |
| 287 | Wólka Kosowska | PLAST SERVICE PACK SP. Z O.O. | piaseczyński | art. przemysłowe | SRE | 20,8422 | 52,0572 |
| 288 | Wólka Kosowska | Mobilbox | piaseczyński | budowlany | MAL | 20,8422 | 52,0572 |
| 289 | Wólka Kosowska | OPM Sp. z oo | piaseczyński | elektroniczny | MAL | 20,8422 | 52,0572 |
| 290 | Wólka Kosowska | Sinda | piaseczyński | magazyn | SRE | 20,8422 | 52,0572 |
| 291 | Wólka Kosowska | Polcar | piaseczyński | mechaniczny | SRE | 20,8422 | 52,0572 |
| 292 | Wólka Kosowska | Eacc Centrum Handlowe | piaseczyński | odzieżowy | SRE | 20,8422 | 52,0572 |
| 293 | Wólka Kosowska | GD Poland International | piaseczyński | odzieżowy | SRE | 20,8422 | 52,0572 |
| 294 | Wólka Kosowska | Polskie Centrum Handlowe | piaseczyński | odzieżowy | SRE | 20,8422 | 52,0572 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|--------------|------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 295 | Wólka Kozodawska | Polaqua sp. z o.o. | piaseczyński | spożywczy | MAL | 21,0129 | 52,0330 |
| 296 | Zamienie | Action | piaseczyński | elektroniczny | DUZ | 20,9772 | 52,1142 |
| 297 | Dawidy | Maga Foods | pruszkowski | spożywczy | MAL | 20,9775 | 52,1343 |
| 298 | Kajetany | Zeppelin Polska | pruszkowski | mechaniczny | DUZ | 20,8221 | 52,0925 |
| 299 | Kanie | L'Oréal Warsaw Plant | pruszkowski | chemiczny | DUZ | 20,7722 | 52,1311 |
| 300 | Michałowice | PPHU PANEK | pruszkowski | magazyn | SRE | 20,8798 | 52,1744 |
| 301 | Młochów | DB Schenker | pruszkowski | magazyn | DUZ | 20,7845 | 52,0483 |
| 302 | Nadarzyn | Segro Logistics Park Warsaw Nadarzyn | pruszkowski | magazyn | DUZ | 20,8053 | 52,0939 |
| 303 | Pęcice | FedEx Express | pruszkowski | magazyn | MAL | 20,8500 | 52,1500 |
| 304 | Pruszków | Pruszkowskie Centrum Dystrybucyjne | pruszkowski | magazyn | BDUZ | 20,8000 | 52,1667 |
| 305 | Pruszków | Drewno Centrum II | pruszkowski | przetwórstwa drzewnego | SRE | 20,8000 | 52,1667 |
| 306 | Rybie, Pruszków County | Amadar | pruszkowski | elektroniczny | MAL | 20,9472 | 52,1545 |
| 307 | Sokołów | Panattoni Park Janki III | pruszkowski | magazyn | DUZ | 20,8667 | 52,1333 |
| 308 | Sokołów | Prologis Park Janki | pruszkowski | magazyn | DUZ | 20,8667 | 52,1333 |
| 309 | Pruszków | Prologis Park (centrum) | pruszkowski | magazyn | SRE | 20,8000 | 52,1667 |
| 310 | Reguły | RLP - Reguły Logistic Park | pruszkowski | magazyn | DUZ | 20,8594 | 52,1703 |
| 311 | Rusiec | Atlas Sp. z o.o. | pruszkowski | magazyn | MAL | 20,8000 | 52,0833 |
| 312 | Rusiec | Mago S.A. | pruszkowski | magazyn | MAL | 20,8000 | 52,0833 |
| 313 | Rusiec | Therrawood North Europe | pruszkowski | przetwórstwa drzewnego | MAL | 20,8000 | 52,0833 |
| 314 | Sękocin Nowy | GF Machining Solutions | pruszkowski | budowlany | MAL | 20,8925 | 52,1161 |
| 315 | Sękocin Stary | Panattoni | pruszkowski | magazyn | DUZ | 20,8833 | 52,1000 |
| 316 | Sękocin Stary | HEBAN 2 | pruszkowski | budowlany | MAL | 20,8833 | 52,1000 |
| 317 | Sękocin Stary | CTDI Poland sp. z o. o. | pruszkowski | magazyn | MAL | 20,8833 | 52,1000 |
| 318 | Kłudno | Polska Papryka. Grupa producentów warzyw i owoców | przysuski | spożywczy | MAL | 20,6706 | 51,5511 |
| 319 | Klwów | Polska Papryka | przysuski | spożywczy | MAL | 20,6333 | 51,5333 |
| 320 | Potworów | AGRO-KING | przysuski | spożywczy | MAL | 20,7167 | 51,5167 |
| 321 | Przysucha | Arka Sp. z o.o. PPHU. | przysuski | magazyn | MAL | 20,6167 | 51,3667 |
| 322 | Przysucha | PW Krystian | przysuski | odzieżowy | MAL | 20,6167 | 51,3667 |
| 323 | Przysucha | Hortex | przysuski | spożywczy | DUZ | 20,6167 | 51,3667 |
| 324 | Skrzyńsko | KING KLINKER | przysuski | budowlany | SRE | 20,6500 | 51,3833 |
| 325 | Potworów | Euro Papryka | przysuski | spożywczy | MAL | 20,7167 | 51,5167 |
| 326 | Potworów | P.H.T Pankowska | przysuski | art. przemysłowe | MAL | 20,7167 | 51,5167 |
| 327 | Ilża | Blachy Minda | radomski | budowlany | MAL | 21,2500 | 51,1667 |
| 328 | Ilża | Nawozy | radomski | chemiczny | MAL | 21,2500 | 51,1667 |
| 329 | Wawrzyszów | FigAnd Zakład Mleczarski | m. Radom | spożywczy | MAL | 20,8999 | 51,3724 |
| 330 | Lipsko | Kingspan | radomski | budowlany | SRE | 21,6277 | 51,1520 |
| 331 | Maków, Masovian Voivodeship | Solbika Huta szkła | radomski | hutniczy | MAL | 21,2531 | 51,3453 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy (L ^Z _{nh(rp)}) | Długość geogr. (X ^Z _{nh(rp)}) | Szerokość geogr. (Y ^Z _{nh(rp)}) |
|-----------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|----------|---------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 332 | Maków, Masovian Voivodeship | Zakład Przetwórstwa Spożywczego | radomski | spożywczy | MAL | 21,2531 | 51,3453 |
| 333 | Owadów | Zakład Mechaniczno- Odlewniczy | radomski | metalurgiczny | MAL | 21,1841 | 51,4894 |
| 334 | Radom | Polski Tytoń | m. Radom | art. przemysłowe | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 335 | Radom | Euroglater | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 336 | Radom | Rosa-Bud | m. Radom | budowlany | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 337 | Radom | Cosmed | m. Radom | chemiczny | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 338 | Radom | Polska Dystrybucja Alkoholi | m. Radom | magazyn | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 339 | Radom | Toho | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 340 | Radom | Precision Machine Parts | m. Radom | metalurgiczny | DUZ | 21,1254 | 51,4067 |
| 341 | Radom | Aplisens | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 342 | Radom | Eurowkręt | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 343 | Radom | B&M Clothing | m. Radom | odzieżowy | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 344 | Radom | Durr Poland | m. Radom | mechaniczny | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 345 | Radom | Int. Tobacco Machinery | m. Radom | mechaniczny | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 346 | Radom | King Dystrybucja | m. Radom | spożywczy | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 347 | Radom | Albo | m. Radom | spożywczy | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 348 | Radom | Aplisens | m. Radom | spożywczy | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 349 | Radom | Spółdzielnia spożywcza Społem | m. Radom | spożywczy | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 350 | Radom | Zbyszko | m. Radom | spożywczy | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 351 | Radom | Imperial Tobacco | m. Radom | spożywczy | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 352 | Radom | Fabryka Broni Łucznik | m. Radom | zbrojeniowy | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 353 | Radom | Polska Grupa Zbrojeniowa | m. Radom | zbrojeniowy | DUZ | 21,1254 | 51,4067 |
