

Katarzyna Zofia GDOWSKA *, Radosław DOMAGALSKI**

WPLYW SYSTEMU ORGANIZACJI PRACY NA KOSZTY EKSPLOATACYJNE W MIEJSKIEJ SIECI TRANSPORTU PUBLICZNEGO

Streszczenie

Dążąc do minimalizacji kosztów eksploatacyjnych w przedsiębiorstwie realizującym obsługę miejskiej sieci transportu publicznego, przewoźnicy starają się pogrupować kursy tak, aby wykonać je przy pomocy jak najmniejszej liczby pojazdów oraz zredukować sumaryczny koszt pracy kierowców. Sposób minimalizacji kosztów zależy od umowy zawartej z lokalnymi władzami – zleceniodawca może narzucić konkretne godziny odjazdów z przystanków początkowych albo wymagać jedynie wykonania określonej liczby kursów w przedziale czasowym.

W niniejszej pracy przedstawiono problem zależności kosztów eksploatacji taboru od sposobu organizacji pracy przyjętej w miejskim przedsiębiorstwie komunikacyjnym. Analizę przeprowadzono dla autobusów obsługujących jedną linię. Po przedstawieniu specyfiki zagadnienia, problem zaprezentowany jest w formie studiów trzech przypadków. Dla każdego wariantu podano sformalizowany zapis minimalizowanych kosztów.

Słowa kluczowe: miejska sieć transportowa, optymalizacja kosztowa, organizacja pracy, zarządzanie ruchem w sieci

1. WPROWADZENIE

Istotnym wyznacznikiem jakości życia we współczesnych ośrodkach miejskich jest poziom jakości usług komunikacji publicznej, świadczonych na ich terenie – zarówno stopień rozwoju sieci, liczba i częstotliwość połączeń między wybranymi punktami, jak i punktualność, cena biletu czy bezpieczeństwo korzystania z pojazdów komunikacji zbiorowej. Z jednej strony problematyka związana z komunikacją zbiorową obejmuje zagadnienia strategii rozwoju transportu publicznego – prognozy i projekty powiększania rozmiaru sieci, funkcjonowanie komunikacji publicznej w specyficznych uwarunkowaniach miasta – preferowane środki transportu, wytyczone specjalne pasy jezdni dla ruchu pojazdów komunikacji zbiorowej, liczba przewoźników, ich kompetencje i relacje z administracją lokalną. Drugą grupą problemów są szczegółowe kwestie, z którymi zmagają się przedsiębiorstwa transportowe – wytyczanie tras, planowanie rozmieszczenia przystanków i punktów przesiadkowych, wykorzystanie floty oraz planowanie jej remontów i wymiany, sposób organizacji pracy kierowców oraz specyficzne problemy w zakresie tworzenia rozkładów jazdy i egzekwowania ich punktualnego wypełnienia.

O bogactwie problematyki związanej z sieciami komunikacji miejskiej, świadczy rozpiętość literatury przedmiotu; sieci komunikacji miejskiej analizowane są z różnych punktów widzenia oraz podejmowane są próby optymalizacji różnych elementów pracy sieci, z wykorzystaniem rozmaitych metod. Zagadnieniami strategicznymi w funkcjonowaniu sieci

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania

** doktorant, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania

transportowych zajmowali się, między innymi A.T. Murray, R. Davis, R.J. Stimson i L. Ferreira [3], R. Robinson [6], P.D. Heermann i D.L. Caskey [1] oraz S. Ossowski [5].

Poszczególnymi problemami optymalizacji pracy sieci zajmowało się wielu autorów, którzy badali konkretne kwestie z różnych perspektyw oraz poszukiwali rozwiązań, aplikując rozmaite metody. Przykładowo, problemem opóźnień, występujących w sieciach komunikacyjnych, oraz ich konsekwencji dla przepływu pasażerów w punktach przesiadkowych zajmowała się A. Schöbel. Opracowała model programowania całkowitoliczbowego mieszanego, którego celem jest minimalizacja sumarycznego czasu opóźnień wszystkich pasażerów na całych trasach ich podróży, z których pewien etap odbywają wspólnie spóźnionym autobusem [8]. Co więcej, zakłócenia systemu transportowego przekładają się w pierwszej kolejności na zaburzenia w punktualnym wypełnieniu rozkładu jazdy. Dlatego S. Zidi i S. Maouche podjęli próbę zastosowania algorytmu mrówkowego (*ant colony algorithm*) w celu regulowania w czasie realnym punktualności w sieci komunikacyjnej [9].

