

Dariusz Pyza<sup>1</sup>, Mariusz Wasiak<sup>2</sup>  
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

## Uwarunkowania optymalizacji obsługi transportowej wynikające z ograniczeń czasu pracy kierowców

### WPROWADZENIE

Jednym z podstawowych aspektów regulacji prawnych czasu pracy kierowców są obowiązujące ich ograniczenia czasu pracy oraz czasu prowadzenia pojazdów. Należy podkreślić, że czas pracy oraz czas prowadzenia pojazdu to dwa odrębne pojęcia regulowane przez inne akty prawne oraz w różny sposób w odniesieniu do różnych kategorii pojazdów, czy nawet samych tras przewozu. Sprawia to, że poprawne stosowanie ograniczeń czasu pracy oraz ograniczeń czasu prowadzenia pojazdów jest utrudnione w praktyce gospodarczej oraz często dochodzi do naruszeń przepisów w tych obszarach. Obecnie przedsiębiorstwa są zmuszane niejednokrotnie do korzystania ze specjalistycznego oprogramowania wspomagającego pracę osób planujących przewozy.

Problematyka optymalizacji obsługi transportowej przez przedsiębiorstwa jest podejmowana przede wszystkim ze względu na minimalizację kosztów prowadzenia działalności. Oczywiście konieczne jest, aby opracowane plany obsługi transportowej były także dopuszczalne pod względem zgodności z normami prawnymi oraz maksymalnie wykorzystywały możliwości optymalizacji kosztów obsługi transportowej wynikające z aktualnych rozwiązań legislacyjnych.

### 1. ZAGADNIENIE OPTIMALIZACJI OBSŁUGI TRANSPORTOWEJ

#### 1.1. Problematyka obsługi transportowej

Nierównomierne rozmieszczenie dóbr materialnych wywołuje potrzebę przemieszczania ładunków, która zaspakajana jest przez transport.

W realizacji przemieszczania ładunków bierze udział wiele elementów wchodzących w skład systemu transportowego. Biorąc pod uwagę definicję systemu, można określić system transportowy, jako układ środków technicznych, organizacyjnych i ludzkich powiązanych ze sobą w taki sposób, aby sprawnie realizować przemieszczanie osób i (lub) ładunków w czasie i przestrzeni [10].

W ujęciu systemowym system transportowy jest pojęciem szerszym w stosunku do systemu przewozowego, ze względu na fakt, iż system przewozowy jest jego elementem funkcjonalnym.

Zapotrzebowanie na usługę przewozową wynika m.in. ze zróżnicowania struktury przestrzennej i asortymentowej produkcji oraz struktury kierunkowej przewozów, zmian w zaopatrzeniu rynków zbytu i dystrybucji wyrobów. W tym aspekcie istotnym problemem jest właściwa obsługa transportowa wynikająca z potrzeb odbiorców danego obszaru sieci transportowej. Obsługa transportowa determinowana jest zastosowanym systemem przewozowym.

Biorąc pod uwagę powyższe przyjęto, że, system przewozowy jest to system, który realizuje obsługę transportową podmiotów gospodarczych na danym obszarze sieci transportowej na odpowiednim poziomie realizacji i przy minimalizacji kosztów. Przy czym obsługa transportowa wynika z wielkości zadań przewozowych zgłoszonych do realizacji [13].

Zadanie przewozowe, określone jest potrzebami klientów systemu i charakteryzowane jest:

- rodzajem i ilością ładunku, który należy przemieścić,

<sup>1</sup> dpz@it.pw.edu.pl

<sup>2</sup> mwa@it.pw.edu.pl

- relacją (trasą) przemieszczenia ładunku, zdefiniowaną jako para punkt nadania ładunku i punkt odbioru ładunku,
- terminem przemieszczenia.

Organizacja przewozów jest określana harmonogramem przemieszczania pojazdów. Harmonogram określa, jaki pojazd, kiedy i gdzie ma dostarczyć ładunek. Poszczególne fazy przewozu ładunków determinują fakt odróżniania pojęcia harmonogramu ruchu pojazdów od harmonogramu przemieszczania ładunków. Przewóz ładunków może wymagać współdziałania różnych systemów przewozowych stanowiących ogniwa bardziej złożonych systemów transportowych. Niezbędną fazą procesów przewozu ładunków jest również proces przeładunku, który może być realizowany, jako przeładunek bezpośredni z jednego pojazdu na drugi lub przeładunek, który może być połączony z krótkoterminowym przechowywaniem ładunku w magazynie. W celu efektywnej organizacji przemieszczania ładunków powstały specjalne przedsiębiorstwa nazywane spedycyjnymi, których zadaniem jest koordynowanie pracy różnych systemów przewozowych. Przedsiębiorstwa te często nie posiadają własnych pojazdów, ani własnych magazynów i zajmują się wyłącznie organizacją współdziałania różnych rodzajów transportu w procesie przewozowym. Ostatecznie, przemieszczanie ładunków w czasie i przestrzeni jest wynikiem realizacji kolejnych etapów przemieszczania, z których każdy wymuszony jest ruchem innego pojazdu. W takim przypadku, wielkością poszukiwaną będzie harmonogram ruchu pojazdów, którego kryterium oceny jakości mogą być koszty wykonania zadania przewozowego.

Znaczenie transportu dla efektywnego przemieszczania ładunków powoduje, że w literaturowych rozważaniach, wiele miejsca poświęca się poszukiwaniu optymalnych rozwiązań w zakresie organizacji transportu. Wśród problemów decyzyjnych dotyczących problematyki transportowej można wyróżnić:

- problemy marszrutyzacji i harmonogramowania pojazdów,
- problemy harmonogramowania pracy załogi,
- problemy przydziału pojazdów do zadań przewozowych,
- problemy ustalania kompozycji taboru.

