

Mirosław Nader, Arkadiusz Kostrzewski

Podstawowe założenia struktury procedury projektowania centrum przeładunkowego dla transportu intermodalnego

W artykule przedstawione zostały podstawowe założenia niezbędne przy projektowaniu kolejowo-drogowej bazy przeładunkowej dla transportu intermodalnego. Dokonano ogólnej charakterystyki terminala kontenerowego, struktury przepływu jednostek ładunkowych obsługiwanych przez terminal kontenerowy oraz przedstawiono analityczną procedurę projektowania lądowej bazy przeładunkowej w oparciu o zadanie projektowe. Zaprezentowano również schemat przestrzenno-funkcjonalny dla projektowanego terminala przeładunkowego w oparciu o założenia oraz na podstawie dokonanych obliczeń.

Wstęp

Kolejowo-drogowe centrum przeładunkowe dla transportu intermodalnego jest istotnym elementem infrastruktury punktowej wchodzącej w skład sieci przewozów intermodalnych. Lokalizacja, wyposażenie technologiczne oraz układ funkcjonalno-przestrzenny bazy przeładunkowej w istotny sposób wpływają na całkowity czas przewozu jednostek transportu intermodalnego od miejsca nadania do miejsca przeznaczenia. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie podstawowych kroków niezbędnych do zaprojektowania lądowej bazy przeładunkowej przy zastosowaniu procedur analitycznych w oparciu o przykład projektowy.

1. Kolejowo-drogowa baza przeładunkowa dla transportu intermodalnego

Kolejowo-drogowa baza przeładunkowa w systemie przewozów intermodalnych stanowi punkt styku dwóch gałęzi transportu. Jej podstawowym zadaniem jest przeładunek jednostek ładunkowych bez zmiany naczynia transportowego, co wynika z charakteru transportu intermodalnego. Może ona występować w relacji bezpośredniej lub pośredniej. Relacja bezpośrednia to relacja, w przypadku której oba środki przewozowe są już podstawione na froncie ładunkowym. Natomiast relacja pośrednia to taka, w przypadku której należy uwzględnić konieczność tymczasowego składowania jednostek ładunkowych na odpowiednio do tego przeznaczonych placach manipulacyjno-składowych.

Terminem zastępczym wobec pojęcia 'kolejowo-drogowej bazy przeładunkowej', stosowanym zamiennie w literaturze fachowej, jest określenie 'terminal kontenerowy' lub 'centrum przeładunkowe dla transportu intermodalnego'.

Powszechnie przyjętą jednostką miary używaną w ramach transportu intermodalnego jest jednostka zastępcza TEU (ang. *twenty-foot equivalent unit*). Określa ona wymiar kontenera 20-stopowego i w oparciu o standardowe gabaryty kontenerów oraz nadwozi wymiennych przedstawiana jest w następujących relacjach:

- ♦ kontenery 1A (40- i 45-stopowe) – 2 TEU;
- ♦ kontenery 1B (30-stopowe) – 1,5 TEU;
- ♦ kontenery 1C (20-stopowe) – 1 TEU;
- ♦ nadwozia wymienne – 1 TEU.

W przypadku lądowych terminali kontenerowych, gdzie przeładowywane mogą być również dwie pozostałe podstawowe jednostki ładunkowe, tj. naczepy siodłowe i zestawy dro-

gowe, nie zawsze posiadające standardowe parametry techniczne, bezpieczniej jest stosować jednostkę zastępczą ITU (ang. *Intermodal Transport Unit*). Stanowi ona miarę wielkości jednostki ładunkowej transportu intermodalnego.

Lądowe bazy przeładunkowe dla transportu intermodalnego można sklasyfikować według rocznego obrotu jednostek transportu intermodalnego w następujący sposób [9, 10]:

- ♦ węzły międzynarodowe (huby) – powyżej 70 000 ITU na rok,
- ♦ terminale europejskie – 30 000–70 000 ITU na rok,
- ♦ terminale krajowe – poniżej 30 000 ITU na rok.

2. Podstawowe założenia dla procedury projektowania lądowej bazy przeładunkowej

Przy projektowaniu kolejowo-drogowej bazy przeładunkowej należy wziąć pod uwagę wiele aspektów, które mają wpływ na efektywność funkcjonowania terminala. Do podstawowych z nich można zaliczyć [6, 8, 10]:

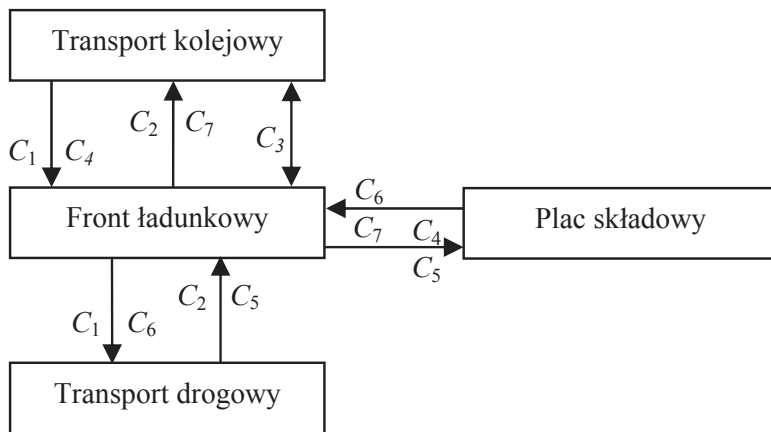
- ❖ liczbę dni roboczych w roku dla lądowej bazy przeładunkowej,
- ❖ zdolność przepustową terminala kontenerowego (dobową oraz roczną),
- ❖ rodzaj obsługiwanych jednostek transportu intermodalnego,
- ❖ dobór systemów przewozowo-przeładunkowych,
- ❖ układ przestrzenno-funkcjonalny projektowanej bazy przeładunkowej,
- ❖ przeznaczenie oraz rozmiary placów manipulacyjno-składowych,
- ❖ układ drogowy oraz kolejowy,
- ❖ układ pasów ruchu dla środków transportu zewnętrznego oraz urządzeń ładunkowych,
- ❖ zaplecze administracyjno-techniczne,
- ❖ wielkość stref parkingowych dla pojazdów osobowych oraz zestawów drogowych.

2.1. Struktura przepływu jednostek transportu intermodalnego przez terminal kontenerowy

Podstawowym zadaniem lądowej bazy przeładunkowej jest obsługa manipulacyjno-transportowa jednostek transportu intermodalnego przybyłych do terminala oraz nadanych zarówno środkami transportu kolejowego, jak również drogowego. Ogólny schemat przejścia jednostek ładunkowych przez terminal kontenerowy przedstawiony został na rys. 1.

Podstawowe relacje przejścia jednostek transportu intermodalnego przez terminal kontenerowy przedstawione zostały w następujący sposób:

- ♦ C_1 – wagon kolejowy – pojazd drogowy (W – S),



Rys. 1. Schemat struktury relacji przejść jednostek ładunkowych przez lądową bazę przeładunkową

Źródło: oprac. własne na podst. [6].

- ♦ C_2 – pojazd drogowy – wagon kolejowy (S – W),
- ♦ C_3 – wagon kolejowy – wagon kolejowy (W – W),
- ♦ C_4 – wagon kolejowy – plac składowy (W – P),
- ♦ C_5 – pojazd drogowy – plac składowy (S – P),
- ♦ C_6 – plac składowy – pojazd drogowy (P – S),
- ♦ C_7 – plac składowy – wagon kolejowy (P – W).

Relacje przejścia C_1 , C_2 , C_3 mają charakter przeładunku bezpośredniego, natomiast pozostałe odznaczają się charakterem przeładunku pośredniego z uwzględnieniem stref manipulacyjno-składowych [6, 8, 10].

2.2. Procedura teoretyczna projektowania kolejowo-drogowej bazy przeładunkowej

Procedurę projektowania lądowej bazy przeładunkowej można podzielić w oparciu o trzy główne stadia merytoryczne. Każde z nich zawiera kroki projektowe, które przedstawione zostały poniżej.

Stadium pierwsze – formułowanie zadania projektowego

Krok projektowy 1. Określenie podstawowych danych stałych i podlegających zmianie, niezbędnych do celów projektowych, takich jak liczba dni roboczych, roczna oraz dobową zdolność przepustowa, zmienność, czas pracy itp.

Krok projektowy 2. Zdefiniowanie podstawowej struktury przepływu jednostek ładunkowych przez bazę przeładunkową dla średniego przepływu jednostek ładunkowych przez terminal.

Krok projektowy 3. Ustalenie średniego czasu składowania jednostek ładunkowych podlegających czynnościom operacyjnym na terminalu kontenerowym.

Krok projektowy 4. Wyznaczenie podstawowych celów dla rozwiązywanego zadania w oparciu o układ wartości oraz odpowiednie ich wyważenie.

Stadium drugie – wielowariantowe rozwiązanie projektowe

Krok projektowy 5. Obliczenie długości frontu ładunkowego dla środków transportu kolejowego i drogowego oraz liczby środków transportu zewnętrznego, niezbędnych do obsługi jednostek ładunkowych.

Krok projektowy 6. Obliczenie minimalnej liczby pól składowych z uwzględnieniem rezerwy, zachowaniem podstawowego podziału na jednostki ładowne, próżne, a także o specjalnej konstrukcji (np. kontenery-chłodnie) oraz z uwzględnieniem

liczby warstw dla poszczególnych rodzajów jednostek transportu intermodalnego.

Krok projektowy 7. Określenie podstawowego rozmieszczenia stref składowania w układzie funkcjonalno-przestrzennym bazy przeładunkowej w oparciu o długość frontu ładunkowego, liczbę pasm oraz pozostałe założone cele.