Z kolei L. Hou, W. Li, L. Ma i J. Xu opracowali dla sieci komunikacji publicznej ewolucyjny algorytm dla problemów optymalizacji wielokryterialnej. Efektywnie i dokładnie otrzymywano rozwiązanie dla problemów wielokryterialnych o przeciwnych zwrotach poszczególnych kryteriów, np. dla uzyskania najwyższej korzyści ekonomicznej z pracy autobusu przy minimalizacji całkowitego czasu przejazdu danej trasy [2].

Istotnym zagadnieniem dla efektywnej pracy sieci komunikacyjnej, wykorzystującej różne środki transportu jest rozmieszczenie w sieci oraz koordynacja rozkładów jazdy w punktach przesiadkowych (*hub*). X. Zhou, X. Zhang oraz C. Tian podjęli próbę budowy modelu optymalizującego przepływy w punktach przesiadkowych tak, aby funkcjonowanie systemu było jak najbardziej korzystne z punktu widzenia kosztów eksploatacyjnych, kosztu społecznego oraz kosztu przemieszczania pasażerów przez węzeł przesiadkowy [10]. Natomiast B. Sahin, H. Yilmaz, Y. Ust, A.F. Guneri i B. Gulsun analizowali koszty transportu z perspektywy ich znaczenia w procesie wzrostu systemu komunikacyjnego. Uznali jednostkowy koszt przewiezienia ładunku przez długość trasy za istotny wskaźnik ekonomiczny [7].

Dążąc do minimalizacji kosztów eksploatacyjnych w miejskiej sieci transportu publicznego, przewoźnicy starają się pogrupować kursy tak, aby wykonać je przy pomocy jak najmniejszej liczby pojazdów oraz zredukować sumaryczny koszt pracy kierowców. Sposób minimalizacji kosztów zależy od umowy zawartej z lokalnymi władzami – zleceniodawca może narzucić konkretne godziny odjazdów z przystanków początkowych albo wymagać jedynie wykonania określonej liczby kursów w przedziale czasowym (przykładowo, narzucając stałą częstotliwość kursów w danym okresie). Drugi wariant jest korzystniejszy dla przedsiębiorstwa, gdyż pozwala dokonać oszczędności dzięki sterowaniu godzinami odjazdów. Innym sposobem redukcji kosztów – niewrażliwym na warunki umowy – jest wprowadzenie rotacji kierowców obsługujących poszczególne linie.

W niniejszej pracy przedstawiono problem zależności kosztów eksploatacji taboru od sposobu organizacji pracy przyjętej w miejskim przedsiębiorstwie komunikacyjnym. Analizę przeprowadzono dla autobusów obsługujących jedną linię. Po przedstawieniu specyfiki zagadnienia, problem zaprezentowany jest w formie studiów trzech przypadków. Dla każdego wariantu podano sformalizowany zapis minimalizowanych kosztów.

2. SPECYFIKA PROBLEMU

Podstawowym celem przedsiębiorstwa transportowego, które świadczy usługi komunikacji zbiorowej na terenie miasta, jest maksymalizacja zysku, rozumianego jako różnica między sumą uzyskanych przychodów z działalności operacyjnej a całkowitym

kosztem związanym z realizacją tych usług. Przewoźnik jest jedynie usługodawcą, a klientem, który nabywa usługę miejskiego transportu zbiorowego jest zazwyczaj organ administracji lokalnej. Zamawiając usługę, zleceniodawca określa dzienną i/lub godzinową liczbę kursów pomiędzy końcowymi przystankami. Przychód z danego zleconego kursu jest wyliczany jako liczba kilometrów przejechanych w ramach tego kursu pomnożona albo przez stałą stawkę za kilometr albo przez uśredniony zysk ze sprzedaży biletów. Można przyjąć, iż przychód przedsiębiorstwa transportowego – związany ze świadczeniem tego rodzaju usług – jest równy całkowitemu przychodowi uzyskanemu za wykonanie poszczególnych kursów pomnożonego przez ich liczbę w danym okresie.

Dlatego też rozmiar zysku, jaki osiąga przewoźnik, zależy w dużej mierze od wysokości kosztów, związanych z realizacją zleconych przewozów. Wśród operacyjnych kosztów zmiennych przedsiębiorstwa komunikacji publicznej można wyróżnić trzy zasadnicze grupy:

- a) koszty związane z eksploatacją floty transportowej – Do tej grupy należy przede wszystkim zaliczyć koszt paliwa. Wysokość kosztów eksploatacyjnych jest w znacznym stopniu proporcjonalna do liczby wykonanych kursów; rozpiętość zmian tej wielkości nie jest znaczna. Kolejną składową eksploatacji taboru, która generuje koszty jest przygotowanie floty do pracy oraz dojazdu autobusów do początkowych przystanków ich pracy oraz powroty do zajezdni. Koszt ten uzależniony jest głównie od liczby pojazdów, wykorzystanych do realizacji zamówionych przewozów – znaczący wpływ mają charakterystyki techniczne taboru, w szczególności współczynnik zużycia paliwa oraz wielkość nakładów na obsługę pojazdu przed i po pracy, która pozwala utrzymać go w zdolności do bezawaryjnego funkcjonowania. Kolejnym czynnikiem oddziałującym na wysokość tej grupy kosztów jest długość przerw pomiędzy kolejnymi (niekoniecznie na tej samej linii) przewozami wykonywanymi przez dany pojazd – nieracjonalnie zaplanowane okresy oczekiwania autobusów pomiędzy kursami mogą skutkować koniecznością użycia do obsługi ruchu pasażerskiego kolejnych autobusów, co wymusza poniesienie kosztów przygotowania ich do ruchu oraz wyjazdu na linię i powrotu do zajezdni. Dlatego przewoźnik zainteresowany jest takim przydziałem pojazdów do obsługi kursów, aby liczebność floty, wykonującej zamówione przewozy, była w każdym momencie najmniejsza z możliwych.
- b) koszty pracy kierowców – Koszty te zależą od długości czasu pracy kierowców – normalny czas pracy oraz godziny nadliczbowe. Można przyjąć, iż czas ten zaczyna być naliczany od momentu wyjazdu z zajezdni, zaś kierowca kończy pracę w chwili powrotu do bazy. Do czasu pracy wliczane są przerwy między kolejnymi kursami, niezależnie od ich długości. Należy pamiętać, że w organizacji plan dziennego czasu pracy kierowcy musi być zgodny z regulacjami prawnymi w zakresie obowiązkowych przerw i maksymalnej dopuszczalnej długości czasu pracy ciągłej. W niniejszym opracowaniu pominąć można te elementy kosztu zatrudnienia pracownika, które związane są z obligatoryjnymi składkami, między innymi ubezpieczeniowymi i emerytalnymi. Podobnie jak w przypadku floty, przewoźnikowi zależy na zatrudnieniu minimalnej liczby kierowców, która pozwoli zrealizować zamówione przez zleceniodawcę przewozy.
- c) koszty kar poniesionych za niezrealizowane kursy – Umowa o świadczeniu usług publicznego transportu zbiorowego obejmuje zapis, który daje zleceniodawcy prawo do nakładania na przewoźnika kar o ustalonej wysokości w sytuacji, gdy przedsiębiorstwo transportowe nie zrealizuje zaplanowanych kursów z powodów zawinionych przez nie samo. Pojęcie „własnej winy” przewoźnika posiada nierzadko nieprecyzyjne i sporne brzmienie. Oczywiście, w przypadku, gdy kurs nie został wykonany ze względu na, przykładowo, zły stan techniczny pojazdów, przydzielonych przez przedsiębiorstwo do obsługi tych przejazdów, wina przewoźnika jest bezsporna. Kontrowersje pojawiają się,

gdy kurs nie został zrealizowany z powodu utrudnień w ruchu ulicznym. Z jednej strony „korki” są okolicznością niezależną od przewoźnika, ale mając pewne doświadczenie i znając dobowy rozkład natężenia ruchu w mieście, powinna być przygotowana odpowiednio liczny tabor, który zagwarantuje, że wszystkie odjazdy z przystanków końcowych (pętli) odbywają się zgodnie z rozkładem jazdy. Pojazdy, które zakończyły kursy z opóźnieniem, miałyby na przystanku końcowym przerwę, aż do rozpoczęcia kolejnego kursu, jaki mogłyby punktualnie rozpocząć i realizować bez żadnych przeciwwskazań. Niestety, zastosowanie takiej organizacji ruchu w sieci transportowej wydaje się niemożliwe – przykładowo, gdy dla linii o 10-minutowej częstotliwości kursów opóźnienie sięga kilkudziesięciu minut. Sytuacje tego typu nie należą do rzadkości w rzeczywistości polskich miast.