Wymienione problemy decyzyjne w obszarze transportu mogą być rozważane zarówno w ujęciu jedno jak i wielokryterialnym, a sformułowania szczegółowe w tym zakresie można znaleźć w wielu publikacjach [1], [2], [3], [4], [10], [11], [12], [13], [14], [18], [21].

W celu prawidłowej realizacji zadań przewozowych niezbędne jest, aby system przewozowy dysponował odpowiednim potencjałem przewozowym. Potencjał jest definiowany w różnych aspektach w zależności od celu i zakresu prowadzonych badań. Ogólnie potencjał to wielkość zdolności jednostki zasobu, jednostki produkcyjnej, pojazdu czy instalacji do realizacji określonych zadań przy normalnym poziomie obciążenia, odniesiona na jednostkę czasu [16]. Natomiast potencjał systemu logistycznego w pracach [18] został zdefiniowany jako zasoby tego systemu wraz z relacjami między nimi oraz zasady organizacji pracy, które umożliwiają realizację określonych przekształceń strumieni ładunków i związanych z nimi informacji. W takim ujęciu potencjał jest zależny od liczby i rodzaju środków technicznych, liczby pracowników oraz od organizacji pracy (por. np. [17], [18], [19], [20]).

Uwzględniając powyższe przyjęto, że wielkość potencjału systemu przewozowego determinowana jest przede wszystkim środkami pracy, do których należy zaliczyć pojazdy oraz urządzenia ładunkowe. Zatem każde przedsiębiorstwo transportowe realizujące zadania przewozowe powinno posiadać odpowiednią liczbę pojazdów i urządzeń ładunkowych. Określenie potencjału przewozowego dokonywane jest na podstawie zgłaszanych i przewidywanych potrzeb przewozowych.

## 1.2. Struktura sieci transportowej

Sieć transportową, tworzy układ połączeń (szlaków komunikacyjnych) oraz punktów transportowych występujący na danym obszarze obsługi transportowej. Elementy sieci transportowej umożliwiające sprawny przepływ dóbr materialnych są równocześnie elementami zagospodarowania przestrzennego obszaru, w którym są zlokalizowane. Strukturę przestrzenną sieci transportowej określa istnienie i charakter połączeń transportowych, które identyfikują powiązania węzłów transportowych między sobą w przestrzeni geograficznej.

Strukturę sieci transportowej przedstawiamy w postaci grafu. Wykorzystując teorię grafu, zakładamy, że na potrzeby modelowania systemów przewozowych struktura sieci transportowej odwzorowana jest grafem  $\mathbf{G}$ , który ma postać:  $\mathbf{G} = \langle \mathbf{V}, \mathbf{A} \rangle$ . Przy czym  $\mathbf{V}$  jest zbiorem elementów sieci transportowej (wierzchołków grafu) o interpretacji węzłów sieci transportowej, tj.  $\mathbf{V} = \{v: v = 1, \dots, v', \dots, \bar{V}\}$ , natomiast  $\mathbf{A}$  jest zbiorem połączeń transportowych między poszczególnymi elementami sieci transportowej (zbiór łuków grafu), tj. zbiór, którego elementy zdefiniowane są następująco:  $\mathbf{A} = \{\{v, v'\}: \zeta(v, v') = 1, v \neq v', v, v' \in \mathbf{V}\}$ .

W dalszych rozważaniach przyjmujemy, że łuk grafu  $\mathbf{G}$  ma tę właściwość, że jego początek jest w wierzchołku o numerze  $v$ , natomiast koniec w wierzchołku o numerze  $v'$ , jeśli spełniony jest warunek postaci  $\zeta(v, v') = 1$ .

### 1.3. Matematyczne ujęcie problemu

Współczesne przedsiębiorstwo transportowe jak, każdy podmiot gospodarczy dysponuje określonymi zasobami, które wpływają na racjonalizację realizacji zadań przewozowych. Jak wcześniej wspomniano wielkość zasobów musi być adekwatna do realizowanych zadań przewozowych, które wpływają na koszty logistyczne przedsiębiorstwa i jego konkurencyjność na rynku. Istotne, zatem staje się poszukiwanie takich rozwiązań, które umożliwiłyby spełnienie wymagań klienta z jednej strony oraz racjonalizowałyby wielkość zasobów przedsiębiorstwa z drugiej. Problem tego typu w literaturze jest utożsamiany z problemem komiwojażera o ograniczonych zasobach i dotyczy budowy takich tras, które umożliwiają rozwójkę towarów w taki sposób, aby nie zostały przekroczone ich limity [15]. Szczegółowy opis formułowania ww. problemu dla transportu towarów wieloasortymentowych przedstawiono m.in. w pracach [1], [2], [10], [13].