Krok projektowy 8. Ustalenie podstawowych parametrów pasów ruchu dla pojazdów transportu zewnętrznego oraz dróg komunikacyjno-manipulacyjnych dla urządzeń przewozowych i przewożo-przeładunkowych (długości, szerokości, promienia skrętu itp.).

Krok projektowy 9. Ustalenie punktów nadania i odbioru jednostek ładunkowych oraz ich przepływu przez terminal kontenerowy.

Krok projektowy 10. Ustalenie natężenia przepływu jednostek ładunkowych na poszczególnych trasach przewozu pomiędzy punktami nadania

i odbioru. Określenie czasów dla poszczególnych czynności w procesie.

Krok projektowy 11. Obliczenie uśrednionego czasu trwania cykli transportowych dla różnych urządzeń ładunkowych oraz podstawowego rozmieszczenia stref manipulacyjno-składowych.

Krok projektowy 12. Wyznaczenie liczby głównych (suwnic) oraz pomocniczych urządzeń ładunkowych w oparciu o ich podstawowe parametry techniczne, podstawowe koszty (np. koszt zakupu) oraz uśrednione czasy trwania cykli ładunkowych dla poszczególnych rodzajów urządzeń.

Krok projektowy 13. Wariantowanie rozwiązań.

Stadium trzecie – dokonanie oceny, porównanie oraz wybór racjonalnego rozwiązania

Krok projektowy 14. Porównanie wariantów pod względem założonych celów oraz układu wartości i wybór wariantu realizacyjnego.

Krok projektowy 15. Opracowanie schematu organizacyjno-funkcjonalnego pracy bazy przeładunkowej z uwzględnieniem rozmieszczenia stref manipulacyjno-składowych, przepływu jednostek ładunkowych przez bazę oraz pasów ruchu dla pojazdów transportu wewnętrznego oraz zewnętrznego.

Powyższe kroki projektowe mają charakter ogólny; nacisk położony został na techniczne aspekty realizacji projektu. Mogą one przyjmować inny charakter w zależności od przyjętej koncepcji realizacji zadania projektowego. Kroki powstały w oparciu o analizę kroków projektowych autorstwa F. Fijałkowskiego oraz ogólnej zasady projektowania M. Jacyny [1, 4]. Na ich podstawie zrealizowano przykład podstawowego projektu dużej wielkości lądowej bazy przeładunkowej, który przedstawiony został w kolejnych podrozdziałach artykułu.

3. Procedura analityczna projektowania lądowej bazy przeładunkowej – przykład obliczeniowy

W rozdziale przedstawiona została podstawowa procedura analityczna oparta na przykładzie zadania projektowego dla dużej wielkości lądowej bazy przeładunkowej.

3.1. Stadium pierwsze – formułowanie zadania projektowego

W niniejszym podrozdziale przedstawiono podstawowe założenia dotyczące analitycznej procedury projektowania dużej wielkości lądowej bazy przeładunkowej dla transportu inter-

modalnego. Centrum przeładunkowe obsługiwać będzie następujące jednostki ładunkowe:

- ❖ kontenery wielkie: 20-, 30-, 40-stopowe,
- ❖ nadwozia wymienne,
- ❖ naczepy siodłowe.

Pośród obsługiwanych jednostek ładunkowych wyróżnia się: ładowne, próżne i specjalne (chłodnie, izotermi itp.).

Podstawowe założenia dla projektowanego terminala kontenerowego przedstawione zostały w tabeli 1, zaś struktura dla doby ze średnim przepływem jednostek transportu intermodalnego przez bazę przedstawiona została w tabeli 2. Celem zadania jest dobranie najlepszego rozwiązania realizacyjnego dla projektowanej lądowej bazy przeładunkowej, wyznaczonego w oparciu o warianty projektowe według poniższych założeń.

Współczynnik szczytu dobiera się z przedziału 1,1–1,3. Ze względu na to, że projektowany terminal jest bazą dużej wielkości, współczynnik szczytu dobrany został na poziomie $\alpha = 1,2$ [6, 7].

Średni czas oczekiwania jednostek transportu intermodalnego na przeładunek przedstawiony został w tabeli 3. Udział poszczególnych jednostek transportu intermodalnego w relacji przeładunku bezpośredniego oraz pośredniego (z uwzględnieniem składowania na placach manipulacyjno-składowych) przedstawiony został w tabeli 4. Wartości liczbowe oszacowane zostały na podstawie analizy literatury [6, 7, 9]. W tabeli 5

przedstawiona została liczba warstw składowania dla jednostek ładunkowych obsługiwanych przez projektowany

3.2. Stadium drugie – wielowariantowe rozwiązanie projektowe

W podrozdziale przedstawione zostaną kolejne etapy procedury analitycznego projektowania lądowej bazy przeładunkowej według kroków projektowych opisanych w podrozdziale 2.2.

