

# PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

# RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

Nr 382

## Strategie i logistyka w warunkach kryzysu

Redaktorzy naukowi  
Jarosław Witkowski  
Agnieszka Skowrońska



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu  
Wrocław 2015

Redaktor Wydawnictwa: Joanna Świrska-Korłub

Redakcja techniczna: Barbara Łopusiewicz

Korekta: Barbara Cibis

Łamanie: Adam Dębski

Projekt okładki: Beata Dębska

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania  
znajdują się na stronie internetowej Wydawnictwa  
[www.pracnaukowe.ue.wroc.pl](http://www.pracnaukowe.ue.wroc.pl)  
[www.wydawnictwo.ue.wroc.p](http://www.wydawnictwo.ue.wroc.p)

Publikacja udostępniona na licencji Creative Commons  
Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 3.0 Polska  
(CC BY-NC-ND 3.0 PL)



© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu  
Wrocław 2015

**ISSN 1899-3192**  
**e-ISSN 2392-0041**

**ISBN 978-83-7695-483-7**

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Zamówienia na opublikowane prace należy składać na adres:  
Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu  
tel./fax 71 36 80 602; e-mail:[econbook@ue.wroc.pl](mailto:econbook@ue.wroc.pl)  
[www.ksiegarnia.ue.wroc.pl](http://www.ksiegarnia.ue.wroc.pl)

Druk i oprawa: EXPOL

# Spis treści

Wstęp.....	11
------------	----

---

## Część 1. Realizacja strategii logistycznych przedsiębiorstw i łańcuchów dostaw pod presją turbulentnego otoczenia

---

<b>Mirosław Chaberek, Anna Truskawska-Grzezińska:</b> Logistyczne aspekty obrotu handlowego w sytuacjach kryzysowych gospodarki globalnej..	15
<b>Katarzyna Cheba:</b> Perspektywy rozwoju współczesnej gospodarki światowej – analiza porównawcza gospodarki Polski i Japonii .....	29
<b>Mariusz Jedliński:</b> Logistyczna optyka w biznesie – panaceum pewności wobec ekonomii niepewności? .....	41
<b>Andrzej Jezierski:</b> Konkurowanie logistyką w warunkach kryzysu w świetle teorii organizacji branży.....	53
<b>Sylvia Konecka:</b> Determinanty ryzyka zakłóceń w łańcuchu dostaw .....	66
<b>Włodzimierz Kramarz, Marzena Kramarz:</b> Determinanty sieciowości łańcucha dostaw.....	80
<b>Krzysztof Rutkowski:</b> Rekonfiguracja międzynarodowych łańcuchów dostaw jako narzędzie zapobiegania zagrożeniom kryzysowym – szansa dla Polski.....	92
<b>Izabella Szudrowicz:</b> Rola kart okresowej oceny dostawców w budowaniu relacji na rynku B2B – analiza porównawcza zmian w czasie na przykładzie przedsiębiorstwa produkcyjnego .....	105
<b>Maciej Urbaniak:</b> Rola wstępnej oceny dostawców w budowaniu relacji pomiędzy przedsiębiorstwami na rynku B2B.....	117
<b>Robert Walasek:</b> Partnerstwo logistyczne w zarządzaniu relacjami z klientem .....	126
<b>Grażyna Wieteska:</b> Skuteczne reagowanie na zakłócenia – elastyczny łańcuch dostaw .....	143
<b>Jarosław Witkowski:</b> Logistyka w warunkach kryzysu ekonomicznego i w innych sytuacjach kryzysowych.....	154

---

## Część 2. Stan i tendencje rozwoju usług transportu, spedycji i logistyki w warunkach spowolnienia gospodarczego

---

<b>Andrzej S. Grzelakowski:</b> Strategie logistyczne morskich globalnych operatorów kontenerowych w warunkach światowego kryzysu na rynkach towarowych i frachtowych.....	169
--	-----

<b>Paweł Hanczar:</b> Modele decyzyjne w planowaniu cyrkulacji lokomotywy w kolejowym transporcie towarowym .....	183
<b>Magdalena Klopott:</b> Tendencje na rynku morskich przewozów ładunków chłodzonych i ich wpływ na chłodnicze łańcuchy dostaw.....	195
<b>Izabela Kotowska:</b> Przeobrażenia w funkcjonowaniu żeglugi kontenerowej w obliczu spowolnienia gospodarczego .....	205
<b>Marta Mańkowska:</b> Stan i perspektywy rozwoju rynku międzynarodowych przewozów pasażerskich w relacjach z Polską w warunkach spowolnienia gospodarczego .....	221
<b>Agnieszka Perzyńska:</b> Transport lądowy i wodny w dobie kryzysu .....	238
<b>Ilona Urbanyi-Popiołek:</b> Zarządzanie gestią transportową – dobre praktyki	249

---

### **Część 3. Rola nowoczesnych metod zarządzania logistycznego w procesie redukcji kosztów i poprawy jakości obsługi klientów**

---

<b>Lech A. Bukowski, Jerzy Feliks:</b> Ocena wartości użytkowej informacji logistycznych w warunkach niepewności oraz turbulentnych zmian otoczenia.....	265
<b>Przemysław Dulewicz:</b> CSR w przedsiębiorstwach logistycznych w warunkach spowolnienia gospodarczego .....	280
<b>Piotr Hanus, Krzysztof Zowada:</b> Narzędzia IT w logistycznych procesach decyzyjnych małych i średnich przedsiębiorstw .....	290
<b>Katarzyna Huk:</b> Programy zarządzania talentami a strategię przedsiębiorstwa w dobie kryzysu .....	305
<b>Agnieszka Jagoda:</b> Elastyczność funkcjonalna jako czynnik przewagi konkurencyjnej małych i średnich przedsiębiorstw .....	316
<b>Michał Jakubiak:</b> Wpływ metod składowania produktów na poprawę efektywności węzłów logistycznych .....	324
<b>Iga Kott:</b> Wykorzystanie systemów informatycznych w procesach obsługi klienta w centrach logistycznych w Polsce .....	338
<b>Aleksandra Laskowska-Rutkowska:</b> Blaski i cienie offshoringu .....	350
<b>Rafał Matwiejczuk:</b> Logistyczne potencjały sukcesu w tworzeniu przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa .....	363
<b>Sebastian Saniuk, Katarzyna Cheba, Katarzyna Szopik-Depczyńska:</b> Aspekty planowania sieci produkcyjnych małych i średnich przedsiębiorstw funkcjonujących w klastrach.....	376
<b>Ewa Staniewska:</b> Czynnik ludzki w zarządzaniu bezpieczeństwem informacyjnym badanych przedsiębiorstw.....	389
<b>Katarzyna Szopik-Depczyńska, Arkadiusz Świadek:</b> Odbiorcy a aktywność innowacyjna w przemyśle spożywczym w Polsce .....	401

