

# Koordinacja cyfrowa w zarządzaniu interakcjami pomiędzy uczestnikami rynku w transporcie multimodalnym

## Digital coordination in managing interactions between market participants in multimodal transport



**Tomasz Jaworski**

*Mgr*

*Ośrodek Przetwarzania Informacji  
Państwowy Instytut*

*tomasz.jaworski@opi.org.pl*

**Streszczenie:** Transport multimodalny na świecie stale rośnie (w 2021 globalnie przewieziono ok. 815,6 mln TEU), podobne tendencje widać w Europie i Polsce. Kluczowym wyzwaniem jest koordynacja działań wielu uczestników rynku, którzy używają własnych, niekompatybilnych systemów IT. Powoduje to wzrost kosztów transakcyjnych (R. Coase), związanych z negocjacjami, niejednorodną dokumentacją i opóźnieniami. Rozwiązaniem jest cyfrowa standaryzacja procesów i wdrożenie modeli Freight as a Service (FaaS), gdzie przewozy są traktowane jako kompleksowa usługa Just-in-Time, a systemy TOS (Terminal Operating System) umożliwiają automatyzację i integrację danych. Koordinacja pracy przeładunkowej terminala w Antwerpii – oparta na cyfrowym bliźniaku portu, blockchainie oraz standardach danych – jest przykładem skutecznej redukcji kosztów transakcyjnych i wzorem do zastosowania w Polsce.

**Słowa kluczowe:** *Transport multimodalny; Koordinacja cyfrowa; TOS; Przewozy ładunków jako usługa (ang. Freight as a Service)*

**Abstract:** Multimodal transport continues to grow globally, reaching approximately 815.6 million TEU transported in 2021, with similar trends observed in Europe and Poland. A key challenge is coordinating the actions of multiple market participants who operate their own incompatible IT systems. This leads to increased transaction costs (R. Coase), associated with negotiations, inconsistent documentation, and delays. The proposed solution is the digital standardization of processes and implementation of the Freight as a Service (FaaS) model, where freight transport is managed as a comprehensive Just-in-Time service. Terminal Operating Systems (TOS) enable automation and data integration within this framework. The coordination of terminal handling operations in Antwerp—based on the port's digital twin, blockchain, and data standards—demonstrates effective transaction cost reduction and serves as a model for implementation in Poland.

**Keywords:** *Multimodal transport; Digital coordination; Terminal Operating System (TOS); Freight as a Service (FaaS)*

Według danych UNCTAD, globalne przewozy kontenerowe w 2021 r. wyniosły ok. 815,6 mln TEU (wzrost o 6,6% względem 2020) jest to wciąż dominujący segment w transporcie morskim ładunków drobnicowych. Prognozy na lata 2022–2023 (publikowane w końcu 2022 r.) wskazują na spowolnienie dynamiki, lecz tendencją nadal rosnącą (ok. 2–3% rocznie w kolejnych latach, w zależności od czynników makroekonomicznych). Podobnie w Europie, według UIRR (raport Union Internationale pour le transport combiné Rail-Route z 2022 r.), transport kombinowany (głównie kolej–droga) na naszym kontynencie wykazywał stabilny wzrost w latach 2019–2021, pomimo zakłóceń łań-

cuchów dostaw w czasie pandemii. Eurostat w statystykach kolejowych i drogowych również wskazuje wzrost wolumenu przewozów kontenerowych, szczególnie w korytarzach północ-południe i wschód-zachód w UE. Tendencje globalne i europejskie znajdują także odzwierciedlenie w Polsce. Według raportów UTK obserwowany jest stały wzrost przewozów intermodalnych (głównie kontenerów) mierzonych w TEU oraz w masie. Według raportu "Przewozy intermodalne w Polsce w 2022 r. masa ładunków w przewozach intermodalnych w 2022 r. sięgnęła ponad 29 mln ton (wzrost o kilka procent rdr). W przeliczeniu na TEU obsłużono blisko 3 mln TEU (również wzrost rok do roku, po-

mimo zawirowań w globalnym łańcuchu dostaw). Także GUS w danych za 2021/2022 rok potwierdza, że intermodal rozwija się szybciej niż ogólny rynek przewozów towarowych kolejną, stanowiąc coraz większy udział w strukturze transportu kolejowego.