3.2.1. Front ładunkowy

Front ładunkowy jest to przestrzeń operacyjna, którą stanowi zespół torów ładunkowych, pasm składowych i ładunkowych dla ruchu drogowego oraz pasów ruchu dla pojazdów drogowych i urządzeń ładunkowych. Długość frontu ładunkowego zależy od parametrów techniczno-eksploatacyjnych, zastosowanej technologii przeładunkowej oraz długości obsługiwanych składów pociągów. Kluczową rolę przy projektowaniu frontu ładunkowego dla lądowej bazy przeładunkowej stanowi długość torów ładunkowych, według której najczęściej ustala się liczbę oraz długość pasm składowania jednostek transportu intermodalnego. Ponadto istotne jest również zaplanowanie pasów ruchu dla środków transportu wewnętrznego i zewnętrznego. Długość torów ładunkowych obliczyć można przy wykorzystaniu poniższego wzoru [6, 7, 11].

$$L_w = (n_{wag} \cdot l_w \cdot \alpha) + l_{lok} + l_{bezp} \quad (1)$$

gdzie:

- L_w – długość torów na froncie ładunkowym [m],
- n_{wag} – liczba wagonów w składzie pociągu,
- l_w – długość pojedynczego wagonu [m],
- α – współczynnik nierównomierności przeładunków (1,1–1,3),
- l_{lok} – długość lokomotywy (przy użyciu dwóch lokomotyw należy użyć $2 \cdot l_{lok}$) [m],
- l_{bezp} – naddatek bezpieczeństwa, 10–15 [m].

Długość frontu ładunkowego obliczona została w oparciu o wzór (1) oraz wagon dwuczłonowy – platforma serii Sggos typ 624Z, o długość 27,1 [m], który posiada możliwość załadunku do 2 JTI. Liczba oraz długość torów ładunkowych na froncie ładunkowym przedstawione zostały w tabeli 7 dla poszczególnych wariantów [6].

3.2.2. Liczba pól składowych

Jednym z kluczowych czynników przy projektowaniu lądowej bazy przeładunkowej jest wyznaczenie liczby pól składowych dla jednostek ładunkowych przy uwzględnieniu ich podziału na ładowne, próżne i specjalne. Należy przy tym zapewnić nie tylko wymaganą do obsługi jednostek ładunkowych liczbę pól składowych, dla doby ze szczytowym przepływem, lecz również uwzględnić tzw. rezerwę oraz możliwość zwiększenia wydajności projektowanej bazy przeładunkowej w danym okresie czasu. Dla zadania projektowego przyjęto możliwość zwiększenia liczby miejsc składowych na poziomie około 50%. W celu obliczenia wymaganej

Tab. 1. Podstawowe założenie dla średniej wielkości lądowej bazy przeładunkowej

Nazwa	Wartość liczbową	Jednostka
Liczba dni ustawowo wolnych od pracy	10	[doby]
Liczba dni roboczych	355	[doby]
Współczynnik spiętrzeń przepływu jednostek ładunkowych przez bazę	1,2	[-]
Roczna przepustowość lądowej bazy przeładunkowej (wg założenia)	71 000	[JTI*/ rok]
Maksymalna roczna przepustowość lądowej bazy przeładunkowej (wg założenia)	85 200	[JTI / rok]
Przepustowość bazy przeładunkowej dla doby średniej	200	[JTI / dobę]
Przepustowość bazy przeładunkowej dla doby szczytowej	240	[JTI / dobę]
Liczba zmian pracy	3	[-]
Czas trwania jednej zmiany	8	[h]

*JTI – jednostka transportu intermodalnego.

Źródło: oprac. własne na podst. [1, 6, 7].

Tab. 2. Struktura przepływu jednostek transportu intermodalnego przez projektowaną kolejowo-drogową bazę przeładunkową

Jednostki ładunkowe		Grupa ładunkowa												Łącznie
Rodzaj	Typ	Ładowne				Próżne				Specjalne				
		Nadanie		Przybycie		Nadanie		Przybycie		Nadanie		Przybycie		
		Kolej	Droga	Kolej	Droga	Kolej	Droga	Kolej	Droga	Kolej	Droga	Kolej	Droga	
Kontenery wielkie	1 A	16	12	13	15	5	3	4	4	3	1	2	2	80
	1 B	5	2	4	3	1	1	1	1	1	0	0	1	20
	1 C	11	7	8	10	2	2	2	3	2	0	1	1	50
Nadwozia wymienne	1 NW	6	5	7	4	2	1	1	2	1	0	0	1	30
Naczepy siodłowe	1 NS	5	3	4	4	2	0	0	2	0	0	0	0	20
Łącznie		43	29	36	36	13	8	8	12	7	0	3	5	200

Źródło: oprac. własne na podst. [6, 7].