<b>Natalia Szozda:</b> Kontrola w procesie zarządzania popytem na produkty w łańcuchach dostaw .....	410
<b>Sabina Wyrwich:</b> Koncepcja społecznej odpowiedzialności łańcucha dostaw w warunkach natężenia konkurencji na przykładzie przedsiębiorstwa produkcyjnego .....	429

## Summaries

---

### Part 1. Implementation of logistic strategies of enterprises and supply chains under the pressure of turbulent environment

---

<b>Mirosław Chaberek, Anna Trzuskawska-Grzezińska:</b> Logistic aspects of trade flows in the crisis situations of the global economy .....	28
<b>Katarzyna Cheba:</b> The perspectives of development of modern world industry – the comparative analysis of Poland and Japan industries .....	40
<b>Mariusz Jedliński:</b> Business from the point of view of logistics – panacea of certainty vs. economics of uncertainty? .....	52
<b>Andrzej Jeziński:</b> Competing by means of logistics in crisis conditions in the light of the theory of industry organization.....	65
<b>Sylwia Konecka:</b> Determinants of the supply chain disruption risk.....	79
<b>Włodzimierz Kramarz, Marzena Kramarz:</b> Determinants of supply chain networking .....	91
<b>Krzysztof Rutkowski:</b> International supply chains restructuring as a key tool of risk avoiding – a chance for Poland.....	104
<b>Izabella Szudrowicz:</b> Role of suppliers scorecards in building relationships in the B2B market – comparative analysis of changes in time on the example of a production company.....	116
<b>Maciej Urbaniak:</b> The role of the initial evaluation of suppliers in building relationships between companies in the B2B market.....	125
<b>Robert Walasek:</b> Logistic partnership in the management of relations with client .....	142
<b>Grażyna Wieteska:</b> Effective response to disturbances – flexible supply chain.....	152
<b>Jarosław Witkowski:</b> Logistics in economic crisis and urgent crisis situations .....	165

---

## **Part 2. The status and trends in the development of transport services, freight forwarding and logistics in the economic downturn**

---

<b>Andrzej S. Grzelakowski:</b> Logistics strategies of global maritime container operators under the turbulent conditions on commodity and freight markets.....	182
<b>Paweł Hanczar:</b> Decision models in locomotive routing problem in rail freight .....	194
<b>Magdalena Klopott:</b> Trends on refer shipping market and their influence on the cold supply chains.....	204
<b>Izabela Kotowska:</b> Transformations in functioning of container shipping in the face of economic slowdown.....	220
<b>Marta Mańkowska:</b> State and perspectives of development of the international passenger transport market in relations with Poland in the economic downturn conditions.....	237
<b>Agnieszka Perzyńska:</b> Land and water transport in times of crisis .....	248
<b>Ilona Urbanyi-Popiołek:</b> Management of carriage – good practices .....	262

---

## **Part 3. The role of modern logistics management methods in the process of reducing costs and improving the quality of customer service**

---

<b>Lech A. Bukowski, Jerzy Feliks:</b> Evaluation of use value of logistics information under uncertainty and turbulent environment changes.....	279
<b>Przemysław Dulewicz:</b> CSR in logistics companies under economic slowdown .....	289
<b>Piotr Hanus, Krzysztof Zowada:</b> IT tools in logistics decision-making processes of small and medium-sized enterprises.....	304
<b>Katarzyna Huk:</b> Talent management programmes and strategies of enterprises in times of crisis .....	315
<b>Agnieszka Jagoda:</b> Functional flexibility as a factor of competitive advantage of small and medium sized enterprises .....	323
<b>Michał Jakubiak:</b> The influence of the storage policies on the improvement of the logistic hubs effectiveness .....	336
<b>Iga Kott:</b> The use of IT systems in the processes of customer service in logistics centers in Poland .....	349
<b>Aleksandra Laskowska-Rutkowska:</b> Good and bad sides of offshoring .....	362
<b>Rafał Matwiejczuk:</b> Logistics potentials of success influencing business competitive advantage creation .....	375

---

<b>Sebastian Saniuk, Katarzyna Cheba, Katarzyna Szopik-Depczyńska:</b> Network production planning aspects of small and medium enterprises operating in clusters.....	387
<b>Ewa Staniewska:</b> Human factor in information security management of the surveyed companies.....	400
<b>Katarzyna Szopik-Depczyńska, Arkadiusz Świadek:</b> Customers' impact on innovation activity in food industry in Poland.....	409
<b>Natalia Szozda:</b> Control in the demand management process in supply chain.....	428
<b>Sabina Wyrwich:</b> The concept of social responsibility in the supply chain under conditions of intensified competition on the example of production company.....	445

**Paweł Hanczar**

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu  
e-mail: pawel.hanczar@ue.wroc.pl

---

## MODELE DECYZYJNE W PLANOWANIU CYRKULACJI LOKOMOTYWY W KOLEJOWYM TRANSPORCIE TOWAROWYM

---

**Streszczenie:** Promocja przyjaznych dla środowiska środków transportu (Komisja Europejska wspiera działania w zakresie transportu towarowego w sektorze kolejowym) powoduje, że przewoźnicy kolejowi obserwują zwiększenie zróżnicowania realizowanych zleceń transportowych. W warunkach stałego popytu stosowanie tzw. stałych harmonogramów (tj. harmonogramów obowiązujących przez kwartał lub dłużej) pozwala na realizację zleceń transportowych gwarantującą efektywne wykorzystanie zasobów. Obserwowany obecnie wzrost konkurencji i spełnianie specyficznych wymagań klienta powodują, że podejście to staje się nieskuteczne. W ramach zaprezentowanych badań omówiono schemat procesu planowania przewozu towarowych w ruchu kolejowym. Omówiono typy modeli decyzyjnych stosowanych w ramach procesu tworzenia planów, a także przedstawiono wady i zalety ich stosowania. Artykuł kończy prezentacja problemu planowania cyrkulacji lokomotyw i modelu decyzyjnego wykorzystanego do jego rozwiązania.