| 354 | Radom | Zakłady zbrojeniowe | m. Radom | zbrojeniowy | DUZ | 21,1254 | 51,4067 |
| 355 | Wola Gutowska | Radmot | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1070 | 51,5114 |
| 356 | Gmina Zakrzew, Masovian Voivodeship | Zakład Mleczarski Krawczyk | radomski | spożywczy | MAL | 21,0167 | 51,4500 |
| 357 | Nieczatów | Romex | radomski | metalurgiczny | MAL | 21,0536 | 51,4375 |
| 358 | Przytyk | Skup Żłomu Saternus Robert | radomski | recykling | MAL | 20,9038 | 51,4678 |
| 359 | Przytyk | Zrzeszenie Producentów Papryki | radomski | spożywczy | MAL | 20,9038 | 51,4678 |
| 360 | Przytyk | LESLAK ROBERT | radomski | spożywczy | MAL | 20,9038 | 51,4678 |
| 361 | Radom | PW HUBER ZYGMUNT SKARBK | m. Radom | art. przemysłowe | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 362 | Radom | Cermax | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 363 | Radom | Konsorcjum Stali S.A. | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 364 | Radom | RAF-POL | m. Radom | mechaniczny | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 365 | Radom | Stalgast | m. Radom | budowlany | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 366 | Radom | CENTROSTAL S.A. | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 367 | Radom | MAJUMI CHEMICALS | m. Radom | chemiczny | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 368 | Radom | WINDOOR | m. Radom | budowlany | SRE | 21,1254 | 51,4067 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|------------------|--------------------------------------|----------|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 369 | Radom | SOVITA | m. Radom | hutniczy | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 370 | Radom | DC COCA COLA | m. Radom | magazyn | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 371 | Radom | DPD | m. Radom | magazyn | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 372 | Radom | Eurocash | m. Radom | magazyn | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 373 | Radom | New Trendy | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 374 | Radom | RADMIR | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 375 | Radom | SIAT-KAR | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 376 | Radom | Aluminium SPS Pająk i Wspólnik sp.j. | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 377 | Radom | Koala Baby | m. Radom | odzieżowy | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 378 | Radom | Merkanta | m. Radom | odzieżowy | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 379 | Radom | Roboplast | m. Radom | tworzywa sztuczne | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 380 | Radom | Rom-bud | m. Radom | recykling | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 381 | Radom | Mleko Gr. Kap. | m. Radom | spożywczy | DUZ | 21,1254 | 51,4067 |
| 382 | Radom | Łucz-bud | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 383 | Radom | Supron 3 | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 384 | Radom | Kombud | m. Radom | mechaniczny | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 385 | Radom | KPS Food | m. Radom | spożywczy | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 386 | Radom | Ren | m. Radom | spożywczy | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 387 | Radom | Selgros | m. Radom | art. przemysłowe | DUZ | 21,1254 | 51,4067 |
| 388 | Radom | Aplisens S.A. | m. Radom | elektroniczny | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 389 | Radom | AZMET RADOM DRYJA | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 390 | Radom | ESA logistika | m. Radom | magazyn | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 391 | Radom | Frigolanda | m. Radom | magazyn | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 392 | Radom | Gabec | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 393 | Radom | Górażdże Beton | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 394 | Radom | Intersnack Poland | m. Radom | spożywczy | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 395 | Radom | Jarmex | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 396 | Radom | Komtex | m. Radom | odzieżowy | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 397 | Radom | Konsorcjum Stali S.A. | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 398 | Radom | LENAAL | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 399 | Radom | Medicofarma | m. Radom | chemiczny | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 400 | Radom | PPHU Bochemia | m. Radom | magazyn | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 401 | Radom | Techmatik S.A. | m. Radom | budowlany | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 402 | Radom | TEXAR | m. Radom | odzieżowy | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 403 | Radom | Th-beton | m. Radom | budowlany | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 404 | Radom | Trend Glass | m. Radom | hutniczy | SRE | 21,1254 | 51,4067 |
| 405 | Radom | TS Polska | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1254 | 51,4067 |
| 406 | Rzeczków-Kolonia | Technitynk | m. Radom | budowlany | MAL | 21,0353 | 51,2536 |
| 407 | Wawrzyszów | Pierrot | m. Radom | spożywczy | MAL | 20,8999 | 51,3724 |
| 408 | Wola Gutowska | RADMOT | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1070 | 51,5114 |
| 409 | Gmina Wolanów | Pipelif Polska | radomski | budowlany | MAL | 20,9775 | 51,3797 |
| 410 | Wsola | Kratki | m. Radom | metalurgiczny | MAL | 21,1167 | 51,4833 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 411 | Brochów | Cegielnia Plecewice | sochaczewski | budowlany | SRE | 20,2661 | 52,3228 |
| 412 | Guzów | DAWTONA FROZEN | sochaczewski | magazyn | SRE | 20,3372 | 52,1160 |
| 413 | Kamięszczyzna | IDEALSAD | sochaczewski | spożywczy | MAL | 20,0899 | 52,2412 |
| 414 | Sochaczew | "POLIMER" | sochaczewski | art. przemysłowe | MAL | 20,2333 | 52,2333 |
| 415 | Sochaczew | Synthos Dwory 7 | sochaczewski | chemiczny | DUZ | 20,2333 | 52,2333 |
| 416 | Gmina Teresin | DB Schenker | sochaczewski | magazyn | SRE | 20,4149 | 52,2023 |
| 417 | Żdźarów | Fruitland | sochaczewski | spożywczy | MAL | 20,1797 | 52,2411 |
| 418 | Lubiejew | MT PLASTICS | sochaczewski | tworzywa sztuczne | SRE | 20,1764 | 52,2239 |
| 419 | Paprotnia, Sochaczew County | Technicol | sochaczewski | magazyn | MAL | 20,4333 | 52,2167 |
| 420 | Sochaczew | DPD Sochaczew | sochaczewski | magazyn | MAL | 20,2333 | 52,2333 |
| 421 | Sochaczew | Inter Cars S.A. | sochaczewski | mechaniczny | MAL | 20,2333 | 52,2333 |
| 422 | Sochaczew | Sarens Polska | sochaczewski | budowlany | MAL | 20,2333 | 52,2333 |