Na potrzeby modelowania obsługi transportowej przedsiębiorstwa w sferze dystrybucji przyjęto, że w zbiorze  $\mathbf{V}$  można wyróżnić węzeł interpretowany, jako dane przedsiębiorstwo dysponujące magazynem dystrybucji, węzły interpretowane, jako odbiorcy zgłaszający popyt na produkty przedsiębiorstwa oraz pozostałe węzły sieci transportowej. Zatem wyróżnimy zbiór  $\mathbf{D}$  numerów punktów obsługi postaci  $\mathbf{D} = \{v \equiv d: d = 0, 1, \dots, d', \dots, \bar{D}\}$ , przy czym punkt o numerze 0 ma interpretację magazynu dystrybucji natomiast pozostałe punkty mają interpretację odbiorców oraz zbiór  $\mathbf{W}$  numerów pozostałych węzłów sieci transportowej, który ma postać  $\mathbf{W} = \{v \equiv w: w = 1, \dots, w', \dots, \bar{W}\}$ . Ponadto w zbiorze  $\mathbf{D}$  można wyróżnić odbiorców występujących w obszarze obsługi transportowej przedsiębiorstwa, którzy tworzą zbiór numerów odbiorców postaci  $\mathbf{O} = \{v \equiv o: o = 1, \dots, o', \dots, \bar{O}\}$ , Zbiory  $\mathbf{D}$  oraz  $\mathbf{W}$  są zbiorami rozłącznymi, tj.  $\mathbf{D} \cap \mathbf{W} = \emptyset$ . W dalszych rozważaniach zakładamy, że  $\mathbf{DR}$  jest zbiorem najkrótszych dróg między poszczególnymi punktami obsługi tj. zbiór, którego elementy zdefiniowane są następująco:  $\mathbf{DR} = \{\{d, d'\}: \xi(d, d') = 1, d \neq d', d, d' \in \mathbf{D}\}$ .

Formułowanie zadania optymalizacyjnego obsługi transportowej przedsiębiorstwa w sferze dystrybucji wymaga ponadto zdefiniowania: zbioru numerów pojazdów  $\mathbf{P} = \{p: 1, \dots, p', \dots, \bar{P}\}$ , zbioru rodzajów produktów produkowanych przez przedsiębiorstwo  $\mathbf{R} = \{r: 1, \dots, r', \dots, \bar{R}\}$ , charakterystyk pojazdów, w postaci wektora ładowności pojazdów  $\mathbf{LD} = \langle ld^p, ld^p \in \mathfrak{R}^+, p \in \mathbf{P} \rangle$  oraz wektora pojemności pojazdów  $\mathbf{G} = \langle g^p, g^p \in \mathfrak{R}^+, p \in \mathbf{P} \rangle$ , macierzy zapotrzebowania odbiorców wyrażonego w jednostkach masy  $\mathbf{M} = [m_v^r]$ ,  $m_v^r \in \mathfrak{R}^+, v \in \mathbf{O}, r \in \mathbf{R}$  oraz w jednostkach objętości  $\mathbf{OB} = [ob_v^r]$ ,  $ob_v^r \in \mathfrak{R}^+, v \in \mathbf{O}, r \in \mathbf{R}$ . Należy również zdefiniować macierz odległości między punktami obsługi  $\mathbf{DP} = [dp]$ ,  $dp \in \mathfrak{R}^+, \xi(d, d') = 1, d \neq d', d, d' \in \mathbf{D}$  oraz macierz zależnych od przebiegu jednostkowych kosztów przewozu poszczególnymi pojazdami  $\mathbf{KP} = [kp^p]$ ,  $kp^p \in \mathfrak{R}^+, p \in \mathbf{P}$ , jak również macierz

zależnych od czasu pracy jednostkowych kosztów przewozu poszczególnymi pojazdami  $\mathbf{KH} = [kh^p]$ ,  $kh^p \in \mathfrak{R}^+$ ,  $p \in P$ .

Uwzględniając powyższe, formalnie problem obsługi transportowej przedsiębiorstwa w sferze dystrybucji formułujemy następująco:

Dla danych:  $D, O, DR, P, R, LD, G, M, OB, DP, KP, KH$ , należy wyznaczyć wartości zmiennych decyzyjnych  $x((v, v'), p) \equiv x_{vv'}^p$ , gdzie  $x_{vv'}^p = 1$  jeżeli  $(v, v')$  zawiera się w trasie  $p$ -tego pojazdu, 0 w przeciwnym przypadku, spełniające ograniczenia:

- do każdego odbiorcy musi dojechać jeden pojazd:

$$\sum_{v \in D} \sum_{p \in P} x_{vv'}^p = 1, \quad \forall v' \in O \quad (1)$$

- od każdego odbiorcy musi wyjechać jeden pojazd:

$$\sum_{v' \in D} \sum_{p \in P} x_{vv'}^p = 1, \quad \forall v \in O \quad (2)$$

- trasy poszczególnych pojazdów będą zaczynały i kończyły się jedynie w magazynie dystrybucyjnym:

$$\sum_{v' \in D} x_{v'v}^p - \sum_{v \in D} x_{vv'}^p = 0, \quad \forall v \in O, \quad \forall p \in P \quad (3)$$

- pojazd może dostarczyć ładunki do odbiorcy pod warunkiem, że nie zostanie przekroczona jego ładowność:

$$\sum_{v \in O} \sum_{r \in R} m_v^r \sum_{v' \in D} x_{vv'}^p \leq ld^p, \quad \forall p \in P \quad (4)$$

- pojazd może dostarczyć ładunki do odbiorcy pod warunkiem, że nie zostanie przekroczona jego pojemność:

$$\sum_{v \in O} \sum_{r \in R} ob_v^r \sum_{v' \in D} x_{vv'}^p \leq g^p, \quad \forall p \in P \quad (5)$$

- wykluczenie powstawania cykli, które nie wchodzą w skład zbioru rozwiązań dopuszczalnych:

$$z_v - z_{v'} + |D| \sum_{p \in P} x_{vv'}^p \leq |D| - 1, \quad 0 \leq v \neq v' \leq |D|, \quad z_v, z_{v'} \in \mathfrak{R}^+ \quad (6)$$

- zachowanie binarnego typu zmiennych decyzyjnych:

$$x_{vv'}^p \in \{0; 1\}, \quad \forall v \in D, \quad \forall v' \in D, \quad \forall p \in P \quad (7)$$