**Słowa kluczowe:** cyrkulacja lokomotyw, planowanie procesu przewozowego, optymalizacja.

DOI: 10.15611/pn.2015.382.14

### 1. Planowanie procesu przewozowego

Z obserwacji poczynionych podczas współpracy z przedsiębiorstwami realizującymi w Polsce kolejowe przewozy towarowe można postawić tezę, że w większości przypadków przedsiębiorstwa te szczegółowo planują przewozy w horyzoncie nie dłuższym niż jedna doba. W niektórych przedsiębiorstwach nie zostały wyodrębnione działy planowania, a decyzje odnośnie do wykorzystania zasobów podejmowane są na bieżąco przez pracowników dyspozytur. Przedsiębiorstwa prześcigają się w instalowaniu urządzeń do monitorowania ruchu lokomotyw, niestety potencjał zebranych danych nie jest wykorzystany. W konsekwencji ocena efektywności wykorzystania zasobów jest realizowana na podstawie informacji o rzeczywistej realizacji zleceń przewozowych, a stosowanie KPI do oceny planów jest spotykane bardzo rzadko. Przedstawione w dalszej części pracy propozycje mają na celu



rozszerzenie horyzontu planowania szczegółowego w omawianym obszarze do okresu tygodnia, a planowania zgrubnego – do okresu jednego miesiąca. Okres jednego tygodnia jest naturalny i wydaje się najdłuższym możliwym horyzontem planowania, natomiast planowanie zgrubne w horyzontcie jednego miesiąca jest wymuszone kodeksem pracy, który nakłada na pracodawcę obowiązek informowania pracowników o harmonogramie pracy na kolejny miesiąc. Implementacja opisanych w artykule procedur pozwoli na ocenę planów przed ich realizacją oraz wykorzystanie modeli decyzyjnych w planowaniu przewozów w omawianym obszarze.

W ramach operatywnego planowania przewozów towarowych w transporcie kolejowym wyodrębnić należy 3 podstawowe etapy:

- 1) planowanie przepływu wagonów,
- 2) planowanie cyrkulacji lokomotyw,
- 3) planowanie obsad.

W ramach realizacji etapu pierwszego jest tworzony plan przepływu zarówno wagonów próżnych, jak i ładownych. W planie przepływu wagonów muszą zostać uwzględnione w pierwszej kolejności wymagania klientów odnośnie do terminów podstawienia wagonów próżnych do załadunku, serii i typu podstawianego wagonu oraz dostępności wagonów. Czas przejazdu pomiędzy stacją nadania i stacją docelową wynika bezpośrednio z rozkładu jazdy, jakim dysponuje przedsiębiorstwo kolejowe. Wyróżnia się dwa rozkłady jazdy, tj. rozkłady roczne (przejazd jest realizowany okresowo na jednej relacji) oraz rozkłady indywidualne (rozkład jazdy powstaje w celu zrealizowania jednego konkretnego przewozu). W celu uzyskania rozkładu jazdy przedsiębiorstwo kolejowe musi zgłosić taką potrzebę bezpośrednio do zarządcy infrastruktury kolejowej w Polsce, tj. do przedsiębiorstwa Polskie Linie Kolejowe SA.

Plan cyrkulacji lokomotyw określa przydział lokomotyw do wszystkich przesunięć wagonów (zarówno próżnych, jak i ładownych) w takich sposób, aby zasób ten był maksymalnie wykorzystany. Etap ten nazywany jest cyrkulacją lokomotyw, gdyż celem jest takie zaplanowanie przejazdów poszczególnych lokomotyw, aby lokomotywy zawsze realizowały zlecenie przesunięcia wagonów zarówno próżnych, jak i ładownych. Przejazdy samych lokomotyw (bez wagonów), nazywane potocznie luzakami, są realizowane możliwie najrzadziej. Gdy lokomotywa musi zostać przesunięta, a na danej relacji nie ma potrzeby jej wykorzystania, wówczas zostaje ona podłączona do innego pociągu jako ładunek. Na tym etapie nie planuje się dla lokomotyw ruchów manewrowych, które są realizowane w ramach pracy poszczególnych stacji lub bocznicy.

Ostatnim elementem planowania procesu przewozowego jest przypisanie obsady (tj. maszynistów i rewidentów) do zaplanowanych pociągów. Etap ten jest skomplikowany, gdyż z jednej strony planiści muszą uwzględniać przepisy kodeksu pracy, z drugiej natomiast istnieje wiele założeń, które ograniczają możliwość prowadzenia pociągów przez poszczególnych pracowników. Najbardziej proces utrudnia wymóg dopuszczenia pracowników do prowadzenia danej serii lokomotywy

oraz możliwość prowadzenia pociągu na wybranej relacji, określana jako znajomość szlaku. Poziom skomplikowania tego etapu zwiększają także stosowane coraz częściej indywidualne rozkłady jazdy. Rozkład musi zostać zamówiony u zarządcy sieci kolejowej i dopiero po jego otrzymaniu (najczęściej na kilka dni przed wyjazdem pociągu) znane są szczegółowy harmonogram i czas przejazdu.