Tab. 3. Średni czas oczekiwania jednostek ładunkowych na przeładunek

Jednostka ładunkowa	Typ	Ładowne		Próżne		Specjalne	
		Kolej	Droga	Kolej	Droga	Kolej	Droga
Kontenery wielkie	1 A	12 [h]	8 [h]	12 [h]	10 [h]	18 [h]	12 [h]
	1 B	24 [h]	16 [h]	24 [h]	18 [h]	36 [h]	24 [h]
	1 C	12 [h]	10 [h]	12 [h]	12 [h]	24 [h]	16 [h]
Nadwozia wymienne	1 NW	24 [h]	16 [h]	32 [h]	18 [h]	32 [h]	18 [h]
Naczepy siodłowe	1 NS	18 [h]	6 [h]	18 [h]	8 [h]	18 [h]	8 [h]

Źródło: oprac. własne na podst. [6, 7, 9].

Tab. 4. Udział jednostek ładunkowych według rodzaju przeładunku

Jednostka ładunkowa	Typ	Rodzaj przeładunku	
		Bezpośredni [%]	Pośredni (składowanie) [%]
Kontenery wielkie	1 A	15	85
	1 B	5	95
	1 C	10	90
Nadwozia wymienne	1 NW	5	95
Naczepy siodłowe	1 NS	4	96

Źródło: oprac. własne na podst. [6, 7, 9].

Tab. 5. Liczba warstw składowania jednostek

Jednostka ładunkowa	Typ	Jednostki ładunkowe		
		Ładowne	Próżne	Specjalne
Kontenery wielkie	1 A	3	3	2
	1 B	3	3	2
	1 C	3	3	2
Nadwozia wymienne	1 NW	1	1	1
Naczepy siodłowe	1 NS	1	1	1

Źródło: oprac. własne na podst. [5, 7, 10].

Tab. 6. Uśredniony czas trwania cyklu przeładunkowego dla urządzeń przeładunkowych

Rodzaj urządzenia	Uśredniony czas trwania cyklu [min]
Maszty wóz wysięgnikowy	5
Wóz wysięgnikowy – Reachstacker	4
Suwnica RTG	5
Suwnica RMG	3

Źródło: oprac. własne na podst. [2, 3, 6, 7].

liczby pól składowych posłużono się wzorem 2. Liczba miejsc składowych została znormalizowana do przyjętej liczby pasm składowych wzdłuż frontu ładunkowego [1, 6, 7].

$$C_{sklmin} = \frac{\lambda_{JTI}^r \cdot \rho_s \cdot t_d \cdot \alpha}{d_{dob}^r} + C_{zapas} \quad (2)$$

gdzie:

C_{sklmin} – minimalna teoretyczna pojemność placów składowych [JTI],
 λ_{JTI}^r – przepływ jednostek transportu intermodalnego obsługiwanych przez bazę przeładunkową w ciągu roku [jti / rok],
 ρ_s – współczynnik przeładunku pośredniego jednostek ładunkowych [-],
 t_d – średni czas oczekiwania jednostki transportu intermodalnego na przeładunek [doba],

α – współczynnik szczytu (zwykle przyjmuje się 1,1–1,3) [-],
 C_{zapas} – liczba miejsc przeznaczona na zapas w przypadku nierytmicznego przepływu jednostek ładunkowych; może być określona dla jti przychodzących,
 d_{dob}^r – liczba dób roboczych w ciągu roku [doba].

3.2.3. Liczba urządzeń ładunkowych

Do wyznaczenia liczby urządzeń ładunkowych niezbędna jest znajomość średniego czasu trwania cyklu przeładunkowego. Dla zadania projektowego zostały one określone na podstawie analizy wariantów z uwzględnieniem różnych długości drogi przemieszczania do jednostki ładunkowej oraz przy uwzględnieniu parametrów technicznych urządzeń przeładunkowych, takich jak prędkość jazdy, podnoszenie z ładunkiem i bez niego. Otrzymane wyniki zostały przedstawione w tabeli 6.

W oparciu o uśredniony czas trwania cykli przeładunkowych, liczbę operacji na jednostce ładunkowej w ciągu doby oraz dane z tabeli 4 wyznaczono liczbę urządzeń ładunkowych jednego typu, niezbędnych do obsługi bazy przeładunkowej. Obliczeń dokonano przy zastosowaniu wzoru 3.

$$U_{lad} = \frac{\lambda_{JTI}^d \cdot (\phi_b \cdot I_b + \phi_p \cdot I_p) \cdot t_c \cdot \alpha}{60 \cdot t_d^s \cdot \phi_{Ulad}} \quad (3)$$

gdzie:

U_{lad} – liczba urządzeń ładunkowych [urządzenie / doba],
 λ_{JTI}^d – dobowy przepływ jednostek transportu intermodalnego na froncie ładunkowym [jti / d],
 ϕ_p, ϕ_b – współczynnik przeładunku jednostek ładunkowych w relacji pośredniej (ϕ_p) oraz bezpośredniej (ϕ_b),
 I_p, I_b – liczba cykli transportowych dokonywanych na jednostce ładunkowej: dla przeładunku bezpośredniego $I_p = 1$, dla pośredniego $I_b = 2$,
 t_c – uśredniony czas trwania cyklu transportowego realizowanego przez urządzenia ładunkowe [min],
 t_d^s – efektywny czas pracy urządzenia ładunkowego w ciągu doby [TEU / doba],
 ϕ_{Ulad} – współczynnik nierównomierności pracy urządzenia ładunkowego (0,75–0,8) [-].