- zapewnienie rozpoczęcia obsługi pojazdów u odbiorców nie wcześniej niż rozpoczęcie ustalonych dla nich tzw. „okien czasowych”, w których odbiorcy mogą przyjąć ładunek:

$$\varepsilon_{v'}^p = \sum_{v \in D} \max(\varepsilon_v^p + tp_{vv'}^p, \alpha_{v'}^p) x_{vv'}^p, \quad \forall v' \in O, \quad \forall p \in P \quad (8)$$

- zapewnienie rozpoczęcia obsługi pojazdów w magazynie dystrybucyjnym nie wcześniej niż jego otwarcie:

$$\varepsilon_0^p \geq \alpha_0^p, \quad \forall p \in P \quad (9)$$

- zapewnienie zakończenia obsługi pojazdów u odbiorców nie później niż przed końcem ustalonych dla nich tzw. „okien czasowych”, w których odbiorcy mogą przyjąć ładunek:

$$\varepsilon_v^p + \tau_v^p \leq \alpha_v^p, \quad \forall v \in O, \quad \forall p \in P \quad (10)$$

które warunkują minimalne koszty transportu do odbiorców zapisane, jako:

$$f(\mathbf{X}) = \sum_{v \in D} \sum_{v' \in D} \sum_{p \in P} dp_{vv'} x_{vv'}^p kp^p + \left[ \sum_{v \in O} (\varepsilon_v^p + \tau_v^p + tp_{v0}^p) x_{v0}^p - \varepsilon_0^p \right] \frac{kh^p}{60} \quad (11)$$

Sformułowane powyżej zadanie optymalizacji obsługi transportowej stanowi rozwinięcie zadania n-komiwojażerów, dla którego pierwszy algorytm rozwiązania został podany w 1932 r., tj. ponad pięćdziesiąt lat po jego sformułowaniu, zaś prace nad nowymi, coraz bardziej efektywnymi algorytmami trwają do dnia dzisiejszego [18].

## 2. WYBRANE REGULACJE CZASU PRACY KIEROWCÓW SAMOCHODÓW CIĘŻAROWYCH

### 2.1. Osoby prowadzące pojazdy o DMC do 3,5 t

Regulacje czasu pracy kierowców pojazdów o DMC do 3,5 t w porównaniu do regulacji dotyczących pojazdów kierowców pojazdów o większej DMC są znacznie mniej złożone. Podstawowymi aktami prawnymi, które należy uwzględniać podczas planowania pracy tych kierowców są Kodeks pracy [7] oraz Ustawa o czasie pracy kierowców [6].

Na potrzeby planowania obsługi transportowej przedsiębiorstw konieczne jest przyjęcie założenia odnośnie systemu czasu pracy kierowców. Obecnie może mieć zastosowanie system czasu pracy: podstawowy, równoważny, przerywany, zadaniowy, przerywanym połączonym z równoważnym jak również indywidualny rozkład czasu pracy [6], [7]. Jest to o tyle istotne, że na przykład w podstawowym systemie czasu pracy dobowy wymiar czasu pracy nie może przekraczać 8 godzin, natomiast w równoważnym systemie czasu pracy kierowca w danej dobie może pracować nawet do 12 godzin (bez godzin nadliczbowych!).

Praca w godzinach nadliczbowych nie może być planowana, stąd całkowity czas pracy kierowców w danej dobie nie może przekraczać 8 godzin w przypadku kierowców zatrudnionych w podstawowym systemie czasu pracy oraz 12 godzin w przypadku kierowców zatrudnionych w równoważnym systemie czasu pracy, którzy nie pracują w porze nocnej<sup>3</sup>. Bardzo istotny podczas planowania pracy kierowców pojazdów o DMC nie większej niż 3,5 t jest brak możliwości naruszania doby pracowniczej<sup>4</sup>. Po odliczeniu od czasu pracy 15 minutowej części przerwy w pracy (zaliczanej do czasu pracy) ograniczenia czasu pracy dla wymienionych systemów czasu pracy będą równe odpowiednio 7,45 oraz 11,45 godzin.

Kierowców prowadzących pojazdy o DMC nie większej niż 3,5 t w zakresie przerwy niezależnie od systemu czasu pracy obowiązuje jedynie Ustawa o czasie pracy kierowców [6] ograniczająca czas pracy bez przerwy do maksymalnie 6 godzin. Po sześciu godzinach kierowca musi mieć przerwę w pracy trwającą 30 lub 45 minut w zależności od całkowitego czasu jego pracy w danej dobie.

W każdej dobie kierowcy przysługuje niezbywalne prawo do odpoczynku dobowego trwającego nieprzerwanie 11 godzin [6].

Czas prowadzenia pojazdów o DMC nie większej niż 3,5 t nie jest regulowany żadnymi dodatkowymi przepisami i jego ograniczenie wynika bezpośrednio z ograniczenia czasu pracy (jest to część czasu pracy).

<sup>3</sup> Przy pracy w porze nocnej dobowy wymiar czasu pracy musi być ograniczony do 10 godzin [5], [6].

<sup>4</sup> Doba pracownicza to okres 24 godzin od chwili rozpoczęcia pracy [6], [7].

## 2.2. Osoby prowadzące pojazdy o DMC powyżej 3,5 t

Do obsługi przewozów na duże odległości wykorzystywane są przeważnie pojazdy o DMC większej niż 3,5 t. Specyfika tych przewozów sprawia, że udział czasu prowadzenia pojazdu w czasie pracy kierowcy jest znacznie większy niż podczas obsługi tras dowozowo-odwozowych obsługiwanych pojazdami o mniejszej ładowności. Zatem szczególny charakter pracy kierowców pojazdów o DMC większej niż 4,5 t oraz konieczność zapewnienia bezpieczeństwa ruchu drogowego sprawiają, że w odniesieniu do tych kierowców zostały wprowadzone ograniczenia czasu prowadzenia pojazdów.