Można podjąć próby redukcji wszystkich wymienionych kosztów poprzez odpowiednie planowanie rozkładów odjazdów z przystanków końcowych oraz dobór kursów obsługiwanych przez dany pojazd. Istotnym ograniczeniem dla działań tego typu są zapisy umowy o świadczeniu usług zbiorowego transportu publicznego, zawartej pomiędzy zleceniodawcą a przewoźnikiem. Kierując się tymi ustaleniami, można wyszczególnić trzy przypadki:

- a) zleceniodawca narzuca precyzyjnie momenty odjazdów poszczególnych kursów z przystanków początkowych – Jest to bardzo niekorzystna sytuacja z punktu widzenia przewoźnika, ponieważ jest on mocno ograniczony w zakresie organizacji pracy kierowców i wykorzystania taboru. Znacząco powiększa to jego koszty operacyjne.
- b) zleceniodawca narzuca jedynie dzienną lub/i godzinową liczbę kursów danej linii oraz określa ich częstotliwość, stałą w tym okresie – W tym wypadku przewoźnik ma dużo większy wpływ na kształt rozkładu jazdy. Dzięki temu w wielu sytuacjach, odpowiednio organizując pracę kierowców i wykorzystanie taboru, może znacząco zredukować koszty operacyjne.
- c) zleceniodawca narzuca dzienną lub/i godzinową liczbę kursów danej linii, określa ich częstotliwość stałą w tym okresie oraz dopuszcza niewielkie odstępstwa w określonych przypadkach – Przykładowo, liczba zmian w zamówieniu, wprowadzonych przez przewoźnika może być ustalona procentowo w stosunku do częstotliwości kursowania. Dopuszczenie przez zleceniodawcę możliwości wprowadzania nieznacznych zmian w liczbie i częstotliwości kursowania powoduje, że wariant ten jest najkorzystniejszy z punktu widzenia przewoźnika, gdyż umożliwia mu elastyczność organizacji pracy, co z kolei pozwala spełnić wymogi, wynikające z przepisów prawa.

Implikacje omówionych regulacji zostaną przedstawione na przykładzie organizacji pracy publicznej komunikacji zbiorowej dla wyizolowanej z sieci transportowej jednej linii autobusowej. Dla każdej sytuacji zostaną omówione propozycje rozwiązania, zapewniające przedsiębiorstwu minimalizację kosztów operacyjnych.

3. STUDIA PRZYPADKÓW

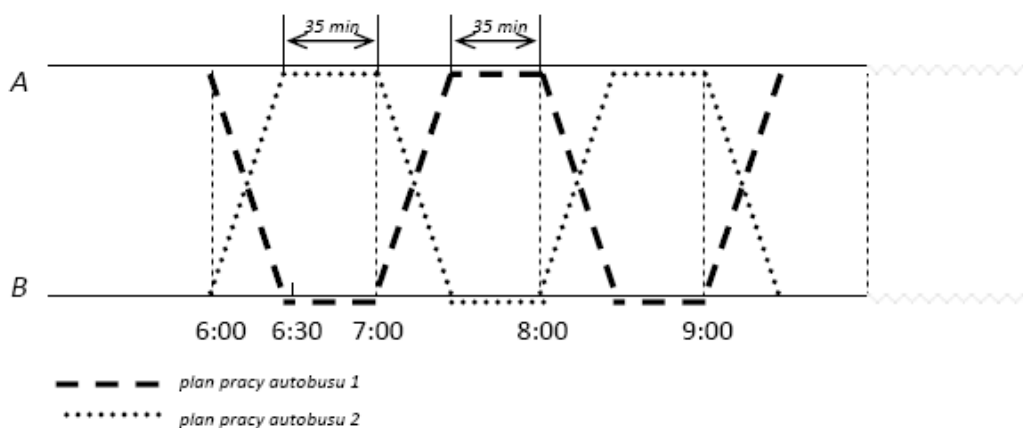
W analizowanych poniżej przypadkach zleceniodawca zamówił zapewnienie przewozu pasażerów środkami publicznej komunikacji zbiorowej na trasie z punktu *A* do *B* i z powrotem. Częstotliwość przewozów została określona na jeden kurs w każdą stronę w ciągu godziny. Przedsiębiorstwo komunikacyjne zdecydowało zapewnić pasażerom komunikację na tej trasie bez przesiadek, czyli uruchomić linię autobusową o końcowych przystankach w punktach *A* oraz *B*. W obu kierunkach autobus pokonuje drogę tymi samymi ulicami; czas przejazdu w obu kierunkach jest identyczny, wynosi 25 minut. Oczywiście, przystanek

końcowy kursu z A do B , jest przystankiem początkowym dla przejazdu w kierunku przeciwnym.