Wraz ze wzrostem transportu multimodalnego (kolejowo–drogowy, morski–kolejowy–drogowy lub inne kombinacje) w wymianę handlową angażuje wiele podmiotów: operatorów terminali, przewoźników kolejowych i drogowych, armatorów, spedycytorów, zarządców infrastruktury czy służby celne. Każdy z nich realizuje oddzielne procesy i korzysta z własnych systemów IT w celu automatyzacji procesów, uzyskania

efektywności oraz ze względu na konieczność zarządzania dużymi zbiorami danych operacyjnych.

Z perspektywy teorii kosztów transakcyjnych Ronalda Coase'a (nagroda Nobla w 1991 roku) wielość uczestników rynku i brak spójnej wymiany informacji generują znaczące koszty administracyjne, organizacyjne oraz ryzyko błędów. Koszty te wynikają m.in. z:

1. Potrzeby negocjacji i uzgadniania warunków (np. terminów załadunku, rozładunku, przydziału zasobów) między licznymi partnerami,
2. Konieczności uzgadniania niejednorodnych formatów danych, procedur i dokumentacji,
3. Ryzyka opóźnień i niepewności (np. opóźnień pociągów, wydłużenia obsługi w terminalu),
4. Braku przejrzystości kosztów oraz bieżącej informacji o dostępnych zasobach (dźwigi, reachstackery, wagony, ciężarówki).

Według Coase'a wysokie koszty transakcyjne mogą skutkować tym, że część operacji logistycznych, zamiast być koordynowana rynkowo (z udziałem wielu niezależnych podmiotów), bywa przenoszona „do wewnątrz” dużych korporacji, integrujących poszczególne ogniwa łańcucha (np. przejmowanie terminali przez operatorów). W transporcie multimodalnym skala koordynacji jest jednak na tyle duża, że nawet w przypadku integracji kapitałowej nie rozwiązuje się w pełni problemu rozdrobnienia informacyjnego.

Stąd potrzeba spójnego modelu danych i wspólnych standardów wymiany informacji, który ograniczy uciążliwość na styku różnych organizacji. Poprzez automatyzację i standaryzowanie procesów (np. rezerwacji slotów, awizacji kontenerów, monitorowania opóźnień) można znacząco zredukować koszty transakcyjne, o których pisał Coase, a tym samym poprawić efektywność i konkurencyjność usług transportu multimodalnego.

Coraz częściej mówi się o mode-

lu FaaS (przewozy ładunków jako usługa, ang. Freight as a Service) w którym infrastruktura liniowa i punktowa oraz model organizacyjny (tak naprawdę system systemów tj. organizacji - uczestników rynku) jest czarną skrzynką dla popytu i podaży na usługi przewozu ładunków. Dodatkowym wymaganie dla równoważenia popytu i podaży jest wymaganie dokładnej koordynacji w czasie (ang. JIT, just-in-time).

Model FaaS traktuje przewozy ładunków jako zintegrowaną usługę, w której cały transport (infrastruktura liniowa, terminale, organizacja wielu przewoźników) działa jak „czarna skrzynka” nieinteresująca dla zleceniodawcy. Z perspektywy klienta (nadawcy/odbiorcy ładunku) kluczowe są parametry (czas, cena, niezawodność), a nie konkretne trasy czy środki transportu. To operator FaaS, korzystając z danych o dostępnych zasobach i harmonogramach, wybiera optymalną kombinację (np. kolej-droga), by dostarczyć ładunek dokładnie w terminie (just in time). Dzięki temu klienci uzyskują uproszczone, „jednoetapowe” zamówienie usługi, a w tle działa sieć przewoźników i terminali współpracujących w standardach wymiany danych, co znacząco obniża koszty transakcyjne i ułatwia sprawną, terminową realizację przewozu. W transporcie kolejowym (w tym także w ujęciu