W oparciu o analizę dostępnej literatury dostrzeżono, iż zazwyczaj obsługa techniczna jednostek transportu intermodalnego dla ładowych baz przeładunkowych odbywa się przy zastosowaniu wozów samojezdnych z wysięgnikiem teleskopowym (ang. *Reachstacker*) oraz suwnic bramowych typu RMG (ang. *Rail Mounted Gantry*). Większą wydajność przeładunkową zapewnia użycie suwnicy bramowej, jednak koszt jej zakupu jest kilkukrotnie wyższy w stosunku do drugiego z urządzeń ładunkowych. Zastosowanie wyżej wymienionych urządzeń przeładunkowych wpływa również na usytuowanie oraz wielkość stref składowania jednostek ładunkowych, a co za tym idzie – na powierzchnię całkowitą bazy [1–3, 7, 8, 10].

W wynik obliczeń oraz w oparciu o liczbę urządzeń dla istniejących ładowych baz przeładunkowych stwierdzono, iż do obsługi jednostek ładunkowych – dla doby ze szczytowym przepływem jednostek ładunkowych przez terminal kontenerowy – niezbędne są dwa urządzenia przeładunkowe wg następujących konfiguracji:

- ◆ suwnica bramowa typu RMG oraz wóz z wysięgiem teleskopowym,
- ◆ dwa wozy z wysięgnikiem teleskopowym typu *Reachstacker*,

Dla określenia wariantu realizacyjnego powyższe konfiguracje urządzeń przeładunkowych uwzględniono w tabeli 7.

3.3. Stadium trzecie – dokonanie oceny, porównanie oraz wybór racjonalnego rozwiązania

Podstawowe charakterystyki niezbędne do wyznaczenia wariantu realizacyjnego przedstawione zostały w tabeli 7. Przy rozwiązywaniu zadania projektowego posłużono się wariantowością rozwiązań przy określeniu wag dla celów głównych oraz cząstkowych. Metoda postępowania przedstawiona została w literaturze [4].

Oceny poszczególnych wariantów oraz wyboru wariantu realizacyjnego dokonano w oparciu o nadanie celom strategicznym: odpowiednich wag (tab. 8). Dla każdego z nich określono również kryteria cząstkowej oceny zaproponowanych rozwiązań oraz dokonano normalizacji z uwzględnieniem wartości maksymalizowanych oraz minimalizowanych. Wyniki zostały przedstawione w tabeli 8.

Tab. 7. Warianty rozwiązań

Parametr	Jednostka	Wariant I	Wariant II	Wariant III	Wariant IV
Urządzenia ładunkowe [szt.]	[szt.]	2	2	2	2
Suwnica bramowa [szt.]	[szt.]	1	0	1	0
Wóz z wysięgnikiem teleskopowym [szt.]	[szt.]	1	2	1	2
Liczba torów ładunkowych	[szt.]	2	2	3	3
Długość torów ładunkowych	[m]	350	350	300	300
		400	400	150	150
Liczba pasm składowania wzdłuż torów ładunkowych	[szt.]	2	2	3	3
Całkowita powierzchnia zajęta pod składowanie jednostek ładunkowych	[m ²]	ok. 4 350	ok. 4 350	ok. 4 100	ok. 4 100
Całkowita powierzchnia terminala	[m ²]	ok. 29 500	ok. 30 000	ok. 26 500	ok. 32 000

Źródło: oprac. własne na podst. [2, 3, 6, 7].

Tab. 8. Wyniki wielokryterialnej oceny wariantów modernizacji linii kolejowej

Rodzaj celu	Oznaczenie celu	Waga przyjętego celu	Unormowana ocena wariantów				Przyjęte kryterium
			Wariant I	Wariant II	Wariant III	Wariant IV	
Koszt zakupu urządzeń przeładunkowych	c(1)	0,2	0,46	1,00	0,46	1,00	min.
Wydajność	c(2)	0,3	0,98	0,44	1,00	0,46	max.
Powierzchnia	c(3)	0,5	0,79	0,78	0,90	0,85	min.
Suma wag przyjętych celów			0,78	0,72	0,84	0,76	max.

Źródło: oprac. własne na podst. [4].