Zrealizowane badania pozwoliły ustalić, że ciągłe prowadzenie pojazdów, powoduje m.in. wydłużenie czasu reakcji kierowców. Ustalono, że po przekroczeniu 4,5 godzin ciągłej jazdy czas reakcji kierowcy wydłuża się o około 10%, zaś dalsze wydłużanie czasu prowadzenia pojazdu powoduje zbliżone do wykładniczego narastanie czasu reakcji kierowcy. Zatem w przepisach [8], [9] obowiązujących m.in. kierowców prowadzących pojazdy ciężarowe o DMC większej niż 3,5 t wprowadzono ograniczenie czasu prowadzenia pojazdu bez przerwy do 4,5 godziny. Po tym okresie kierowca pojazdu ciężarowego o DMC powyżej 3,5 t musi bezwzględnie mieć przerwę w prowadzeniu pojazdu lub zakończyć pracę.

Odebranie pierwszej 45 minutowej przerwy w prowadzeniu pojazdu pozwala kierowcy pojazdu o DMC większej niż 3,5 t rozpocząć drugi maksymalnie 4,5 godzinny okres prowadzenia pojazdu. Dwa razy w tygodniu istnieje możliwość prowadzenia pojazdu przez maksymalnie 10 godzin w ciągu dnia pracy<sup>5</sup>, zaś w pozostałe dni kierowca pojazdu o DMC powyżej 3,5 t nie może prowadzić pojazdu więcej niż 9 godzin w okresie pomiędzy kolejnymi odpoczynkami dobowymi. W przypadku wydłużenia dziennego czasu prowadzenia pojazdu do 10 godzin kierowca po drugim np. 4,5 godzinnym okresie prowadzenia pojazdu musi mieć drugą 45 minutową przerwę w prowadzeniu pojazdu [8], [9].

Opisane ograniczenia czasu prowadzenia pojazdów dotyczą kierowców niezależnie od systemu czasu pracy, w którym są zatrudnieni.

W przypadku kierowców pojazdów o DMC większej niż 3,5 t mają zastosowanie również opisane w punkcie 2.2 ograniczania czasu pracy. Jednak istnieje tu możliwość kilkukrotnego rozpoczynania pracy w tej samej dobie pracowniczej (jedynie pod warunkiem odebrania odpoczynku dobowego) – zatem w odniesieniu do tych kierowców problem naruszania doby pracowniczej nie występuje. Ponadto, kierowcy ci mają trzy razy w tygodniu możliwość skrócenia odpoczynku dobowego do 9 godzin [6].

Należy zaznaczyć, że przewozy na duże odległości są częstokroć realizowane przez dwuosobowe załogi kierowców. W przypadku tego rozwiązania istotne jest ograniczenie dziennego czasu odpoczynku do minimum 9 godzin (we wszystkie dni) oraz wydłużenie do 30 godzin okresu rozliczeniowego, w którym ten odpoczynek musi być wykorzystany [8], [9].

## 3. OPTIMALIZACJA OBSŁUGI TRANSPORTOWEJ PRZY UWZGLĘDNIENIU OGRANICZEŃ DOTYCZĄCYCH CZASU PRACY KIEROWCÓW

Jak wykazano w poprzednim rozdziale organizacja pracy kierowców jest obciążona szeregiem regulacji prawnych dotyczących ich różnego rodzaju aktywności. O ile podczas projektowania obsługi transportowej wszystkie przepisy dotyczące czasu pracy kierowców muszą być uwzględniane bezpośrednio, to podczas jej optymalizacji część rozwiązań prawnych (zbyt szczegółowych ze względu na dany model optymalizacyjny) może być pominięta.

Zakładając, że rozwiązanie zadania optymalizacyjnego powinno umożliwić opracowanie planu obsługi transportowej uwzględniającego wszystkie aspekty prawne, jako niezbędne przyjęto uwzględnienie wśród ograniczeń optymalizacji maksymalnego dobowego czasu pracy oraz w przypadku pojazdów o DMC powyżej 3,5t także maksymalnego dobowego czasu jazdy. Podejście takie jest wystarczające, ze względu na zakres czasowy obsługi transportowej ograniczony w sformułowanym zadaniu optymalizacyjnym do jednej doby. Pozostałe uwarunkowania prawne dotyczące wymiaru odpoczynku dobowego, przeciętnie pięcio-

<sup>5</sup> Pojęcia dnia pracy nie można utożsamiać z pojęciem doby pracowniczej. Dzień pracy to okres od chwili rozpoczęcia pracy do chwili zakończenia odpoczynku dobowego po tej pracy [8].

dniowego tygodnia pracy, maksymalnego tygodniowego oraz dwutygodniowego czasu prowadzenia pojazdu, jak również maksymalnego i średniego tygodniowego czasu pracy i odpoczynków tygodniowych muszą być uwzględniane podczas optymalizacji obsługi transportowej w perspektywie średnio oraz długookresowej (w praktyce przy planowaniu obsługi transportowej na ponad tydzień).

Biorąc pod uwagę, że regulacje czasu jazdy oraz czasu pracy nie dotyczą pojazdów, lecz bezpośrednio kierowców, konieczne jest uwzględnienie w modelu optymalizacyjnym zasobów ludzkich. W uproszczeniu można przyjąć, że w modelu brany jest pod uwagę jedynie przypadek, że do każdego pojazdu jest przypisany jeden kierowca (jest to założenie słuszne dla przewozów na małe i średnie odległości). Wówczas ograniczenia dotyczące kierowców mogą być przypisywane pojazdom.