multimodalnym) istnieje szereg organizacji jak UIC (Union Internationale des Chemins de fer) czy OSJD (Organizacja Współpracy Kolei), w ramach których często kształtuje się model organizacyjny przewozów, w tym wielostronne umowy i procedury wymiany informacji między operatorami kolejowymi w różnych krajach. Istnieje też wiele modeli teoretycznych i standardów, które opisują zarówno wymianę danych jak i interoperacyjność (TAF TSI, systemy UIC), organizację przewozów (synchronodalność, modele OR/MS). Dla firm i instytucji kluczowe są też ramy unijne (jak SHIF2RAIL) oraz krajowe implementacje (np. wdrożenia TAF/TAP TSI), które przekładają się na realne wdrożenia w logistyce kolejowej. W ramach unijnych programów (np. Horyzont 2020, SHIF2RAIL) prowadzone są prace nad koncepcyjnymi modelami dla kolei przyszłości, w tym cyfryzacją i integracją transportu towarowego (kolej-droga-porty). Powstają modele referencyjne do zarządzania przepustowością, planowania rozkładów, systemów monitoringu pociągów w czasie rzeczywistym i platform B2B do obsługi łańcucha dostaw. A także projekty te wypracowują prototypowe rozwiązania i opisy architektur IT, które mogą posłużyć jako wzorce wdrożeń w systemach przewozu ładunków w modelu usługi (Freight as a Service).

**Tab. 1.** Porównanie wpływu makroczynników na wyniki krajowego przewoźnika towarowego PKP Cargo

	Pandemia COVID-19 (2019/2020)	Wojna na Ukrainie (od 2022)
Okres występowania	Koniec 2019 i cały 2020 – gwałtowne ograniczenia i lockdowny	Od lutego 2022 do chwili obecnej (trwające skutki)
Kierunek zmian (praca przewozowa, masa ładunków)	Spadek pracy przewozowej PKP Cargo w 2020 r. o kilkanaście procent (wg. UTK, PKP Cargo). Ogólnie niższy popyt na transport kolejowy towarów wskutek spadku aktywności gospodarczej.	Wzrost przewozów niektórych surowców (zwłaszcza węgla), zboża z Ukrainy, choć nastąpił też spadek ładunków z Rosji/Białorusi (sankcje). - Bilans: wzrost masy ładunków w wybranych segmentach.
Najbardziej dotknięte segmenty ładunków	Przewozy w segmencie przemysłowym (np. hutnictwo, automotive) – zamknięcia fabryk, mniejszy eksport. Spadek ruchu kontenerowego w I poł. 2020 (zakłócone łańcuchy dostaw).	Ograniczenie przewozów ładunków z/do Rosji, Białorusi (sankcje), ale wzrost przewozu węgla, zbóż i innych surowców dla Ukrainy / z Ukrainy.
Czynniki pozytywne/ „rekompensujące”	Brak wyraźnych czynników pozytywnych, raczej ogólny spadek popytu. Niektóre segmenty (np. chemia, branża spożywcza) utrzymały stabilność.	Przekierowanie eksportu z Ukrainy przez Polskę (zboża, inne towary), wzrost importu węgla morskiego i dalszy rozładunek kolejną w głąb kraju.
Sumaryczny bilans	Ogólny spadek przewozów kolejowych w 2020 r. (ok. 14–17% w PKP Cargo). Po 2021 r. nastąpiło odbicie, ale trwała jeszcze niestabilność rynku.	Przesunięcia w strukturze ładunków: silny wzrost surowców energetycznych i zbóż. Według UTK – łącznie wyższa masa towarów w niektórych kwartałach 2022 vs 2021.
Źródła danych	Raporty UTK: „Przewozy towarowe 2020”, „Transport kolejowy w 2020 r.” Raporty PKP Cargo za 2020 r. Publikacje GUS nt. transportu (2020/2021).	Raporty UTK kwartalne, „Transport kolejowy 2022 r.” Raporty PKP Cargo (2022–2023) GUS: dane o imporcie węgla, eksporcie zbóż itd.

Te rozważania teoretyczne warto na koniec zestawić z konkretnym przykładem praktycznym porównując wpływ dwóch dużych makroczynników jakimi są pandemia covid-19 oraz wojna na Ukrainie na wyniki krajowego przewoźnika towarowego PKP Cargo (tab. 1).