| 423 | Sochaczew | Iglotex | sochaczewski | spożywczy | MAL | 20,2333 | 52,2333 |
| 424 | Sochaczew | HM Factory | sochaczewski | budowlany | DUZ | 20,2333 | 52,2333 |
| 425 | Sochaczew | Prologis Park | sochaczewski | magazyn | DUZ | 20,2333 | 52,2333 |
| 426 | Sochaczew | MFO S.A. Producent Profili Stalowych | sochaczewski | budowlany | SRE | 20,2333 | 52,2333 |
| 427 | Sochaczew | Agromaks Sp. z o.o. | sochaczewski | spożywczy | MAL | 20,2333 | 52,2333 |
| 428 | Sochaczew | Dura-Line Poland | sochaczewski | art. przemysłowe | SRE | 20,2333 | 52,2333 |
| 429 | Sochaczew | ENERGOP | sochaczewski | metalurgiczny | SRE | 20,2333 | 52,2333 |
| 430 | Sochaczew | MCPD Poland | sochaczewski | tworzywa sztuczne | MAL | 20,2333 | 52,2333 |
| 431 | Sochaczew | Verona Products | sochaczewski | chemiczny | MAL | 20,2333 | 52,2333 |
| 432 | Gmina Teresin | Prologis Park | sochaczewski | magazyn | BDUZ | 20,4149 | 52,2023 |
| 433 | Gąsawy Rządowe | Optima Recykling | sztydlowiecki | recykling | MAL | 20,9333 | 51,2000 |
| 434 | Szydłowiec | ZPH Witamina Mirosław | sztydlowiecki | spożywczy | MAL | 20,8500 | 51,2333 |
| 435 | Szydłowiec | Profel | sztydlowiecki | elektroniczny | SRE | 20,8500 | 51,2333 |
| 436 | Szydłowiec | Huta Szkła "TREND GROUP" | sztydlowiecki | hutniczy | MAL | 20,8500 | 51,2333 |
| 437 | Szydłowiec | COMES Sokołowski | sztydlowiecki | tworzywa sztuczne | MAL | 20,8500 | 51,2333 |
| 438 | Szydłowiec | Dan sp.j. Wytwórnia wód gazowanych, niegazowanych i soków | sztydlowiecki | spożywczy | MAL | 20,8500 | 51,2333 |
| 439 | Szamoty | Diamond Business Park | m. Warszawa | magazyn | BDUZ | 20,8452 | 52,0645 |
| 440 | Warsaw | ABB | m. Warszawa | magazyn | DUZ | 21,0167 | 52,2333 |
| 441 | Warsaw | Park Logistyczny Annopol | m. Warszawa | magazyn | BDUZ | 21,0167 | 52,2333 |
| 442 | Warsaw | FOCENO | m. Warszawa | przetwórstwa drzewnego | MAL | 21,0167 | 52,2333 |
| 443 | Warsaw | Pol-Metal | m. Warszawa | metalurgiczny | MAL | 21,0167 | 52,2333 |
| 444 | Warsaw | Mars sp. Z.O.O. | m. Warszawa | spożywczy | DUZ | 21,0167 | 52,2333 |
| 444 | Sochaczew | Mars sp. Z.O.O. | sochaczewski | spożywczy | DUZ | 20,2333 | 52,2333 |
| 444 | Błonie | Mars sp. Z.O.O. | warszawski zachodni | spożywczy | DUZ | 20,6167 | 52,2000 |
| 445 | Borzęcin Duży | Alumex | warszawski zachodni | budowlany | MAL | 20,7333 | 52,2500 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 446 | Kampinos | DSV Solutions | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,4500 | 52,2667 |
| 447 | Kampinos | Kenig Transport i Magazyny | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,4500 | 52,2667 |
| 448 | Kampinos | Pago | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,4500 | 52,2667 |
| 450 | Leszno | AgraFoods + Dawtona | warszawski zachodni | spożywczy | SRE | 16,5667 | 51,8667 |
| 451 | Mościska, Warsaw West County | Kolporter | warszawski zachodni | art. przemysłowe | MAL | 20,8682 | 52,2878 |
| 452 | Bieniewo-Parcela | Pago | warszawski zachodni | magazyn | SRE | 20,4962 | 52,2112 |
| 453 | Błonie | P3 Logistic Parks | warszawski zachodni | magazyn | BDUZ | 20,6167 | 52,2000 |
| 454 | Błonie | Prologis Park Błonie | warszawski zachodni | magazyn | DUZ | 20,6167 | 52,2000 |
| 455 | Duchnice | Polpharma Biologics Warsaw | warszawski zachodni | chemiczny | SRE | 20,7982 | 52,1958 |
| 456 | Duchnice | Agart | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7982 | 52,1958 |
| 457 | Duchnice | Baumalog | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7982 | 52,1958 |
| 458 | Duchnice | FAMOS | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7982 | 52,1958 |
| 459 | Duchnice | Folplast | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7982 | 52,1958 |
| 460 | Duchnice | Food King Production | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7982 | 52,1958 |
| 461 | Duchnice | Neuca S.A. | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7982 | 52,1958 |
| 462 | Duchnice | Sealed Air Polska | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7982 | 52,1958 |
| 463 | Duchnice | Składy VOX | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7982 | 52,1958 |
| 464 | Duchnice | ZING Logistics | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7982 | 52,1958 |
| 465 | Duchnice | CAT LC | warszawski zachodni | magazyn | SRE | 20,7982 | 52,1958 |
| 466 | Duchnice | DSV Road | warszawski zachodni | magazyn | SRE | 20,7982 | 52,1958 |
| 467 | Duchnice | Primores | warszawski zachodni | magazyn | SRE | 20,7982 | 52,1958 |
| 468 | Jawczyce, Masovian Voivodeship | Alma Trend | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,8501 | 52,2134 |
| 469 | Jawczyce, Masovian Voivodeship | WUZETEM | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,8501 | 52,2134 |
| 470 | Jawczyce, Masovian Voivodeship | Piekarnia PUTKA | warszawski zachodni | spożywczy | SRE | 20,8501 | 52,2134 |
| 471 | Ożarów Mazowiecki | Bronisze CENTRUM KWIATOWE | warszawski zachodni | inne | DUZ | 20,8400 | 52,2123 |
| 472 | Ożarów Mazowiecki | Fabryka Kabla | warszawski zachodni | metalurgiczny | DUZ | 20,8400 | 52,2123 |
| 473 | Ożarów Mazowiecki | Bronisze CENTRUM OWOCOWE | warszawski zachodni | spożywczy | DUZ | 20,8400 | 52,2123 |
| 474 | Zaborów | Goldfoam | warszawski zachodni | tworzywa sztuczne | MAL | 20,6769 | 52,2622 |
| 475 | Elżbietów | Zakład Przetwórstwa Mleczarskiego Bakoma Sp. z o.o. | warszawski zachodni | spożywczy | SRE | 20,3869 | 52,1730 |
| 476 | Garno | DRUTPOL | warszawski zachodni | budowlany | MAL | 20,9833 | 51,3667 |
| 477 | Leszno | Bio Planet | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,6000 | 52,2667 |
| 478 | Ołtarzew | Ceva Logistics | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7604 | 52,2122 |
| 479 | Ołtarzew | Magazyn T-Mobile | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7604 | 52,2122 |
| 480 | Ołtarzew | Rhenus Data | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7604 | 52,2122 |
| 481 | Ołtarzew | Henkel Polska | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7604 | 52,2122 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 482 | Ołtarzew | Lognet | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7604 | 52,2122 |
| 483 | Ołtarzew | Loxess Polska | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7604 | 52,2122 |
| 484 | Ołtarzew | Neuca | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7604 | 52,2122 |
| 485 | Ołtarzew | PLATON | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7604 | 52,2122 |
| 486 | Ołtarzew | Segro Logistics | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7604 | 52,2122 |
| 487 | Ołtarzew | TRANS-TOK LOGISTIC | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7604 | 52,2122 |