Jednym z możliwych sposobów planowania procesu przewozowego jest realizowanie opisanych powyżej etapów w przedstawionej kolejności zgodnie z podejściem hierarchicznym, w którym plan wyższego poziomu (plan przepływu wagonów) stanowią ramy dla planów poziomów niższych, tj. cyrkulacji lokomotyw i obsady pociągów. Niestety, duża zmienność parametrów planowania (wielkości zamówień, przeglądy techniczne, czasy przejazdu) oraz wymagania nakładane przez kodeks pracy na pracodawcę, zgodnie z którymi pracownik musi znać plan pracy na przyszły miesiąc kalendarzowy, istotnie komplikują cały proces. Ta sytuacja powoduje, że w praktyce przygotowuje się dwa plany. Pierwszy z nich to zgrubny miesięczny plan obciążeń pracowników, tworzony wyłącznie na potrzeby spełnienia wymagań wynikających z kodeksu pracy, drugi, tworzony raz na tydzień, to plan przepływu wagonów i cyrkulacji lokomotyw. Duża złożoność planów tygodniowych i brak dedykowanych narzędzi powodują, że plan jeszcze przed okresem jego obowiązywania staje się nieaktualny, a plan na koniec tygodniowego horyzontu planowania różni się w ponad 80% (liczba pociągów realizowanych zgodnie z planem, tj. czasy wyjazdu, obsada i lokomotywa zgodne z planem do liczby wszystkich zrealizowanych pociągów).

W świetle przedstawionych rozważań można stwierdzić, że postulowane przez przedsiębiorstwa realizujące towarowe przewozy kolejowe zwiększenie wykorzystania zasobów (lokomotyw i wagonów), postrzegane często jako skrócenie cyklu ich wykorzystania, może być realizowane poprzez poprawę procesu. Szeroko stosowaną techniką, która ze względu na brak odpowiednich narzędzi nie jest wykorzystywana w omawianym obszarze, jest planowanie z horyzontem kroczącym. W sytuacji takiej plany powstawać powinny codziennie i dotyczyć horyzontu planowania o zadanej stałej długości. W każdym dniu plan dla bieżącego okresu jest realizowany, powstaje nowy plan dla ostatniego okresu (nowy dzień w horyzoncie planowani), a plan dotyczący pozostałych dni jest modyfikowany celem dopasowania do zmieniającej się sytuacji. Takie podejście wymaga wspomaganie działu planowania i integracji systemu planistycznego z systemem realizacji przewozów planowania, do czego niezbędne są odpowiednie narzędzia informatyczne.

## 2. Przegląd literatury

W literaturze światowej znaleźć można wiele prac rozważających problem planowania cyrkulacji lokomotyw, określane często jako *locomotive routing problem*, w skrócie LRP, jednak rzadko spotykane są prace, w których rozważa się koniecz-

ność realizacji przeglądów okresowych. Mimo szczegółowego przeglądu literatury polskiej autorowi nie udało się jednak dotrzeć do prac rozważających LRP.

Jednym z pierwszych artykułów przeglądowych na temat LRP jest praca [Cordeau, Toth, Vigo 1998], która zawiera wyczerpującą prezentację istniejących podejść do rozwiązywania tego problemu, jak również wersji samego zagadnienia. Ogólnie stwierdzić należy, że istnieją dwie wersje podstawowe LRP: z pojedynczymi lokomotywami (*single locomotive*) i zespołami lokomotyw (*multiple locomotive*). W zagadnieniach z pojedynczymi lokomotywami zakłada się, że do przetransportowania każdego pociągu wykorzystana będzie wyłącznie jedna lokomotywa. Modele te są charakterystyczne dla sieci europejskich i do ich modelowania najczęściej wykorzystuje się zadanie minimalnego przepływu z ograniczeniami kierunku. Tę tematykę rozważa się m.in. w pracach [Wright 1989; Forbes, Holt, Watts 1991; Fischetti, Toth 1997]. Natomiast LRP z zespołami lokomotyw, w którym do przewiezienia pociągu wymagane jest użycie jednej lub więcej niż jednej lokomotywy, są spotykane głównie w przypadku zastosowań amerykańskich i kanadyjskich. Ta wersja zagadnienia jest omawiana m.in. przez [Smith, Sheffi 1988; Cordeau, Soumis, Desrosiers 1998]. Spośród najnowszych prac na uwagę zasługują artykuły: [Ahuja i in. 2005] oraz [Vaidyanathan i in. 2007].

Jedyną propozycją, w której rozważa się konieczność przeglądów okresowych, jest praca [Maroti, Kroon 2005]. Autorzy przyjmują jednak stosunkowo prostą wersję, w której każda lokomotywa musi podlegać przeglądowi okresowemu w najbliższych 3 dniach.

### 3. Procedura planowania z horyzontem kroczącym

Propozycja procedury planowania procesu przewozowego omówiona w dalszej części obejmować będzie planowanie przepływu pustych wagonów, cyrkulacji lokomotyw oraz przeglądów okresowych i będzie realizowana zgodnie z procedurą kroczącą. W ramach planowania cyrkulacji lokomotyw i przeglądów wykorzystany zostanie model optymalizacji dyskretnej.

Z punktu widzenia aplikacji opisywana koncepcja implementacji zaawansowanych metod planowania stanowi nowe podejście. Natomiast w obszarze modelowania nowym elementem jest uwzględnienie w modelu optymalizacyjnym konieczności realizacji przeglądów okresowych. Na podstawie badań przeprowadzonych w przedsiębiorstwie kolejowego transportu towarowego stwierdzono, że konieczność realizacji przeglądów PK1 i PK2, tzw. małych, istotnie wpływa na plan cyrkulacji i możliwości wykorzystania zasobów, jakimi są lokomotywy. W zależności od struktury taboru (w dużym uproszczeniu: im starsze lokomotywy, tym częściej wymagane są przeglądy okresowe) w ciągu tygodnia liczba lokomotyw wymagających przeglądu okresowego może wynosić nawet około 20% łącznej liczby wszystkich lokomotyw. (Przykładowo istnieją lokomotywy wymagające przeglądu okresowego, co 100 h pracy). Uwzględniając dodatkowo, że przeglądy okresowe mogą

być realizowane tylko w wybranych węzłach sieci kolejowej, stwierdza się, że fakt uwzględnienia przeglądu staje się krytyczny dla poprawności układanych planów. Z punktu widzenia planu przepływu próżnych wagonów podstawowym problemem jest zagwarantowanie dostępności wagonów dla realizacji zleceń klientów.