Podsumowując: pandemia (2020) spowodowała gwałtowny spadek przewozów, który doprowadził do znaczącej straty netto PKP Cargo. Okres po pandemii (2021) to częściowe odbicie popytu, lecz wyniki nadal słabsze niż sprzed 2020. Wojna na Ukrainie (od 2022) spowodowała wzrost przewozów węgla i niektórych towarów z Ukrainy, co poprawiło przychody w pewnych segmentach. Równocześnie wojna oznaczała wyższe koszty i zerwanie części wcześniejszych łańcuchów, więc wpływ na finalny wynik finansowy jest mieszany – widoczne wzrosty przychodów w segmentach surowcowych, ale wciąż utrzymują się spore koszty stałe i wahania rentowności.

Paradoksalnie wzrost popytu na transport surowców energetycznych i zbóż wynikający z wojny na Ukrainie miał negatywny wpływ na wynik PKP Cargo, większy niż spadek popytu wynikający z ograniczeń pandemii Covid-19. Jest to ewidentny paradoks.

Eleganckim wyjaśnieniem tego paradoksu jest teoria kosztów transakcyjnych Ronalda Coase. Jeśli przyjmujemy, że wraz ze wzrostem popytu na transport koszty transakcyjne również wzrosły to paradoks da się racjonalnie wytłumaczyć. Oznaczałoby to, że wciąż niska jest standaryzacja w zakresie zawierania umów transportu towarów i/lub rynek nie jest wystarczająco konkurencyjny. Ta druga opcja nie jest prawdziwa, ponieważ ostatecznie popyt został w jakiś sposób zaspokojony. Zatem problemem jest efektywna wymiana informacji. Informatyka przekłada się więc wprost na pieniądze.

System TOS (Terminal Operating System) stanowi kluczowy element w redukcji kosztów transakcyjnych, o których pisał Ronald Coase. W sytuacji, gdy popyt na transport rośnie,

tradycyjne procesy manualne i brak standaryzacji przy zawieraniu umów generują wysokie koszty transakcyjne. TOS, dzięki automatyzacji i standaryzacji operacji terminalowych, umożliwia szybki i precyzyjny przepływ informacji między wszystkimi uczestnikami łańcucha dostaw.

W ten sposób, implementacja TOS:

- Redukuje niepewność i opóźnienia wynikające z ręcznego przetwarzania danych,
- Umożliwia efektywne zarządzanie przeładunkami, alokację zasobów i awizację ruchu,
- Przyczynia się do obniżenia kosztów transakcyjnych, co odpowiada wyjaśnieniu paradoksu przedstawionego przez teorię Coase'a.

Podsumowując, choć popyt na transport zostaje w końcu zaspokojony, to nadal kluczowym wskaźnikiem jest czas bilansowania transakcji - wysoki koszt transakcyjny wskazuje na niedostateczną standaryzację i nieefektywną wymianę informacji – tu właśnie rola TOS przekłada się bezpośrednio na oszczędności finansowe.

Poniżej przedstawiono założenia, opis funkcjonalności oprogramowania terminalowego z podziałem na kluczowe obszary działania:

## a) BRAMA:

- Rejestracja wejścia/wyjścia „GATE IN/ GATE OUT” ( kolej/samochód),
- Kontrola i weryfikacja awizacji (kolej/samochód),
- Sprawdzanie statusu i lokalizacji kontenera na modelu 3D terminala,
- Generowanie protokołów Interchange,
- Generowanie protokołów sprawdzania pociągów ( import/export),
- Możliwość załączenia plików do historii operacji ( np. zdjęcia uszkodzeń, skany dokumentów),
- Dostęp do planu załadunku z możliwością wydruku i edycji,
- Możliwość wygenerowania zlecenia dla operatora na przełożenie kontenera z miejsca na miejsce( np. na potrzeby oględzin, bądź

napraw),

- Wykorzystanie, integracja z posiadaną już aplikacją EURAD W.