| 488 | Ożarów Mazowiecki | Bittner Packaging | warszawski zachodni | tworzywa sztuczne | MAL | 20,8400 | 52,2123 |
| 489 | Ożarów Mazowiecki | BLACK RED WHITE | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,8400 | 52,2123 |
| 490 | Ożarów Mazowiecki | Loxess | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,8400 | 52,2123 |
| 491 | Ożarów Mazowiecki | Multi-Color Corporation | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,8400 | 52,2123 |
| 492 | Ożarów Mazowiecki | PLATON | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,8400 | 52,2123 |
| 493 | Ożarów Mazowiecki | Transgourmet Polska | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,8400 | 52,2123 |
| 494 | Płochocin, Masovian Voivodeship | PERI Polska | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,7211 | 52,2000 |
| 495 | Stare Gnatowice | Semmelrock Stein | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,4228 | 52,2335 |
| 496 | Święcice | Magazyn Części Zam. Renault | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,6892 | 52,2118 |
| 497 | Święcice | Kuehne + Nagel | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,6892 | 52,2118 |
| 498 | Święcice | ABUS Polska | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,6892 | 52,2118 |
| 499 | Święcice | Logicor Święcice | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,6892 | 52,2118 |
| 500 | Święcice | Tech Data Polska | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,6892 | 52,2118 |
| 501 | Radonice, Poland | Panattoni Park | warszawski zachodni | magazyn | DUZ | 20,6000 | 52,1667 |
| 502 | Radonice, Poland | Fanex Sp. z o.o. | warszawski zachodni | spożywczy | MAL | 20,6000 | 52,1667 |
| 503 | Stare Gnatowice | Magazyn Centralny Spar | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,4228 | 52,2335 |
| 504 | Stare Gnatowice | Partners Polska | warszawski zachodni | magazyn | MAL | 20,4228 | 52,2335 |
| 505 | Zwoleń | Brat-Met | zwoleński | metalurgiczny | MAL | 21,5839 | 51,3569 |
| 506 | Zwoleń | Lobo Recykling | zwoleński | recykling | MAL | 21,5839 | 51,3569 |
| 507 | Zwoleń | Mlekpól | zwoleński | spożywczy | MAL | 21,5839 | 51,3569 |
| 508 | Ruda | Młyn Folrud | zwoleński | spożywczy | MAL | 21,6897 | 51,3033 |
| 509 | Badowo-Dańki | LIS Meble | żyrardowski | budowlany | MAL | 20,5467 | 51,9517 |
| 510 | Ciemno-Gnojna | CAT Mosolf Polska | żyrardowski | mechaniczny | DUZ | 20,5698 | 51,9686 |
| 511 | Mszczonów | „KERAMZYT” | żyrardowski | budowlany | MAL | 20,5086 | 51,9743 |
| 512 | Mszczonów | P3 Logistic | żyrardowski | magazyn | BDUZ | 20,5086 | 51,9743 |
| 513 | Żyrardów | Polmos | żyrardowski | art. przemysłowe | SRE | 20,4408 | 52,0571 |
| 514 | Żyrardów | PolPro Piotr Olczyk | żyrardowski | elektroniczny | MAL | 20,4408 | 52,0571 |
| 515 | Żyrardów | TCL Operations | żyrardowski | magazyn | MAL | 20,4408 | 52,0571 |
| 516 | Kuranów | WALMAG | żyrardowski | spożywczy | MAL | 20,5337 | 51,9842 |
| 517 | Nowe Kozłowice | Box. Zakład produkcji cukierniczej | żyrardowski | spożywczy | MAL | 20,4333 | 52,0833 |
| 518 | Radziejowice | Ekonip | żyrardowski | magazyn | SRE | 20,5500 | 52,0000 |
| 519 | Stare Kozłowice | DACHY Moskal | żyrardowski | budowlany | MAL | 20,4131 | 52,0817 |
| 520 | Stare Kozłowice | Eko-Bud. | żyrardowski | budowlany | MAL | 20,4131 | 52,0817 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|----------------------------|---------------------------------------------------|-------------|------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 521 | Stare Kozłowice | Pipeline Polska | żyrardowski | magazyn | MAL | 20,4131 | 52,0817 |
| 522 | Wiskitki | Anser | żyrardowski | chemiczny | MAL | 20,4000 | 52,0833 |
| 523 | Wiskitki | BINPOL | żyrardowski | recykling | MAL | 20,4000 | 52,0833 |
| 524 | Wiskitki | Alina Cosmetics | żyrardowski | magazyn | MAL | 20,4000 | 52,0833 |
| 525 | Wiskitki | Chefs Culinar | żyrardowski | magazyn | MAL | 20,4000 | 52,0833 |
| 526 | Rawa Mazowiecka | Pepco | rawski | magazyn | BDUZ | 20,2500 | 51,7667 |
| 527 | Rawa Mazowiecka | Sievert Polska | rawski | budowlany | MAL | 20,2500 | 51,7667 |
| 528 | Rawa Mazowiecka | STANLEY JEANS | rawski | odzieżowy | MAL | 20,2500 | 51,7667 |
| 529 | Rawa Mazowiecka | Tabo Kuzimski | rawski | metalurgiczny | MAL | 20,2500 | 51,7667 |
| 530 | Rawa Mazowiecka | Hurtownia Stali - Bt | rawski | metalurgiczny | SRE | 20,2500 | 51,7667 |
| 531 | Rawa Mazowiecka | LOXIMIDE | rawski | elektroniczny | MAL | 20,2500 | 51,7667 |
| 532 | Rawa Mazowiecka | Elsam | rawski | mechaniczny | SRE | 20,2500 | 51,7667 |
| 533 | Rawa Mazowiecka | Hagmed Zakład Produkcyjny | rawski | mechaniczny | MAL | 20,2500 | 51,7667 |
| 534 | Rawa Mazowiecka | Food Service | rawski | spożywczy | SRE | 20,2500 | 51,7667 |
| 535 | Rawa Mazowiecka | Antares | rawski | tworzywa sztuczne | MAL | 20,2500 | 51,7667 |
| 536 | Rawa Mazowiecka | RAW-POL | rawski | odzieżowy | MAL | 20,2500 | 51,7667 |
| 537 | Rawa Mazowiecka | TOP E SHOP SP. K. 4,0 | rawski | przetwórstwa drzewnego | SRE | 20,2500 | 51,7667 |
| 538 | Rawa Mazowiecka | FMR LISICKI | rawski | mechaniczny | MAL | 20,2500 | 51,7667 |
| 539 | Podkonice Duże | De Heus Sp. z o.o. Wytwórnia pasz | rawski | spożywczy | MAL | 20,2167 | 51,7167 |
| 540 | Podkonice Duże | Carrefour Polska Sp. Z o.o. Centrum Dystrybucyjne | rawski | magazyn | BDUZ | 20,2167 | 51,7167 |
| 541 | Domaniewice | NOWOSTAL | grójecki | metalurgiczny | MAL | 19,8116 | 52,0090 |
| 542 | Biała Rawska | Biański Owoc | rawski | spożywczy | MAL | 20,5151 | 51,8192 |
| 543 | Biała Rawska | Austria Juice Poland | rawski | spożywczy | SRE | 20,5151 | 51,8192 |
| 544 | Biała Rawska | Sadex | rawski | spożywczy | MAL | 20,5151 | 51,8192 |
| 545 | Biała Rawska | Sad Rokicki | rawski | spożywczy | MAL | 20,5151 | 51,8192 |
| 546 | Biała Rawska | APPSAD Centrum Zaopatrzenia Sadowniczego | rawski | spożywczy | MAL | 20,5151 | 51,8192 |
| 547 | Biała Rawska | NEWPOL | rawski | spożywczy | MAL | 20,5151 | 51,8192 |
| 548 | Biała Rawska | Biała Rawska skup złomu i metali kolorowych | rawski | recykling | MAL | 20,5151 | 51,8192 |
| 549 | Krukówka, Łódź Voivodeship | Sun-Fruit | rawski | spożywczy | MAL | 20,5575 | 51,8047 |
| 550 | Krukówka, Łódź Voivodeship | King Fruit | rawski | spożywczy | MAL | 20,5575 | 51,8047 |
| 551 | Turowa Wola | ZOLA GROUP | rawski | tworzywa sztuczne | MAL | 20,4793 | 51,8790 |
| 552 | Kowiesy, Łódź Voivodeship | Fresh Fruit | rawski | spożywczy | MAL | 20,4222 | 51,8900 |
| 553 | Rawa Mazowiecka | GPZ Huta Zawadzka | rawski | hutniczy | MAL | 20,2500 | 51,7667 |
| 554 | Rawa Mazowiecka | Fabryka Mebli Rawa | rawski | budowlany | MAL | 20,2500 | 51,7667 |
| 555 | Rawa Mazowiecka | Metalbud | rawski | budowlany | SRE | 20,2500 | 51,7667 |