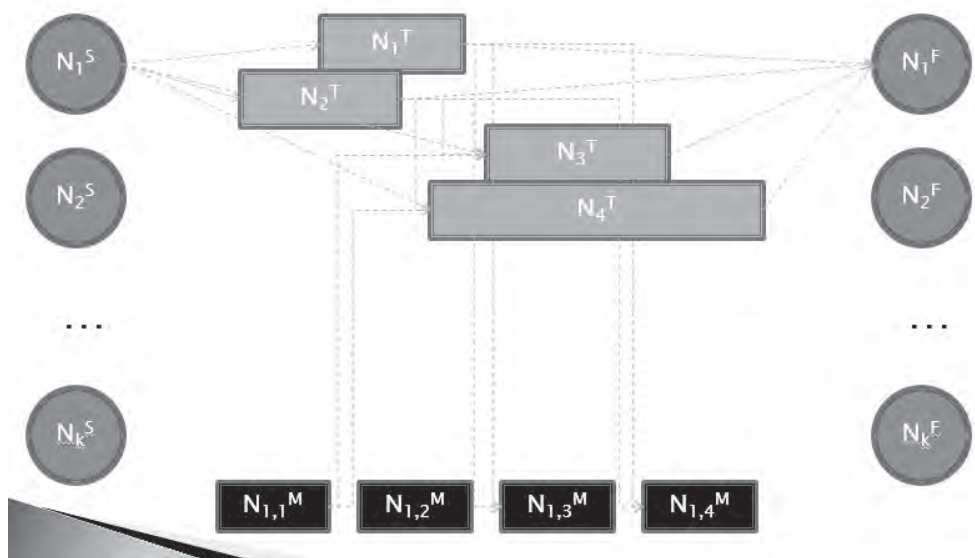
W modelu zostały uwzględnione dodatkowe założenia wynikające ze specyfiki działania przedsiębiorstwa. Puste przejazdy lokomotyw (*light travels*) są ściśle ograniczone do zadanej przez planistów liczby kilometrów. Dopuszcza się natomiast przewożenie lokomotyw pomiędzy stacjami jako ładunku (*dead heads*). Każdy pociąg wymaga dokładnie jednej lokomotywy.

Podstawowym celem przedsiębiorstwa jest maksymalizacja wykorzystania zasobów, jakim są lokomotywy, stąd podstawowym składnikiem funkcji celu jest minimalizacja liczby użytych lokomotyw do realizacji planu. Ponadto do funkcji celu wprowadzono składnik odpowiadający łącznej liczbie brakujących wagonów w horyzoncie planowania. Taka postać funkcji celu ma z jednej strony zapewnić wymagany przepływ próżnych wagonów, z drugiej natomiast zapewnić maksymalny poziom wykorzystania lokomotyw. W celu zapewnienia porównywalności omawianych składników funkcji celu zastosowano tutaj wagi, których wartości ustalane są empirycznie na podstawie wyników procesu optymalizacji.

#### 4. Sformułowanie modelu

Opisywane zagadnienie jest przedstawione za pomocą grafu, w którym dowolna ścieżka odpowiada kolejności realizowanych pociągów przez jedną lokomotywę (rys. 1). W grafie tym wyróżniamy 3 rodzaje węzłów: węzły odpowiadające lokalizacjom lokomotywy  $l$  na początku i na końcu horyzontu planowania, oznaczone na rysunku odpowiednio symbolami  $N_1^S$  i  $N_1^F$ , realizowanemu pociągowi i oznaczonym jako  $N_i^T$  oraz zajętości warsztatu w lokalizacji  $r$  i okresie  $q$ , oznaczonym jako  $N_{r,q}^M$ .

Zbiór krawędzi grafu jest generowany na podstawie parametrów zadania w taki sposób, aby każda ścieżka odpowiadała przejazdom możliwym do zrealizowania przez jedną lokomotywę. Przykładowo nie ma połączenia pomiędzy węzłami odpowiadającymi pociągom, z których pierwszy kończy przejazd później niż zaczyna przejazd pociąg drugi. Uwzględnione zostały także czasy niezbędne na pokonanie drogi między lokalizacjami, tzn. jeśli czas potrzebny na przejazd pomiędzy stacją końcową jednego pociągu a stacją początkową pociągu drugiego przekracza czas między czasem przyjazdu pierwszego a czasem wyjazdu drugiego, to takie połączenie również nie jest rozważane. W przypadku węzłów początkowych oraz węzłów odpowiadających lokalizacji i terminowi przeglądu zamiast czasu wyjazdu brane są pod uwagę odpowiednio czas dostępności oraz początku i końca przedziału serwisowego. Dodatkowo uwzględniono maksymalną długość pojedynczego pustego przyjazdu lokomotyw; nie zostały rozważone połączenia pomiędzy parami pociągów, w których stacja przeznaczenia pociągu pierwszego jest odległa od stacji nadania pociągu drugiego o więcej niż dopuszczalną maksymalną odległość  $DT_{\max}$ .



Rys. 1. Konceptcja modelu planowania cyrkulacji lokomotyw z przeglądami okresowymi

Źródło: opracowanie własne.

#### 4.1. Zbiory i zmienne decyzyjne

W modelu rozważa się następujące zbiory:

- $I$  – zbiór pociągów (oznaczany także symbolem  $J$ ),
- $K$  – zbiór lokomotyw,
- $N$  – zbiór lokalizacji,
- $R$  – zbiór warsztatów serwisowych,
- $W$  – zbiór przedziałów czasu, w których realizowane są przeglądy,
- $C$  – zbiór typów wagonów,
- $T$  – zbiór okresów w horyzoncie planowania (dni).

Do celów uproszczenia zapisu modelu przyjęto, że:

- $L_i$  – oznacza zbiór lokomotyw mogących obsłużyć pociąg  $i$ ,
- $S_i$  – oznacza zbiór pociągów możliwych do obsłużenia po pociągu  $i$ .

W modelu wykorzystano 8 grup zmiennych decyzyjnych. Znaczenie poszczególnych zmiennych przedstawiono w tab. 1.