## b) ZARZĄDZANIE OPERACYJNE

- Wszystkie funkcje modułu BRAMA
- Geolokalizacja jednostki transportowej- wskazywanie dokładnego ulokowania jednostki transportowej, wirtualny model placu z pełnym dostępem dla uprawnionych użytkowników,
- Sugerowanie optymalnej pozycji dla kontenera na placu, algorytmy optymalizacyjne typu: najkrótsza ścieżka, termin odbioru, kolejność załadunku, stała adresacja, uwzględnianie harmonogramów, priorytetów, FIFO, LIFO oraz ograniczanie zbędnych ruchów ( dot. wydawania kontenerów zakopanych w stosie),
- Raportowanie klientów- pełna automatyzacja, transfer danych z/ do klienta (EDI, API, e-mail),
- Rejestracja pracy dźwigów ( położenie, tankowanie, trasa, operator, czas pracy, ilość przeładunków),
- Historia operacji oraz wszelkich zmian dokonanych na danych z przypisaniem użytkownika i daty,
- Możliwość „blokady” konkretnej jednostki przed przyjęciem/wydaniem,
- Przypisywanie statusów: blokada, uszkodzony, w naprawie, przed odprawą/po odprawie ( integracja z AC)
- Przypisywanie klienta pod kontener,
- Możliwość dodawania komentarzy oraz generowania powiadomień dla grup użytkowników,
- Import/eksport danych (np. excel, pdf-OCR),
- Tworzenie, edycja list, załadunkowych z uwzględnieniem dopuszczalnych nacisków na oś wagonu kolejowego,
- Tworzenie, edycja awizacji kolejowych,
- Generowanie listów drogowych i kolejowych,
- Generowanie raportów statystycznych na podstawie kryte-

riów,

- Integracja danych z systemem księgowym.

c) **REACHSTACKER/OPERATOR** – urządzenie mobilne (tablet/komputer):

- Odbiór, akceptacja zleceń przeładunkowych ( skąd, dokąd)
- Odbiór list załadunkowych/ rozładunkowych,
- Wizualizacja placu, podgląd graficzny, wyszukiwanie kontenerów,
- Wskazanie miejsca dla podjętej jednostki,
- Możliwość ręcznej adresacji położenia jednostki transportowej,
- Proste zgłaszanie uszkodzeń jednostek transportowych- formularz standardowych usterek,
- Obowiązkowe imienne logowanie, ewidencja motogodzin, poboru paliwa z dystrybutora, zgłaszanie awarii.

d) **BOOKING** - moduł WWW dla Klientów:

- Indywidualne konto dla każdego klienta ( możliwy import danych z systemu księgowego),
- Awizowanie złożeń/ podjęć jednostek z/ na samochody,
- Awizowanie pociągów importowych,
- Dostęp do udostępnionych danych w czasie rzeczywistym,
- Możliwość dodawania załączników
- Podgląd aktualnej oferty/umowy oraz dokumentów księgowych.

Istotnym elementem jest także odpowiednie rozwiązanie technologiczne niezbędne do sprawnego funkcjonowania systemu lokalizacji składowanych jednostek transportowych na terminalu. W tym kontekście warto odnotować przydatność istniejącego modelu wyliczania zdolności przeładunkowych; terminala intermodalnego, opracowanego przez Dyrektora Biura Logistyki PKP S.A. Centrala p. H. Zielaskiewicza (por. Przegląd Komunikacyjny 3/2019 „Ogólne założenia metodyki wyliczania możliwości przeładunkowych terminala intermo-

dalnego – model wyliczeniowy”), w kontekście optymalizacji pracy terminali. Model ten dostarcza użytecznej taksonomii, która pozwala włączyć infrastrukturę punktową w ramy koordynacji cyfrowej w transporcie multimodalnym w Polsce. Kluczowe elementy modelu to:

1. **Główne składowe infrastruktury terminala**

- Tory: Określają „sztywne” dane, takie jak liczba torów, ich długość i efektywność wykorzystania – to element, który wymaga inwestycji, by zmienić jego parametry.
- Powierzchnia placów i terminalu: Obejmuje stałe dane dotyczące dostępnej przestrzeni do składowania i przeładunku, przy czym zmienne mogą obejmować m.in. średni czas składowania czy wykorzystanie powierzchni w zależności od bieżących potrzeb.
- Urządzenia przeładunkowe: To zarówno sztywne (rodzaj i liczba urządzeń, np. suwnice, samojezdne urządzenia przeładunkowe), jak i zmienne czynniki (np. średni czas operacji, przerwy technologiczne), które można optymalizować przez poprawę organizacji pracy.