Tab. 9. Podział pól składowych dla jednostek transportu intermodalnego [JTI]

Rodzaj jednostki ładunkowej	Typ	Liczba pól składowych			
		Ładowne	Próżne	Specjalne	Łącznie
Kontenery wielkie	1 A	54	27	24	105
	1 B	45	18	12	75
	1 C	45	18	12	75
Nadwozie wymienne	1 NW	48	18	12	78
Naczepy siodłowe	1 NS	18	6	0	24
Łącznie		210	87	60	357

Źródło: oprac. własne.

Rozwiązaniem zadania okazał się wariant III z najwyższym wynikiem, tj. 0,84. Wariant realizacyjny wybrano w oparciu o nadanie ważności podstawowym kryteriom, takim jak między innymi [1, 4, 7]:

- ❖ koszt zakupu urządzeń ładunkowych,
- ❖ wydajność dobową oraz roczną terminala przeładunkowego,
- ❖ współczynnik bezpieczeństwa pracy w kolejowo-drogowej bazie przeładunkowej,
- ❖ długość torów ładunkowych,
- ❖ liczba pasm składowania jednostek transportu intermodalnego wzdłuż frontu ładunkowego,
- ❖ maksymalne wykorzystanie długości torów ładunkowych dla składowanych jednostek ładunkowych,
- ❖ powierzchnia składowania pod obsługiwane jednostki ładunkowe,
- ❖ powierzchnia całkowita dla bazy przeładunkowej.

Powyższe kryteria mogą być różne w zależności od przyjętej koncepcji projektowej.

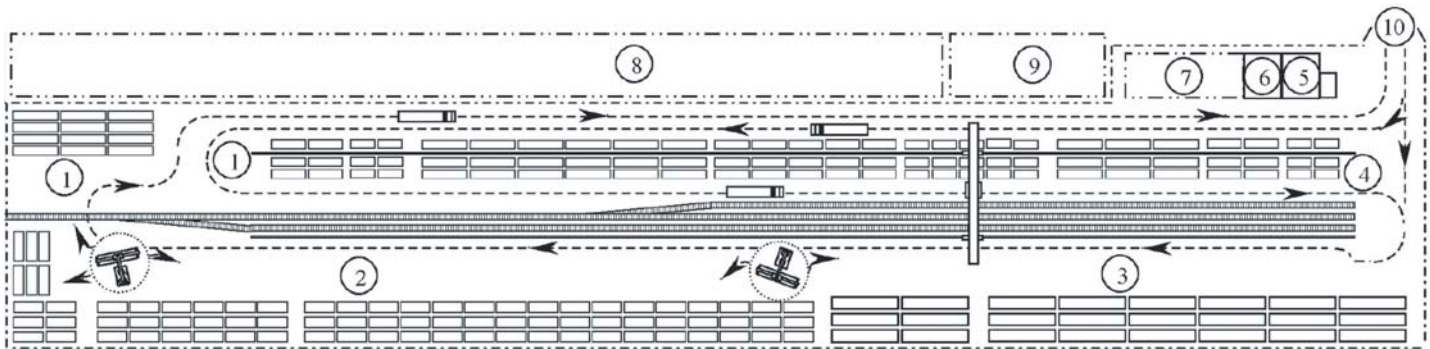
Liczba pól składowych dla poszczególnych jednostek transportu intermodalnego, uwzględniająca rezerwę dla dobowego szczytowego przepływu jednostek ładunkowych przez bazę oraz możliwość zwiększenia ich liczby o około 50% przy zwiększeniu wydajności przeładunkowej terminala, przedstawiona została w tabeli 9 [1, 7].

4. Schemat organizacyjno-funkcyjny projektowanej kolejowo-drogowej bazy przeładunkowej

Na rys. 2. przedstawiony został schemat organizacyjno-funkcyjny dla projektowanej lądowej bazy przeładunkowej w oparciu o poczynione we wcześniejszych podrozdziałach założenia oraz obliczenia dla wariantu realizacyjnego (wariant III).

Schemat kolejowo-drogowej bazy przeładunkowej wykonany został w skali 1:20. Liczba pól składowych dla wszystkich jednostek została przedstawiona zgodnie z wynikami obliczeń umieszczonych w tabeli 9. Przy kolejowym froncie ładunkowym głównym urządzeniem przeładunkowym jest suwnica bramowa typu RMG. Została ona wybrana m.in. ze względu na wysokie parametry techniczne, stabilność zachowania podczas transportu jednostek ładunkowych czy bezkolizyjność z zewnętrznymi środkami transportu. Do obsługi założonego w zadaniu przepływu ładunków potrzebny jest również jeden wóz z wysięgnikiem teleskopowym typu Reachstacker. W przypadku jednak zwiększenia wydajności projektowanego terminala kontenerowego należy użyć dwóch wozów wysięgnikowych (dodatkowo suwnicy, co zastało uwzględnione na rys. 2).