**Tabela 1.** Zmienne decyzyjne i ich oznaczenia

Symbol	Oznaczenie
$x_{k,i,j}^T$	Lokomotywa $k$ obsługuje pociąg $i$ , a następnie pociąg $j$
$x_{k,j}^S$	Lokomotywa $k$ rozpoczyna od obsługi pociągu $j$
$x_{k,i}^F$	Lokomotywa $k$ kończy po obsłudze pociągu $i$
$x_{k,r,w,j}^{TS}$	Lokomotywa $k$ ma przegląd okresowy w warsztacie $r$ w oknie czasowym $w$ przed obsłużeniem pociągu $j$
$x_{k,r,w,i}^{TF}$	Lokomotywa $k$ ma przegląd okresowy w warsztacie $r$ w oknie czasowym $w$ po obsłużeniu pociągu $j$
$y_{k,i}$	Wartość licznika przeglądu lokomotywy $k$ po obsłużeniu pociągu $i$
$z_{c,i,j}^F$	Liczba wagonów serii $c$ wysłanych ze stacji $a_j^N$ to $d_j^N$
$z_{c,n,t}^L$	Liczba wagonów serii $c$ brakujących w lokalizacji $n$ na początku dnia $t$

Źródło: opracowanie własne.

Symbole  $a_i^N$  i  $d_i^N$  w tab. 1 oznaczają odpowiednio stację przeznaczenia i stację początkową pociągu  $i$ .

### 4.2. Funkcja celu

Uwzględniając wymagania decydenta w analizowanej sytuacji decyzyjnej, należy rozważyć jako składowe funkcji celu trzy wielkości; są to: liczba wykorzystanych lokomotyw, liczba brakujących wagonów oraz łączna długość pustych przejazdów. Z uwagi na trudności w powiązaniu powyższych elementów w jednej funkcji celu w prezentowanym dalej modelu funkcja celu wyrażona wzorem (1) uwzględnia wyłącznie dwie składowe, tj. liczbę wykorzystanych lokomotyw oraz liczbę brakujących wagonów. Składowej odpowiadającej liczbie użytych lokomotyw, jako ważniejszej, przypisano dodatkowo wagę. Parametr ten będzie dobierany na etapie testów obliczeniowych.

$$\min \alpha \sum_{k \in K, i \in I} x_{k,i}^S + \sum_{c \in C, n \in N, t \in T} z_{c,n,t}^L \quad (1)$$

Natomiast łączna długość pustych przejazdów została rozpatrzona w modelu jako ograniczenie i przyjmie postać (2).

$$\sum_{k \in K, i \in I, j \in J} dist(a_i^N, d_j^N) x_{k,i,j}^T + \sum_{k \in K, j \in J} dist(r_k^N, d_j^N) x_{k,j}^S + \sum_{k \in K, i \in I} dist(a_i^N, u_k^N) x_{k,i}^F \leq LT_{\max} \quad (2)$$

W ograniczeniu (2) symbolami  $a_i^N$ ,  $d_j^N$ ,  $r_k^N$ ,  $u_k^N$ ,  $LT_{\max}$  oznaczono odpowiednio stację przeznaczenia pociągu  $i$ , stację początkową pociągu  $j$ , stację dostępności lokomotywy  $k$  na początku horyzontu planowania, stację przeznaczenia lokomotyw  $k$  na koniec okresu planowania oraz maksymalną liczbę kilometrów pustych przejazdów. Natomiast zapis  $dist(a_i^N, d_j^N)$  oznacza odległość pomiędzy stacjami  $a_i^N$  i  $d_j^N$ .

### 4.3. Ograniczenia dotyczące zasobów

W grupie ograniczeń zapewniających wykorzystanie dostępnych zasobów uwzględniono trzy ograniczenia. Pierwsze ograniczenie, zapewniające, że każda lokomotywa zostanie wykorzystana dokładnie raz, ma postać (3):

$$\sum_{j \in J} x_{k,j}^S \leq 1 \quad \forall k \in K. \quad (3)$$

Kolejne ograniczenie (4) gwarantuje, że dokładnie jedna lokomotywa może przebywać w warsztacie w określonym przedziale czasowym.

$$\sum_{k \in K, j \in J} x_{k,r,w,j}^{TS} \leq 1 \quad \forall r \in R, w \in W. \quad (4)$$

Jako ostatnie rozważa się ograniczenia pozwalające na określenie stanu wagonów na każdej stacji na początku każdego dnia.

$$\sum_{i \in I, d_j^n = n, d_j^t \leq p_i^B} z_{c,i,j}^T - \sum_{i \in I, d_j^n = n, d_j^t \leq p_i^B} z_{c,j,i}^T + s_{c,n,t}^A - s_{c,n,t}^D + z_{c,n,t}^L \geq 0 \quad \forall c \in C, n \in N, t \in T. \quad (5)$$

### 4.4. Ograniczenie przepływu pociągów

Z punktu widzenia funkcjonowania modelu istotną rolę mają ograniczenia gwarantujące odpowiedni przepływ lokomotyw. W tej grupie w modelu wykorzystano cztery ograniczenia. Pierwsze z nich, ograniczenie (6), ma na celu zagwarantowanie, że każda lokomotywa, która rozpoczęła obsługę pociągów, musi ją zakończyć.

$$x_{k,j}^S + \sum_{i \in I} x_{k,i,j}^T + \sum_{r \in R, w \in W} x_{k,r,w,j}^{TS} = x_{k,j}^F + \sum_{l \in I} x_{k,j,l}^T + \sum_{r \in R, w \in W} x_{k,r,w,j}^{TF} \quad \forall k \in K, j \in J. \quad (6)$$

Kolejne ograniczenie (7) gwarantuje, że każdy pociąg zostanie obsłużony przez jedną lub dwie lokomotywy (druga lokomotywa to lokomotywa niepracująca, lecz przewożona pomiędzy lokalizacjami).

$$1 \leq \sum_{k \in K} x_{k,j}^S + \sum_{k \in K, i \in I} x_{k,i,j}^T \leq 2 \quad \forall j \in I. \quad (7)$$

Ponadto należy zagwarantować, że lokomotywa, która rozpoczęła przegląd, musi go zakończyć, co zostanie osiągnięte przez wprowadzenie ograniczenia (8).

$$\sum_{i \in I} x_{k,r,w,i}^{TS} = \sum_{i \in I} x_{k,r,w,i}^{TF} \quad \forall k \in K, r \in R, w \in W. \quad (8)$$

Ostatnie ograniczenie (9) ma zapewnić, że przewóz pustych wagonów jest możliwy tylko, gdy istnieje pusty kurs pomiędzy danymi lokalizacjami.

$$\sum_{c \in C} p_c^T z_{c,i,j}^F \leq \sum_{k \in K} p_{k,i,j}^T \min(x_{k,i,j}^T, 1) \quad \forall i \in I, j \in I. \quad (9)$$

Symbolami  $p_r^L$  i  $p_{k,i,j}^T$  oznaczono tutaj odpowiednio: długość wagonu typu  $c$  oraz maksymalną długość pociągu z lokomotywą  $k$  między stacją końcową pociągu  $i$ , a stacją początkową pociągu  $j$ .