2. **Dane sztywne vs. dane skalowalne/zmienne**

- Dane sztywne stanowią elementy, które można zmienić jedynie poprzez inwestycje (np. rozbudowa torów, zakup nowych urządzeń czy powiększenie placu).
- Dane skalowalne i zmienne to czynniki operacyjne, na które wpływ może mieć bieżące zarządzanie – np. czas oczekiwania, organizacja pracy terminala, struktura obsługiwanych usług czy negocjacje warunków handlowych.

3. **Koszty**

- Koszty stałe terminala to między innymi: ochrona terminala, podatki za nieruchomości, oświetlenie, badania stanu technicznego torów (występują one niezależnie

od liczby obsługiwanych jednostek intermodalnych), koszty odpisów amortyzacyjnych.

- Koszty zmienne, zmieniają się wraz z wielkością wykonywanej pracy na terminalu. Obejmują one m.in.: ilości zużywanego paliwa do urządzeń przeładunkowych, zatrudnienie dodatkowych pracowników, wynagrodzenia za pracę w godzinach nadliczbowych, koszty napraw i przeglądów (uzależnione od motogodzin pracy) urządzeń przeładunkowych.
- W praktyce należy także uwzględnić koszty dodatkowe czyli m.in.: odpisy amortyzacyjne, oprocentowanie kredytów bankowych, ubezpieczenia urządzeń od odpowiedzialności za ładunek.
- Do pełnej analizy kosztów pracy na terminalu należy także dodać koszty awarii lub nieprzewidzianych zdarzeń, np. zsuniecie na skutek silnego podmuchu wiatru kontenera z ostatniej warstwy. Na takie sytuacje operator posiada najczęściej ubezpieczenie, niemniej występuje zawsze tzw. udział własny

Model optymalizacji projektowania terminali intermodalnych H. Zielaskiewicza stanowi solidną podstawę do wdrożenia koordynacji cyfrowej w transporcie multimodalnym. Jego główne składowe – tory, powierzchnia placów oraz urządzenia przeładunkowe – definiują strukturę terminala, gdzie dane sztywne (odnoszące się do elementów infrastruktury wymagających inwestycji, takich jak liczba torów czy typ i ilość urządzeń przeładunkowych) są uzupełniane przez dane skalowalne i zmienne (obejmujące czynniki operacyjne, takie jak średni czas obsługi, efektywność wykorzystania powierzchni czy dynamika organizacji pracy). Taka taksonomia stanowi ramy, które mogą być wykorzystane w procesie transformacji cyfrowej, integrując różnorodne systemy informatyczne, w tym Terminal Operating System (TOS).

Wdrożenie TOS w terminalu umożliwia automatyzację i standaryzację

operacji, co przekłada się na precyzyjną synchronizację przepływów towarowych w czasie rzeczywistym, zgodnie z zasadą Just-In-Time. Dzięki integracji danych sztywnych z dynamicznymi zmiennymi system umożliwia efektywne monitorowanie i zarządzanie przepustowością, co jest kluczowe dla optymalizacji pracy terminala. Z perspektywy teorii kosztów transakcyjnych Ronalda Coase'a, taka integracja oraz standaryzacja wymiany informacji przyczynia się do redukcji kosztów transakcyjnych poprzez zmniejszenie niepewności oraz ograniczenie kosztownych negocjacji i opóźnień. Efektywna koordynacja cyfrowa, umożliwiająca płynną wymianę danych między operatorami terminali, przewoźnikami i innymi interesariuszami, stanowi fundament do zarządzania przewozami ładunków, co przekłada się na poprawę wyników finansowych i konkurencyjności całego systemu transportu multimodalnego.

Odpowiednie zaprojektowanie terminala stanowi fundament dla jego późniejszej efektywnej eksploatacji. Inwestycje w infrastrukturę terminalową są kosztowne, a proces projektowania, uwzględniający zakładane zdolności przeładunkowe, determinuje późniejszą wydajność operacyjną oraz okres zwrotu poniesionych nakładów. Przy opracowywaniu projektu terminala należy precyzyjnie określić zarówno elementy stałe (takie jak infrastruktura torowa, powierzchnia placów oraz urządzenia przeładunkowe), które wymagają inwestycji, jak i zmiennie parametry operacyjne, które można optymalizować w trakcie eksploatacji. Wiele decyzji podjętych na etapie projektowania będzie determinować zarówno późniejsze wieloletnie możliwości przeładunkowe terminala, jego sprawność operacyjną w obsłudze potoków ładunków a ostatecznie efekty ekonomiczne tego elementu infrastruktury punktowej.