Na potrzeby modelowania przyjęto, że na zbiorze  $P$  zadane jest odwzorowanie  $\delta$  przyjmujące wartość równą 1, gdy pojazd  $p$ -tego typu jest pojazdem o DMC do 3,5t oraz 0 w przeciwnym przypadku. Wówczas, ze względu na potrzebę uwzględnienia w modelu ograniczeń dobowego czasu pracy oraz czasu jazdy w sformułowanym wcześniej zadaniu optymalizacyjnym należy uwzględnić dodatkowo dwa następujące ograniczenia:

- na nieprzekroczenie dobowego maksymalnego czasu pracy kierowców:

$$\sum_{v \in O} (\varepsilon_v^p + \tau_v^p + tp_{v0}^p) x_{v0}^p - \varepsilon_0^p \leq TP, \quad \forall p \in P \quad (12)$$

przy czym  $TP$  ma interpretację dobowego maksymalnego czasu pracy kierowców równego 7 godzin i 45 minut dla podstawowego systemu czasu pracy oraz 11 godzin i 45 minut dla równoważonego systemu czasu pracy.

- na nieprzekroczenie dobowego maksymalnego czasu prowadzenia pojazdu:

$$\sum_{v \in D} \sum_{v' \in D} tp_{vv'}^p x_{vv'}^p \leq TJ, \quad \forall p \in P : \delta(p) = 0 \quad (13)$$

przy czym  $TJ$  ma interpretację dobowego maksymalnego czasu prowadzenia pojazdów równego 10 godzin.

Jak opisano wcześniej czas prowadzenia pojazdu w ciągu doby może przekroczyć 9 godzin (540 minut) jedynie 2 razy w tygodniu, zatem przyjmując przeciętnie 5-cio dniowy tydzień pracy (obecność w pracy wszystkich kierowców przez pięć dni w tygodniu) konieczne jest uwzględnienie również następującego ograniczenia:

$$\sum_{p \in P} \left[ \frac{1}{540} \sum_{v \in D} \sum_{v' \in D} tp_{vv'}^p x_{vv'}^p \right] \leq 1,4 \sum_{p \in P} \sum_{v' \in D} x_{0v'}^p \quad (14)$$

Należy zaznaczyć, że ze względu na możliwość udzielania dodatkowych dni wolnych za wydłużony w poszczególnych dniach czas pracy, ograniczenie (14) w niektórych przypadkach nie musi być brane pod uwagę.

Upraszczając obowiązujące regulacje prawne przerw w pracy oraz przerw w prowadzeniu pojazdu przyjęto, że przerwy nie będą dzielone<sup>6</sup> oraz będą udzielane w wymiarze 45 minut<sup>7</sup>. Założenie to znacznie upraszczając zapisy analityczne pozwoli uzyskać pełną zgodność wyznaczonego rozwiązania z regulacjami prawnymi (choć nie w pełni będą uwzględnione możliwości redukcji kosztów).

Ze względu na ograniczenia czasu pracy bez przerwy, kierowcy należy udzielić przerwy w pracy przed dojazdem do danego punktu sieci dystrybucji lub przed rozpoczęciem obsługi w tym punkcie, dla którego jako pierwszego spełniona jest następująca zależność:

<sup>6</sup> Według aktualnych przepisów przerwy w pracy mogą być dzielone na okresy trwające przynajmniej 15 minut, zaś przerwy w prowadzeniu pojazdu objętego rozporządzeniem WE 561/2006 mogą być dzielone na dwie części, z których pierwsza musi trwać nie mniej niż 15 minut a druga nie mniej niż 30 minut.

<sup>7</sup> Pominięty jest, zatem przypadek, w którym czas pracy jest dłuższy niż 6 godzin i nie przekracza 9 godzin oraz – dla pojazdów o DMC powyżej 3,5t – jednocześnie czas prowadzenia pojazdu nie przekracza 4,5 godzin.

$$\left[ \frac{1}{360} \sum_{v \in D} (\varepsilon_v^p + tp_{vv'}^p + \tau_{v'}^p) x_{vv'}^p - \varepsilon_0^p \right] = 1, \quad \forall v' \in D, \quad \forall p \in P \quad (15)$$

Na potrzeby uwzględnienia ograniczeń wynikających z przerw w prowadzeniu pojazdów o DMC powyżej 3,5t niezbędna jest znajomość skumulowanego czasu jazdy do chwili dotarcia danego pojazdu do określonego punktu sieci dystrybucji. Czas ten zapisano w postaci następującego ograniczenia:

$$ts_{v'}^p = \sum_{v \in D} \left( tp_{vv'}^p x_{vv'}^p + \sum_{v'' \in D} (ts_{v''}^p + tp_{v''v'}^p) x_{v''v'}^p \right), \quad \forall v' \in D, \quad \forall p \in P : \delta(p) = 0 \quad (16)$$

przy czym oznaczenie  $ts_{v'}^p$  ma interpretację skumulowanego czasu prowadzenia  $p$ -tego pojazdu od chwili jego wyjazdu z bazy do chwili dojazdu do  $v'$ -tego punktu sieci dystrybucji.