#### 4.5. Ograniczenia dotyczące przeglądów okresowych

W przypadku ograniczeń dotyczących realizacji przeglądów okresowych rozważane są trzy grupy ograniczeń, z których każda dotyczy innej sytuacji. Pierwsza grupa powoduje, że obsługa kolejnego pociągu nie zostanie rozpoczęta, jeśli przekroczona zostałaby maksymalna wartość licznika obsługi oznaczona jako  $M_k$  – ograniczenia (10) i (11).

$$y_{k,j} - y_{k,i} + 2M_k \geq 2M_k x_{k,i,j}^T + m_{k,j}^T \quad \forall k \in K, i \in I, j \in S_i, \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} x_{k,i,j}^T m_{k,j}^T \leq y_{k,j} \leq M_k \quad \forall k \in K, j \in I. \quad (11)$$

Kolejne ograniczenia, tj. (12) i (13), zapewniają, że sytuacja powyższa nie zajdzie na początku horyzontu planowania.

$$y_{k,j} - m_k^S + 2M_k \geq 2M_k x_{k,j}^S + m_{k,j}^T \quad \forall k \in K, i \in I, j \in S_i, \quad (12)$$

$$x_{k,j}^S (m_{k,j}^T + m_k^S) \leq y_{k,j} \leq M_k \quad \forall k \in K, j \in I. \quad (13)$$

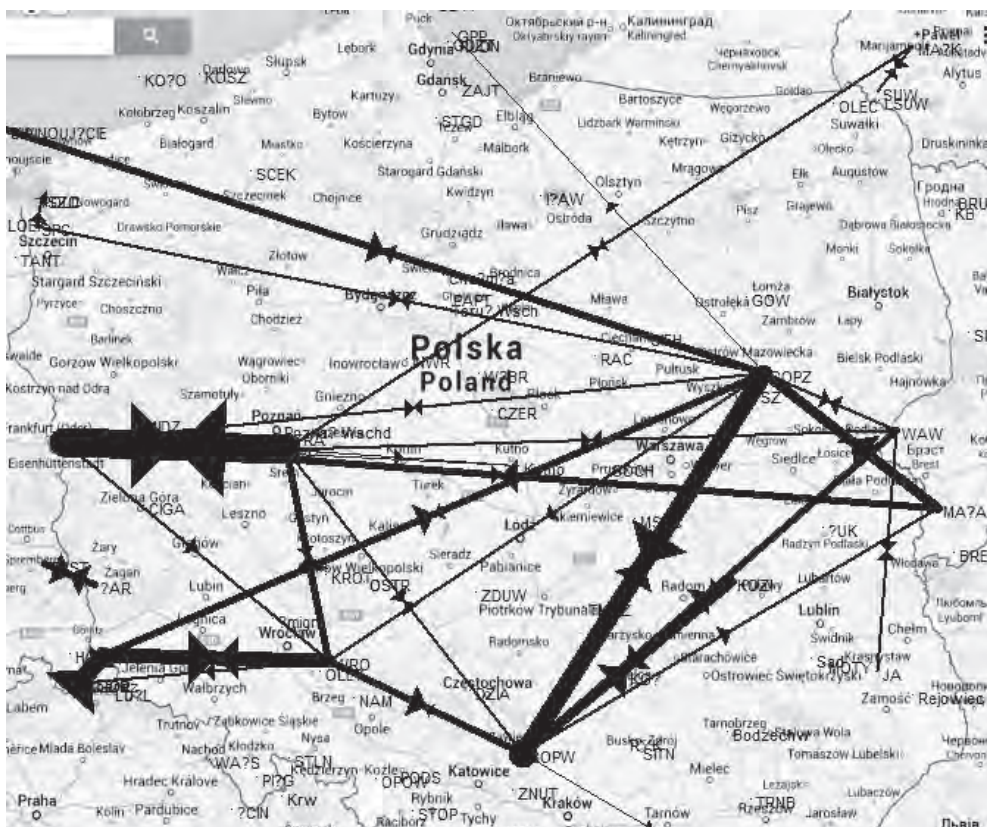
Mechanizm działania w obu przypadkach jest analogiczny, tzn. ograniczenia (10) i (12) zapewniają, że jeśli lokomotywa obsługuje pociąg  $i$ , a potem  $j$ , to zwiększony zostaje licznik przeglądu. Natomiast ograniczenia (11) i (13) zapewniają, że licznik przeglądu nie będzie większy niż maksymalny dla danej lokomotywy.

Odstęp między przeglądami w analizowanej sytuacji mogą zależeć od czasu jazdy albo od przejechanych kilometrów. W zależności od sposobu określania interwału między przeglądami różnie określana jest wartość parametru  $m_{k,i}^T$ , oznaczającego zwiększenie licznika przeglądu lokomotywy  $k$  po przetransportowaniu pociągu  $i$ . W pierwszym przypadku wartość ta jest wyznaczana jako czas przejazdu pociągu  $i$ , natomiast w drugim – jako długość trasy pokonanej przez pociąg  $i$ .

## 5. Wyniki testów obliczeniowych

Zaprezentowane sformułowanie zostało wykorzystane do rozwiązania zadania testowego. Przykład ten opracowano na podstawie danych rzeczywistych z okresu 5 tygodni, w ciągu których zrealizowanych zostało 1621 przewozów. Połączenia zostały przedstawione schematycznie na rys. 2. Przyjęto, że im więcej pociągów jest realizowanych na danej relacji, tym grubszej kreski użyto do jego prezentacji.