Model wyliczania zdolności przeładunkowych, który dzieli dane na „sztywne” i „skalowalne/zmienne”, umożliwia stworzenie precyzyjnych

prognoz przepływów ładunkowych, identyfikację potencjalnych „wąskich gardeł” oraz późniejsze wdrażanie systemów zarządzania, takich jak Terminal Operating System (TOS). W efekcie, odpowiednio zaprojektowany terminal nie tylko spełnia oczekiwania klientów pod względem terminowości i jakości usług, ale również redukuje koszty transakcyjne wynikające z nieefektywnej wymiany informacji. Takie podejście, zgodne z zasadami nauk o zarządzaniu i jakości, pozwala na lepszą koordynację działań, wszystkich uczestników łańcucha dostaw w systemie transportu multimodalnego.

Dobrym podsumowaniem przedstawionych tutaj rozważań jest przykład koordynacji cyfrowej w jednym z największych terminali multimodalnych w Antwerpii. Transformacja cyfrowa terminala została zrealizowana przez firmę Dell.

Zajmujący obszar około 120 km<sup>2</sup> Port w Antwerpii po 9 miesiącach ubiegłego roku obsłużył 10 mln kontenerów, notując wzrost o 6.8% r/r. Wdrożenie cyfrowego bliźniaka (digital twin) portu – platformy łączącej ponad 500 kamer, sensory IoT oraz kilkanaście rozproszonych baz danych (GIS, finansowe, nawigacyjne) – pozwoliło zarządzającym portem i terminalem uzyskać tzw. świadomość sytuacyjną w czasie rzeczywistym, skracając procesy decyzyjne i ograniczając niepewność operacyjną. Kluczowym elementem wdrożenia jest wykorzystanie technologii blockchain, która umożliwiła standaryzację wymiany danych i metadanych pomiędzy interesariuszami rynku (przewoźnikami, spedytorami, terminalami). Blockchain stworzył wiarygodny mikroekosystem informacji powiązanych z każdym kontenerem, eliminując zbędne procesy manualne i automatyzując przepływ danych, co zgodnie z teorią kosztów transakcyjnych R. Coase'a bezpośrednio obniżyło koszty transakcyjne i umożliwiło wzrost pracy przeładunkowej i efektywności.

Istotnym aspektem tego rozwiązania jest także integracja danych

portowych z systemem cyfrowego bliźniaka miasta Antwerpii, obejmującego dane o ruchu drogowym, jakości powietrza oraz hałasie, co pozwala na systemową koordynację procesów miejskich i portowych. Port jest 6x większy od miasta, którego infrastruktura mogłaby być wąskim gardłem. Dzięki koordynacji cyfrowej możliwe stało się dynamiczne zarządzanie zdolnościami przeładunkowymi, zwiększenie przewidywalności dostaw oraz optymalizacja całego łańcucha multimodalnego. Transformacja cyfrowa portu w Antwerpii pozwoliła znacznie poprawić efektywność i elastyczność operacyjną terminala oraz zredukować koszty związane z obsługą administracyjną i logistyczną operacji przewozowych. Opisany przykład pokazuje, że kluczem do wysokiej wydajności w transporcie multi-modalnym jest zastosowanie technologii cyfrowych opartych na standardach wymiany danych i automatyzacji procesów, co może być wzorem dla analogicznych wdrożeń w Polsce.

Przykład portu w Antwerpii pokazuje, że transformacja cyfrowa nie ogranicza się do wdrażania narzędzi informatycznych – jest przede wszystkim procesem systemowym, który wymaga: wspólnych modeli danych, wysokiego poziomu interoperacyjności oraz koordynacji interesariuszy. To pozwala nie tylko na efektywne zarządzanie procesami wewnątrz organizacji, ale także na zmniejszenie kosztów transakcyjnych w całym ekosystemie transportowym. W perspektywie krajowej oznacza to, że Polska – dążąc do poprawy efektywności przewozów multimodalnych – powinna nie tylko inwestować w infrastrukturę, ale również rozwijać krajowy model danych i platformę koordynacji cyfrowej, wzorując się na systemowym podejściu wdrożonym w Antwerpii. ◀