| Lp. (nh(rp)) | Miasto | Nazwa zakładu | powiat | Rodzaj działalności | Wielkość zakładu pracy ($L_{nh(rp)}^Z$) | Długość geogr. ($X_{nh(rp)}^Z$) | Szerokość geogr. ($Y_{nh(rp)}^Z$) |
|-----------------|-----------------|------------------------------------------------------|----------|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 556 | Rawa Mazowiecka | Yangtze Optical Fibre and Cable (Poland) sp. z o. o. | rawski | elektroniczny | DUZ | 20,2500 | 51,7667 |
| 557 | Rawa Mazowiecka | Quick-Mix | rawski | budowlany | SRE | 20,2500 | 51,7667 |
| 558 | Rawa Mazowiecka | MGL Sp. z o.o. | rawski | budowlany | SRE | 20,2500 | 51,7667 |
| 559 | Pionki | Profmetal | radomski | mechaniczny | MAL | 21,4500 | 51,4833 |
| 560 | Pionki | Tasomix Pasze | radomski | spożywczy | SRE | 21,4500 | 51,4833 |
| 561 | Pionki | Max Stal | radomski | metalurgiczny | MAL | 21,4500 | 51,4833 |
| 562 | Pionki | Pirlo Poland | radomski | art. przemysłowe | MAL | 21,4500 | 51,4833 |
| 563 | Pionki | Soudal Manufacturing | radomski | tworzywa sztuczne | SRE | 21,4500 | 51,4833 |
| 564 | Pionki | P.P.H.U. HIT BOŻENA KRZYWIEC | radomski | tworzywa sztuczne | MAL | 21,4500 | 51,4833 |
| 565 | Pionki | KPS Food | radomski | spożywczy | MAL | 21,4500 | 51,4833 |
| 566 | Pionki | Bartex. Fabryka kartonów | radomski | art. przemysłowe | MAL | 21,4500 | 51,4833 |
| 567 | Pionki | FUX-PACK | radomski | art. przemysłowe | MAL | 21,4500 | 51,4833 |
| 568 | Rawa Mazowiecka | FAM | rawski | metalurgiczny | MAL | 20,2500 | 51,7667 |