Poczynając od prawej strony, na kolejowym froncie ładunkowym znajdują się strefy składowania dla: kontenerów próżnych A, B, C, kontenerów ładownych A, B, C, kontenerów specjalnych B, C. Dla kontenerów specjalnych typu A została wydzielona strefa, widoczna na schemacie (rys. 2) w lewym górnym rogu. Tuż przy dolnej krawędzi schematu terminala kontenerowego – od prawej strony – znajdują się strefy składowania dla na-



Rys. 1. Schemat funkcjonalno-przestrzenny projektowanej bazy przeładunkowej: 1 – plac manipulacyjno-składowy dla kontenerów, 2 – plac manipulacyjno-składowy dla nadwozi wymiennych, 3 – plac manipulacyjno-składowy dla naczep siodłowych, 4 – kolejowo-drogowy front ładunkowy, 5 – budynki administracyjno-gospodarcze, 6 – warsztaty usługowo-naprawcze, 7 – plac postojowo-naprawczy dla urządzeń ładunkowych, 8 – parking dla zestawów drogowych oczekujących na możliwość wjazdu na terminal, 9 – parking dla pojazdów osobowych, 10 – brama wjazdowa o ruchu dwupasmowym. pasma ruchu dla środków drogowych transportu zewnętrznego

Źródło: oprac. własne na podst. [7, 11].

czep siodłowych ładownych i próżnych, a dalej – dla nadwozi wymiennych ładownych, próżnych oraz o specjalnej konstrukcji. Liczba warstw składowania została uwzględniona zgodnie z wartościami liczbowymi podanymi w tabeli 5. Każda ze stref składowania (tj. ładowne, próżne oraz specjalne) oddzielona jest od sąsiadujących o odległość 5 m, natomiast jednostki transportu intermodalnego tego samego typu oddzielone są od siebie o 0,5 m. Jest to związane z koniecznością zachowania wymaganej wolnej przestrzeni pomiędzy jednostkami ładunkowymi oraz po to, aby nie zahaczały o siebie przy dokonywaniu czynności ładunkowych. Uwzględniono również minimalny promień skrętu dla zestawów drogowych (ciągnik siodłowy z naczepą), tj. 15 m na jednym łuku. Określono ponadto sposoby oraz obszary poruszania się dla środków transportu zewnętrznego oraz wozów z wysięgnikiem teleskopowym typu *Reachstacker* [6, 7, 9–11].

Podsumowanie

Zaprojektowanie lądowej bazy przeładunkowej jest złożonym zadaniem, wymagającym wykonania badań przedprojektowych, dokonania odpowiedniego wyboru technologii oraz układu funkcjonalno-przestrzennego terminala. Należy przy tym polegać na wariantowości rozwiązań i wybrać ten wariant, który najbardziej spełnia postawione wcześniej cele oraz układy wartości. W rzeczywistości wybór rozwiązań w długofalowy sposób rzutuje na funkcjonalność bazy przeładunkowej, a co za tym idzie – na zdolność przepustową. Ważnym czynnikiem jest również zaprojektowanie terminala w taki sposób, aby obsługiwał on bieżącą liczbę jednostek ładunkowych przy średniej i szczytowej wydajności przeładunkowej oraz był przystosowany do zwiększenia ich liczby w ciągu danego okresu czasu.

Bibliografia:

1. Fijałkowski J., *Technologia magazynowania. Wybrane zagadnienia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995.
2. <http://www.kalmarind-northamerica.com> (dostęp z dnia 10.04.2012 r.).
3. <http://www.taylormachineworks.com> (dostęp z dnia 10.04.2012 r.).

4. Jacyna M., *Modelowania i ocena systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
5. Jacyna M. (red.), *System Logistyczny Polski. Uwarunkowania techniczno-technologiczne komodalności transportu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.
6. Jakubowski L., *Technologia prac ładunkowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
7. Kemme N., *Design and Operation of Automated Container Storage Systems*, Springer, 2013.
8. Kwaśniewski S., Nowakowski T., Zając M., *Transport intermodalny w sieciach logistycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
9. Love D., *Intermodal Freight Transport*, Elsevier, 2005.
10. Stokłosa J., *Transport intermodalny. Technologia i organizacja*, Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji, Lublin 2011.
11. Towpik K., *Infrastruktura transportu kolejowego*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2009

Autorzy:

prof. nadzw. dr hab. inż. **Mirosław Nader** – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Podstaw Budowy Urządzeń Transportowych
mgr inż. **Arkadiusz Kostrzewski** – doktorant, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

Elementary foundations of the structure of procedure for design centre handling for the intermodal transport

The article presents the elementary foundations necessary for designing rail-road transshipment base for the intermodal transport. There are made general characteristics of the container terminal, the structure of the flow of unit loads supported by the container terminal and presents the analytical design procedure for transshipment base based on the design task. Also presented spatial-functional diagram for the proposed transshipment terminal, based on the assumption and on the basis of the analytical calculations.