Rys. 2. Relacje przewozowe rozwiązane w zadaniu testowym

Źródło: opracowanie własne.

Zadanie testowe rozwiązano oddzielnie dla każdego tygodnia za pomocą pakietu optymalizacyjnego AIMMS. Dodatkowo rozwiązano różne wielkości parametru  $DT_{max}$ . Wyniki zaprezentowano w tab. 2.

Tabela 2. Wyniki testów obliczeniowych

Tydzień	Liczba pociągów	$DT_{max} = 0$		$DT_{max} = 50$		$DT_{max} = 100$	
		liczba lokomotyw	CPU [m]	liczba lokomotyw	CPU [m]	liczba lokomotyw	CPU [m]
5	332	42	5	41	25	41	328
6	330	43	6	42	28	42	460
7	366	45	7	44	40	38	637
8	273	40	6	38	32	38	432
9	320	41	6	39	29	41	328

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników obliczeń.

Jak wynika z tab. 2, dla każdego tygodnia i dla każdej rozważanej wielkości parametru  $DT_{max}$  uzyskano rozwiązanie. Zgodnie z przewidywaniami na czas rozwiązywania duży wpływ ma wielkość parametru  $DT_{max}$ , gdyż jest on wykorzystywany już podczas generowania zadania do ograniczenia liczby zmiennych decyzyjnych. W przypadku wartości 0 i 50 omawianego parametru czas rozwiązywania modelu jest do zaakceptowania w warunkach praktycznych, natomiast dla  $DT_{max}=100$  czas uzyskania rozwiązania powyżej 5 h nie pozwoliłby na jego zastosowanie.

Liczby lokomotyw niezbędnych do użycia w poszczególnych tygodniach, uzyskane jako rozwiązanie zadania nie są możliwe do porównania z rozwiązaniem rzeczywistym, gdyż w modelu rozważono wyłącznie sytuację statyczną, podczas gdy w praktyce zmienności czasów przejazdu i innych parametrów wymagają ciągłej modyfikacji planów. Zastosowanie modelu optymalizacyjnego w procesie planowania przewozów wymagałoby rozwiązywania modelu kilka razy dziennie.

## 6. Zakończenie

W artykule przedstawiono schemat procesu planowania przewozów towarowych w ruchu kolejowym. Wyodrębniono podstawowe etapy tego procesu i zaproponowano zastosowanie procedury planowania z horyzontem kroczącym. Podejście takie ze względu na duży poziom skompilowania wymaga wspomagania procesu generowania planu przez zastosowanie metod zaawansowanych, takich jak optymalizacja. W drugiej części artykułu przedstawiono propozycję modelu, którego wykorzystanie umożliwiłoby zastosowanie sugerowanej procedury. Ponadto na podstawie przygotowanego zadania testowego częściowo dowiedziono jego możliwości aplikacyjnych. Niestety na obecnym etapie prac należy stwierdzić, że ograniczenie długości pojedynczego pustego przejazdu do 50 km dość istotnie zmniejsza możliwości zastosowania proponowanego modelu. Należy także zauważyć, że model ten został wykorzystany jako model statyczny, natomiast jego implementacja w praktyce oznacza konieczność częstej aktualizacji parametrów i co najmniej kilkukrotnego rozwiązywania w ciągu dnia. Niestety oba te warunki są bardzo trudne do spełnienia w warunkach rzeczywistych.

## Literatura

- Ahuja R.K., Liu J., Orlin J.B., Sharma D., Shughart L.A., 2005, *Solving real-life locomotive scheduling problems*, *Transportation Sci.*, 39, s. 503-517.
- Cordeau J.F., Toth P., Vigo D., 1998, *A survey of optimization models for train routing and scheduling*, *Transportation Sci.*, 32, s. 380-404.
- Cordeau J.F., Soumis F., Desrosiers J., 1998, *A Benders Decomposition Approach for the Locomotive and Car Assignment Problem*, Technical Report G-98-35, GERAD, Ecole des Hautes Etudes Commerciales de Montreal, Montreal.

- Fischetti M., Toth P., 1997, *A Package for Locomotive Scheduling*, Technical Report DEIS-OR-97-16, University of Bologna, Bologna.
- Forbes M.A., Holt J.N., Watts A.M., 1991, *Exact solution of locomotive scheduling problems*, J. Oper. Res. Soc., 42, s. 825-831.
- Maroti G., Kroon L., 2005, *Maintenance routing for train units: The transition model*, Transportation Sci., 39, s. 518-525.
- Smit, S., Sheffi Y., 1988, *Locomotive scheduling under uncertain demand*, Transportation Res. Records, 1251, s. 45-53.
- Vaidyanathan B., Ahuja R.K., Liu J., Shughart L.A., 2007, *Real-life locomotive planning: New formulations and computational results*, Transportation Res. Part B, 42, s. 147-168.
- Wright M.B., 1989, *Applying stochastic algorithms to a locomotive scheduling problem*, J. Oper. Res. Soc., 40, s. 187-192.

## DECISION MODELS IN LOCOMOTIVE ROUTING PROBLEM IN RAIL FREIGHT

**Summary:** With the promotion of the environmentally friendly transportation modes, (the European Commission supports the freight transport operations in the rail sector) the increase of demand's diversification is observed. While most rail freight companies tend to apply fixed schedules, meeting the customer's specific requirements causes that this approach is not effective. The scope of this paper is to present a case study of rail freight planning over a medium term horizon and to discuss the opportunities of these plans improvement by discrete optimization. The problem of routing freight traffic is modeled as a dial-a-ride problem with two additional groups of constraints. In the proposed approach the optional transportation requests are considered. Such requests correspond to empty cars movements and are not specified before a solution procedure is launched. Additionally the need of periodic inspections of locomotives are taken into consideration. Based on our experience this issue plays a very important role in the tactical planning process. Despite a thorough review of the literature the presented extensions have not been considered in this area yet.

**Keywords:** locomotive problem planning, transport process planning, optimization.