Źródło: opracowanie własne

Załącznik 7

Tabela 29 Liczba pojazdów ciężarowych w danych węzłach drogowych regionu nr 7

| Węzeł (to) | Miasto | Nr powiatu (pc(rp)) | Powiat | Liczba poj. ciężarowych z kierunku | | | |
|---------------|---------------------|------------------------|--------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | | | Północ ($M_1^{to(pc,rp)}$) | Południe ($M_2^{to(pc,rp)}$) | Wschód ($M_3^{to(pc,rp)}$) | Zachód ($M_4^{to(pc,rp)}$) |
| 1 | Białobrzegi | 1 | białobrzecki | 4904 | 5174 | 221 | 120 |
| 1 | | 1 | białobrzecki | | | 125 | |
| 2 | Garwolin | 2 | garwoliński | 2460 | 2578 | 182 | 124 |
| 3 | Grodzisk Mazowiecki | 3 | grodziski | 674 | 367 | 8348 | 7986 |
| 3 | | 3 | grodziski | | | 143 | 233 |
| 4 | Grójec | 4 | grójecki | 2805 | 5258 | 5648 | 355 |
| 4 | | 4 | grójecki | | | 262 | 40 |
| 4 | | 4 | grójecki | | | 647 | 5648 |
| 5 | Kozienice | 5 | kozienicki | 584 | 429 | 246 | 561 |
| 5 | | 5 | kozienicki | | 390 | | |
| 6 | Lipsko | 6 | lipski | 1193 | 1033 | 25 | 141 |
| 7 | Mińsk Mazowiecki | 7 | miński | 1575 | 68 | 2705 | 3854 |
| 7 | | 7 | miński | | | | 1254 |
| 8 | Otwock | 8 | otwocki | 811 | 970 | | |
| 8 | | 8 | otwocki | | 244 | | |
| 9 | Góra Kalwaria | 9 | piaseczyński | 4823 | 836 | 4646 | 3834 |
| 10 | Pruszków | 10 | pruszkowski | 276 | 123 | 9582 | 7986 |
| 10 | | 10 | pruszkowski | 1122 | | 228 | 172 |
| 11 | Przysucha | 11 | przysuski | 43 | 79 | 944 | 1028 |

| | | | | Liczba poj. ciężarowych z kierunku | | | |
|----|-----------------|----|---------------------|------------------------------------|------|------|-------|
| 11 | | 11 | przysuski | | 6 | | |
| 12 | Radom | 12 | Radom | 3264 | 4236 | 310 | 1491 |
| 12 | | 12 | Radom | 1936 | 184 | 6316 | 495 |
| 12 | | 12 | Radom | | 1039 | | |
| 13 | Rawa Mazowiecka | 14 | rawski | 5166 | 5601 | 669 | 841 |
| 13 | | 14 | rawski | 341 | 74 | 470 | |
| 14 | Sochaczew | 15 | sochaczewski | 3205 | 190 | 108 | 1939 |
| 14 | | 15 | sochaczewski | 89 | 2349 | 1423 | |
| 15 | Szydłowiec | 16 | szydłowski | 4276 | 4463 | 134 | 79 |
| 16 | Warszawa | 17 | Warszawa | 2055 | 461 | 60 | 7418 |
| 16 | | 17 | Warszawa | 686 | 259 | 1530 | 194 |
| 16 | | 17 | Warszawa | 146 | 532 | 230 | 10113 |
| 16 | | 17 | Warszawa | 131 | | | 239 |
| 16 | | 17 | Warszawa | 7521 | | | |
| 17 | Błonie | 18 | warszawski zachodni | 628 | 1353 | 1624 | 1423 |
| 18 | Zwoleń | 19 | zwoleński | 429 | 1193 | 2540 | 2770 |
| 18 | | 19 | zwoleński | 64 | | | |
| 19 | Mszczonów | 20 | żyrardowski | 5916 | 5513 | 5569 | 4547 |
| 19 | | 20 | żyrardowski | | | | 51 |
| 19 | Wisłok | 20 | żyrardowski | 2349 | 5720 | 8348 | 11470 |

Źródło: opracowanie własne

Załącznik 8

Metodyka wyznaczania kosztu zmiennego budowy terminala

Ze względu na to, iż planowany terminal intermodalny będzie miał identyczną konstrukcję we wszystkich wariantach, postanowiono zmniejszyć czas poświęcony na wycenę poszczególnych obiektów. W tym celu posłużono się tzw. *kosztem zmiennym budowy terminala*. Na potrzeby pracy przyjęto, iż koszt zmienny budowy terminala intermodalnego to taki koszt, którego wartość może się zmienić w zależności od położenia geograficzno-środowiskowego planowanego obiektu np. koszt prac zmiennych, prace środowiskowe związane z przebudową zbiorników wodnych, koszt odszkodowań z tytułu wysiedlenia gospodarstwa domowego itp. Kluczem do zrozumienia czym tak naprawdę jest zmienny koszt budowy terminala jest *koszt całkowity budowy terminala intermodalnego* (K^C):

$$K^C = K^{PP} + K^T + K^D + K^{SU} + K^{BS} + K^E + K^{KU} + K^{SR} [\text{mln zł}] \quad (80)$$

Jego składowe przedstawia Tabela 30.