Uwzględniając zależność (15) oraz (16) sformułowano następujące ograniczenia na przerwy wynikające z obowiązkowych przerw w pracy oraz z obowiązkowych przerw w prowadzeniu pojazdu:

- dla kierowców prowadzących pojazdy o DMC do 3,5t:

$$to_{v'}^p \geq \left[ \frac{1}{360} \sum_{v \in D} (\varepsilon_v^p + tp_{vv'}^p + \tau_{v'}^p) x_{vv'}^p - \varepsilon_0^p \right] 45 + \\ - \sum_{v \in D} \left[ \frac{1}{360} \sum_{v'' \in D} (\varepsilon_{v''}^p + tp_{v''v}^p + \tau_v^p) x_{v''v}^p - \varepsilon_0^p \right] 45 x_{vv'}^p, \quad \forall v' \in D, \quad \forall p \in P : \delta(p) = 1 \quad (17)$$

- dla kierowców prowadzących pojazdy o DMC powyżej 3,5t:

$$to_{v'}^p \geq \left[ \max \left\{ \frac{1}{360} \sum_{v \in D} (\varepsilon_v^p + tp_{vv'}^p + \tau_{v'}^p) x_{vv'}^p - \varepsilon_0^p; \frac{1}{270} ts_{v'}^p \right\} \right] 45 - \\ \sum_{v \in D} \left[ \max \left\{ \frac{1}{360} \sum_{v'' \in D} (\varepsilon_{v''}^p + tp_{v''v}^p + \tau_v^p) x_{v''v}^p - \varepsilon_0^p; \frac{1}{270} ts_{v'}^p \right\} \right] 45 x_{vv'}^p, \quad \forall v' \in D, \quad \forall p \in P : \delta(p) = 0 \quad (18)$$

przy czym oznaczenie  $to_{v'}^p$  ma interpretację czasu przerwy, wynikającej z obowiązkowych przerw w pracy oraz przerw w prowadzeniu pojazdu udzielonej kierowcy  $p$ -tego pojazdu przed obsługą w  $v'$ -tym punkcie sieci dystrybucji.

Uwzględnienie konieczności udzielania przerw kierowcom, poza wprowadzeniem do modelu dodatkowych ograniczeń (16) – (18), wymaga zastąpienia ograniczenia (8) następującym:

$$\varepsilon_v^p = \sum_{v \in D} \max(\varepsilon_v^p + tp_{vv'}^p + to_{v'}^p, \alpha_{v'}^p) x_{vv'}^p, \quad \forall v' \in O, \quad \forall p \in P \quad (19)$$

W przypadku planowania obsługi transportowej bez uwzględnienia ograniczeń wynikających z okien czasowych (tj. ograniczeń nr (8) – (10) ograniczenie (12) przyjmuje następującą postać:

$$\sum_{v \in V} \tau_v^p \sum_{v' \in V} x_{vv'}^p + \sum_{v \in V} \sum_{v' \in V} tp_{vv'}^p x_{vv'}^p \leq TP, \quad \forall p \in P \quad (20)$$

Ponadto, w takim przypadku, nie należy uwzględniać ograniczeń dotyczących przerw w pracy (16) – (19).



#### 4. WNIOSKI

Przedstawione w artykule podejście do optymalizacji obsługi transportowej przedsiębiorstwa w sferze dystrybucji zawiera propozycję oryginalnych ograniczeń, które wynikają z regulacji prawnych czasu pracy kierowców. Zdaniem autorów, stwierdzone we wszystkich materiałach źródłowych, pomijanie tych ograniczeń podczas optymalizacji prowadzi w skrajnym przypadku nawet do tego, że wyznaczone rozwiązanie jest niedopuszczalne lub w najlepszym przypadku nie jest rozwiązaniem optymalnym.

Łatwo wykazać, że bez uwzględnienia ograniczenia (12) lub też (13) wyznaczone plany pracy pojazdów oraz kierowców nie będą mogły być realizowane ze względu na ich sprzeczność choćby z kodeksem pracy, czy też rozporządzeniem WE 561/2007. W obecnych realiach prowadzenia działalności przewozowej drastyczne lub regularne odstępstwa od tych przepisów mogą skutkować utratą dobrej reputacji oraz w konsekwencji możliwości realizacji zadań przewozowych. Równie brzemienne w skutkach mogą być plany przewozów, w których ignorowane są wymagane prawem przerwy w pracy, czy też w prowadzeniu pojazdu. Zatem także pozostałe z ograniczeń podanych w rozdziale 3 muszą być brane pod uwagę.

W praktyce możliwe jest również dokonywanie optymalizacji obsługi transportowej z tzw. poprawką. Na przykład można ustalać plany pracy pojazdów w podsystemie dystrybucji bez uwzględniania przerw w pracy, a następnie korygować uzyskane wyniki wprowadzając wymagane prawem przerwy. Należy jednak zauważyć, że w takim przypadku obsługa części klientów wynikająca ze skorygowanych planów pracy pojazdów może być ustalona poza oknami czasowymi. Zatem, przy takim podejściu brak jest jakichkolwiek gwarancji uzyskania rozwiązania dopuszczalnego a tym bardziej optymalnego.

Jak wykazano powyżej, uwzględnianie zaproponowanych przez autorów nowych ograniczeń planowania obsługi transportowej jest niezbędne. Jednak w takim przypadku złożoność obliczeniowa zadania optymalizacji obsługi transportowej staje się większa niż dotychczas (bez zaproponowanych ograniczeń jest to zagadnienie NP-trudne). Konieczne jest więc opracowanie dla sformułowanego problemu specjalnego algorytmu jego rozwiązania, co będzie przedmiotem kolejnego artykułu autorów.