Tabela 30 Koszty budowy terminala i ich składowe

| Nazwa kosztów | Składowa kosztu |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Koszt prac przygotowawczych (K^{PP}) | <ul style="list-style-type: none"> wykup gruntów (K_{GR}^{PP}), rozwiązanie kolizji z istniejącym uzbrojeniem terenu (K_{UZ}^{PP}), rozwiązanie kolizji z istniejącą infrastrukturą (K_{OIN}^{PP}), dokumentacja projektowa (K_{PR}^{PP}), prace ziemne (wykop i nasyp) (K_{RZ}^{PP}), prace geotechniczne (K_{GZ}^{PP}), prace geodezyjne (K_{GEO}^{PP}). |
| Koszt układu torowego (K^T) | <ul style="list-style-type: none"> budowa torów terminalowych (K_{TT}^T), budowa torów stacyjnych i dojazdowych (K_{DS}^T), zabudowa rozjazdów kolejowych (K_{RK}^T), zabudowa kozłów oporowych (K_{KO}^T), szlifowanie torów (K_{SZ}^T), regulacja torów i rozjazdów (K_{TR}^T), implementacja systemu poziomego (K_{SYS}^T), |
| Koszt układu drogowego (K^D) | <ul style="list-style-type: none"> budowa parkingów (K_{P}^D), budowa dróg dojazdowych (K_{DO}^D), budowa dróg wewnętrznych (K_{WE}^D), budowa placów składowych i manipulacyjnych (K_{SM}^D), implementacja oznaczeń poziomych i pionowych (K_{OZ}^D), |
| Koszt zakupu suprastruktury (K^{SU}) | <ul style="list-style-type: none"> zakup maszyn ładunkowych (K_{M}^{SU}), zakup ciągników siodłowych (K_{CS}^{SU}), |
| Koszt układu sanitarnego (K^{BS}) | <ul style="list-style-type: none"> budowa sieci wodociągowej (K_{W}^{BS}), budowa kanalizacji deszczowej (K_{DE}^{BS}), budowa sieci kanalizacyjnej (K_{K}^{BS}), budowa zbiorników odpływowych (K_{ZO}^{BS}), |
| Koszt układu elektroenergetycznego nietrakcyjnego i trakcyjnego (K^E) | <ul style="list-style-type: none"> budowa i montaż oświetlenia (K_{O}^E), budowa przyłącza energetycznego i okablowanie terminala (K_{PE}^E), budowa przyłączy dla kontenerów chłodniczych (K_{CH}^E), instalacja trakcji (K_T^E) (jeśli tory częściowo zelektryfikowane) |
| Koszt budowy obiektów kubaturowych (K^{KU}) | <ul style="list-style-type: none"> budynek administracyjno-socjalny (K_{AS}^{KU}), brama wjazdowa (K_{BW}^{KU}), budynek ochrony (K_O^{KU}), stacja paliw (K_{PL}^{KU}), stanowiska ważenia pojazdów (K_{WZ}^{KU}), |
| Koszty środowiskowe (K^{SR}) | <ul style="list-style-type: none"> wycinka drzew (K_{WD}^{SR}), przebudowa cieków wodnych (K_{CW}^{SR}), kompensacja przyrodnicza (nasadzenie drzew) (K_{KP}^{SR}), zabudowa ekranów akustycznych (K_{EA}^{SR}), |
| Koszty pozostałe (K^{PO}) | <ul style="list-style-type: none"> zakup monitoringu (K_M^{PO}), budowa ogrodzenia (K_{OG}^{PO}), zakup systemów informatycznych (K_{IF}^{PO}), organizacja stanowiska obsługi substancji niebezpiecznych (K_{RID}^{PO}), instalacja urządzeń SRK (K_{SRK}^{PO}) |

Źródło: opracowanie własne

Koszt zmienny budowy terminala intermodalnego (K^{ZM}) zawiera wybrane elementy kosztu całkowitego (te, które mogą się zmienić w zależności od położenia geograficzno-

środowiskowego. Jego wzór zamieszczono poniżej (oznaczenia do poniższego wzoru przedstawia Tabela 30).

$$K^{ZM} = K_{GR}^{PP} + K_{UZ}^{PP} + K_{RZ}^{PP} + K_{DS}^T + K_{WD}^{SR} + K_{KP}^{SR} + K_{EA}^{SR} [zł] \quad (81)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} K_{GR}^{PP} &= P_{PO} \cdot C_{GR} [zł] \\ K_{UZ}^{PP} &= D_{KO} \cdot C_{KO} [zł] \\ K_{RZ}^{PP} &= O_{WY} \cdot C_{WY} + O_{NA} \cdot C_{NA} [zł] \\ K_{DS}^T &= D_{TSD} \cdot C_{TO} [zł] \\ K_{WD}^{SR} &= P_{PO} \cdot L_{WD} \cdot C_{WD} [zł] \\ K_{KP}^{SR} &= P_{PO} \cdot L_{WD} \cdot C_{KP} [zł] \\ K_{EA}^{SR} &= L_{EA} \cdot C_{EA} [zł] \end{aligned} \quad (82)$$

przy czym: P_{PO} – pole powierzchni terminala intermodalnego, C_{GR} – jednostkowa cena wykupu 1 m² działki, D_{KO} – długość kolizji z uzbrojeniem terenu, C_{KO} – cena jednostkowa przebudowy kolizji 1 m, O_{WY} – objętość wykopu, O_{NA} – objętość nasypu, C_{WY} – cena jednostkowa 1 m³ wykopu, C_{NA} – cena jednostkowa 1 m³ nasypu, D_{TSD} – długość torów dojazdów i stacyjnych, C_{TO} – koszt jednostkowy budowy 1 km toru, L_{WD} – średnia liczba drzew przypadająca na 1 ha lasu, C_{WD} – koszt wycinki 1 drzewa, C_{KP} – koszt nasadzenia 1 drzewa, L_{EA} – długość zainstalowanych ekranów akustycznych, C_{EA} – cena jednostkowa zakupu i instalacji ekranu akustycznego.

Wartość kosztu zmiennego budowy terminali intermodalnych w poszczególnych wariantach przedstawia Tabela 31.

Tabela 31 Koszt zmienny budowy terminala intermodalnego w poszczególnych wariantach

| Miejscowość | Cena gruntu [zł/ha] | Nasyp [m ³] | Wykop [m ³] | Liczba drzew do wycięcia | Liczba drzew do nasadzenia | Długość ekranów akustycznych [m] | Długość kolizji z uzbrojeniem w terenie [m] | Długość torów dojazdowych /stacyjnych[km] | Koszt zmienny [zł] |
|-----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|
| Chynów | 740000,00 | 105000 | 172000 | 35000 | 0,00 | 800 | 2300,00 | 1,5 | 39 555 400 |
| Tarczyn | 4570000 | 232000 | 130000 | 28000 | 0 | 400 | 400 | 0,9 | 100 519 700 |
| Rajec k. Radomia | 9200000 | 110000 | 217000 | 3000 | 3000 | 720 | 2500 | 0 | 164 092 000 |
| Mszczonów | 2190000 | 41000 | 76000 | 0 | 0 | 1000 | 1250 | 1,6 | 49 739 900 |
| Jeziorki k. Piaseczna | 880000 | 148000 | 790000 | 10500 | 10500 | 0 | 600 | 1,2 | 70 259 800 |

Źródło: opracowanie własne

Przyjęto następujące koszty jednostkowe: nasyp (80zł/m³), wykop (50zł/m³), koszt wycięcia 1 drzewa (50 zł/szt.), koszt nasadzenia 1 drzewa – sosny (20 zł/szt.), średni koszt przebudowy 1 m kolizji z uzbrojeniem terenu (1000 zł/m), cena 1 m ekranu akustycznego (2500 zł/m), uśredniona cena budowy toru klasy B wraz z regulacją, szlifowaniem i rozjazdami (3 500 000 zł/km).

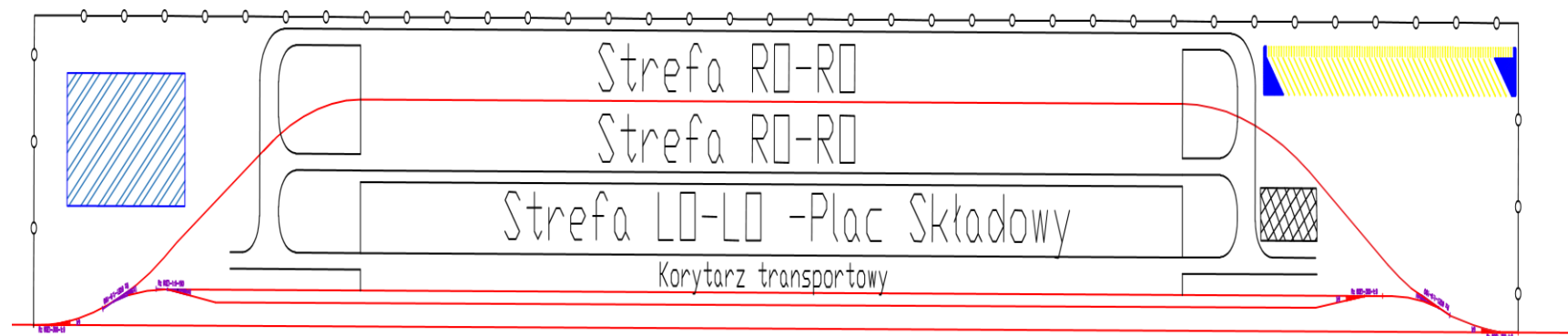
Załącznik 9

Tabela 32 Macierz decyzyjna ze zmiennymi diagnostycznymi

| Miejscowość | Średnia stopa bezrobocia w klastrze[%] | Liczba ludności w promieniu do 50 km | Potencjał dostaw w prom 50 km | Długość dróg szybkiego ruchu w prom. do 5 km | Liczba pojazdów ciężarowych przecinająca najbliższy węzeł lub drogę | Odległość od portu morskiego [km] | Powierzchnia użytków rolnych w klastrze [ha] | Odległość od najbliższego obszaru chronionego [km] | Rezerwa pod rozbudowę [ha] | Liczba gospodarstw do zlikwidowania | Liczba dróg lokalnych do przebudowy | Odległość od miasta [km] | Odległość od sieci energetycznej najwyższego napięcia[km] | Kolizja ze strefą biznesową innych terminali [%] | Przeciętna powierzchnia mieszkalna z podwórkami w promieniu do 2 km [ha] | Koszt zmienny budowy terminala [zł] |
|----------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Chynów | 7,7 | 2961189,8 | 9840,0 | 10,0 | 3854,0 | 394,0 | 353546,2 | 2,7 | 64,0 | 2,0 | 2,0 | 15,0 | 6,5 | 55,7 | 495,5 | 39555400,0 |
| Tarczyn | 3,0 | 2913871,3 | 10350,0 | 20,0 | 2805,0 | 371,0 | 179379,1 | 0,6 | 71,0 | 4,0 | 1,0 | 0,0 | 0,3 | 65,7 | 328,5 | 100519700,0 |
| Jeziorka k. Warszawy | 3,1 | 2981910,0 | 9840,0 | 27,0 | 1871,0 | 368,0 | 156295,0 | 2,0 | 10,0 | 6,0 | 1,0 | 0,0 | 2,5 | 78,8 | 699,0 | 164092000,0 |
| Rajec k. Radomia | 15,4 | 689852,8 | 4140,0 | 25,0 | 2696,0 | 446,0 | 250527,6 | 2,7 | 55,0 | 0,5 | 1,0 | 0,0 | 2,2 | 3,2 | 744,0 | 49739900,0 |
| Mszczonów | 4,64 | 2690824,0 | 9900,0 | 25,0 | 10798 | 392,0 | 178871,1 | 1,5 | 26,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 2,5 | 67,1 | 351,0 | 70259800,0 |
| Charakter kryterium | S | S | S | S | S | S | S | S | S | D | D | D | D | D | D | D |
| Max | 15,4 | 2981910,0 | 10350,0 | 27,0 | 13582,5 | 446,0 | 353546,2 | 2,7 | 71,0 | 6,0 | 2,0 | 15,0 | 6,5 | 78,8 | 744,0 | 164092000,0 |
| Min | 3,0 | 689852,8 | 4140,0 | 10,0 | 1871,0 | 368,0 | 156295,0 | 0,6 | 10,0 | 0,5 | 1,0 | 0,0 | 0,3 | 3,2 | 328,5 | 39555400,0 |

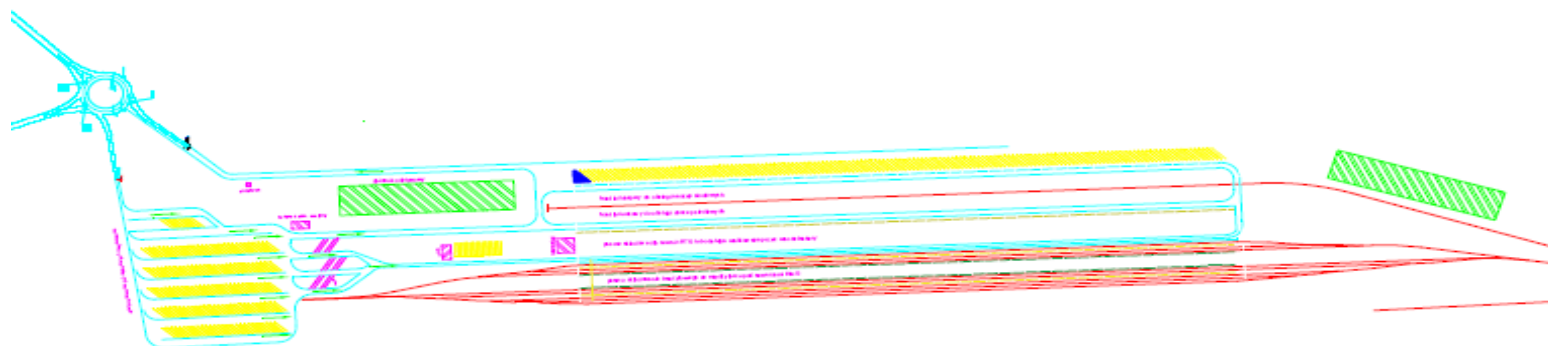
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 10



Rysunek 112 Koncept terminala RO-RO/LO-LO

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 113 Koncept terminala RO-RO/LO-LO typu HUB

Źródło: opracowanie własne, materiały CPK