---

#### Streszczenie

W modelach optymalizacyjnych dotyczących planowania tras przewozu, czy szerzej obsługi transportowej przedsiębiorstwa, problematyka ograniczeń czasu pracy kierowców jest sprowadzana do uzupełnienia modelu o jedno ograniczenie dotyczące czasu pracy kierowców ze stałym parametrem. W kontekście obecnych regulacji prawnych takie uproszczenie rzeczywistości zdaniem autorów należy uznać za akceptowalne jedynie w szczególnych przypadkach. Istnieje, zatem potrzeba bardziej szczegółowego rozpoznania uwarunkowań prawnych organizacji czasu pracy kierowców oraz ich uwzględniania w modelach optymalizacyjnych. W artykule po raz pierwszy podjęto się uzupełniania istniejącej luki w tym zakresie, przy czym ograniczono się do planowania pracy kierowców w jednym dniu.

Słowa kluczowe: obsługa transportowa, czas pracy kierowców, logistyka, optymalizacja obsługi transportowej.

#### Conditions for optimizing the transport service due to drivers' hours restrictions

#### Abstract

The optimization models for planning transport routes, or more broadly enterprises transport service, the issue of restrictions on drivers' working time is reduced to supplement the model with a restriction on drivers' hours with fixed parameter. In authors' opinion such simplification of reality current regulations, should be regarded as acceptable only in special cases. There is a need for a more detailed diagnosis of the legal conditions working time of drivers and their role in optimization models. A more detailed diagnosis of the legal conditions working time of drivers and their role in optimization models are necessary. The article includes a filling the existing gap in this area, but it's limited to the planning of drivers work in one day.

Key words: transport service, drivers' hours rules, logistics, optimization of transport service.

## LITERATURA

- [1] Ambroziak T., Pyza D., Selected aspects of transportation system modelling, Total Logistic Management, AGH University of Science and Technology Press, ISSN 1689-5959, Krakow 2008.
- [2] Assad A.: Modeling and Implementation Issues in Vehicle Routing. W: Golden B. Assad A. (red.): Vehicle Routing: Methods and Studies. North-Holland Publishing, Amsterdam 1988.
- [3] Braysy O., Gendreau M.: Genetics algorithmic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. SINTEF Report, Research Council of Norway, Oslo 2001.
- [4] Całczyński A.: Metody Optymalizacyjne w Obsłudze Transportowej Rynku, Państwowe Wydawnictwa Ekonomiczne, Warszawa 1992.
- [5] Dyrektywa 2002/15/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 11 marca 2002 r. w sprawie organizacji czasu pracy osób wykonujących czynności w trasie w zakresie transportu drogowego.
- [6] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o czasie pracy kierowców, ze zm.
- [7] Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy.
- [8] Rozporządzenie (WE) nr 561/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 marca 2006 r. w sprawie harmonizacji niektórych przepisów socjalnych odnoszących się do transportu drogowego oraz zmieniającym rozporządzenia Rady (EWG) nr 3821/85 i (WE) 2135/98, jak również uchylającym rozporządzenie Rady (EWG) nr 3820/85.
- [9] Umowa Europejska dotycząca pracy załóg pojazdów wykonujących międzynarodowe przewozy drogowe (AETR).
- [10] Jacyna M., Modelowanie i ocena systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [11] Jacyna M., Modelowanie wielokryterialne w zastosowaniu do oceny systemów transportowych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej - Transport, z.47, Oficyna Wyd. PW, Warszawa 2001
- [12] Lewczuk K., Wasiak M., Transportation services costs allocation for the delivery system, 2011 21st International Conference on Systems Engineering, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA, Las Vegas 2011
- [13] Pyza D., Transport systems modeling in hierarchical distribution, Conference Proceedings ICIL 2012, ISBN 978-953-7738-16-7, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture Zagreb, Croatia 2012.
- [14] Pyza D., Computer-assisted supply chain distribution processes – chapter 7. [W:] Fertsch M., Grzybowska K. (ed.): Logistics in the enterprises – selected aspects, Monograph, ISBN 978-83-7143-94-6-9. Publishing House of Poznan University of Technology, Poland, Poznan 2010.
- [15] Pyza D., Wybrane aspekty racjonalizacji systemów przewozowych w łańcuchach dostaw przy ograniczonych zasobach. Czasopismo Logistyka nr 4/2011, ISSN 1231-5478, Poznań 2011.
- [16] Słownik terminologii logistycznej. Biblioteka Logistyka, Poznań 2006.
- [17] Wasiak M., Formal notation of a logistic system model taking into consideration cargo stream transformations, Warszawska Drukarnia Naukowa PAN, Archives of Transport, Vol. 23, Iss. 1, ISSN 0866-9546, Warszawa 2011.
- [18] Wasiak M., Modelowanie przepływu ładunków w zastosowaniu do wyznaczania potencjału systemów logistycznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Prace Naukowe Transport, z. 79, ISSN 1230-9265, Warszawa 2011.
- [19] Wasiak M., Optimization of a potential of logistics system. [W:] Selvaraj H., Zydek D. (ed.): ICSEng 20011, Proceedings of 21st International Conference on Systems Engineering, ISBN 978-0-7695-4495-3, IEEE Computer Society, USA, California, Los Alamitos
- [20] Wasiak M., The problem of cargo stream transformations in logistic system optimization – rozdział 5. [W:] Fertsch M., Grzybowska K. (ed.): Logistics in the enterprises – selected aspects, Monograph, ISBN 978-83-7143-94-6-9. Publishing House of Poznan University of Technology, Poland, Poznań 2010
- [21] Wasiak M., Jachimowski R., Wybrane aspekty optymalizacji obsługi transportowej przedsiębiorstwa, Logistyka nr 4/2008 (Lipiec-Sierpień), artykuł na CD

**Acknowledgment**

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy Nr N N509 601939 – kierownik projektu dr inż. Dariusz Pyza.