Przedsiębiorstwo transportowe dysponuje flotą pojazdów jednego rodzaju, dlatego koszty przygotowania do ruchu dla każdego autobusu są równe, zaś koszty dojazdu do przystanku początkowego oraz powrotu do zajezdni zależne są od długości tych odcinków. Dla firmy korzystne jest, aby kierowcy nie pracowali w godzinach nadliczbowych, dlatego dąży się do tego, by dzień pracy kierowcy nie trwał dłużej niż 8 godzin. Autobusy nie są przypisane do kierowców w tym znaczeniu, że, gdy kierowca kończy dzień pracy nie musi zjechać do zajezdni autobusem, który prowadził. W trakcie dnia pracy kierowcy zazwyczaj nie zmieniają pojazdu, a autobus obsługuje określoną linię. Zmiennik może przejąć pojazd w dowolnym momencie i kontynuować przejazdy wyznaczone dla tego autobusu. Przedstawione warunki są wspólne dla wszystkich zaprezentowanych poniżej przypadków.

Przypadek I

W przypadku I zleceniodawca oprócz częstotliwości kursów w obu kierunkach na trasie pomiędzy punktami A i B , określił również konkretne godziny odjazdów z przystanków końcowych. Autobus powinien odjeżdżać o każdej pełnej godzinie z przystanku początkowego zarówno w punkcie A jak i B . Sytuację tę schematycznie obrazuje rysunek 1.



Rys. 1. Schemat organizacji pracy (odjazdy kolejnych kursów z przystanków w punktach A i B) dla przypadku I

Źródło: opracowanie własne

Łatwo zauważyć, że w tych warunkach do realizacji wszystkich kursów na tej linii przewoźnikowi wystarczą dwa autobusy oraz co najmniej dwóch kierowców. Czas przerw pomiędzy kolejnymi kursami każdego z nich wynosi 35 minut, ale może być wykorzystany do korekty punktualności kursów – przykładowo, nawet gdy kurs zakończy się z 30-minutowym opóźnieniem, kolejny przewóz, wykonywany przez ten autobus, rozpocznie się punktualnie. Jest to korzystne rozwiązanie na takich trasach, gdzie utrudnienia komunikacyjne są częste, ale występują nieregularnie, a spowodowane przez nie opóźnienia nie przekraczają długości czasu przerwy pomiędzy kolejnymi zadaniami autobusu.

Całkowity zmienny koszt operacyjny związany z wykonaniem tej usługi transportowej opisuje równanie (1). Przedsiębiorstwu zależy, aby wyznaczony w ten sposób koszt był jak najmniejszy.

$$KC_I = 2 * KP + KW_A + KW_B + KZ_A + KZ_B + KK * x + KT_1 + KT_2 \quad (1)$$

gdzie:

KC_I – koszt całkowity w przypadku I,

KP – koszt przygotowania autobusu do ruchu,

KW_A – koszt dojazdu autobusu do przystanku początkowego w punkcie A,

KW_B – koszt dojazdu autobusu do przystanku początkowego w punkcie B,

KZ_A – koszt zjazdu autobusu z przystanku końcowego w punkcie A,

KZ_B – koszt zjazdu autobusu z przystanku końcowego w punkcie B,

x – liczba kursów w badanym okresie, niezależnie od tego, czy odbywają się one w kierunku z A do B, czy odwrotnie,

KK – koszt wykonania pojedynczego kursu, niezależnie od tego, czy odbywają się one w kierunku z A do B, czy odwrotnie,

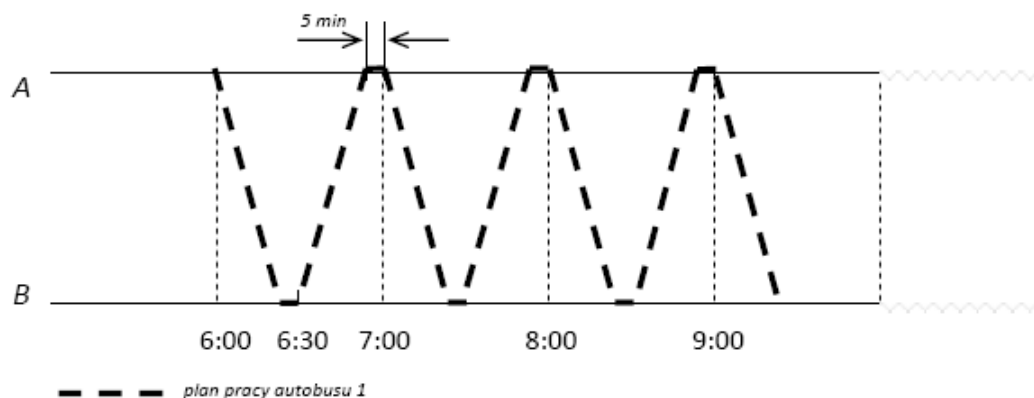
KT_1 – koszt pracy kierowców, obsługujących autobus 1,

KT_2 – koszt pracy kierowców, obsługujących autobus 2,

W analogiczny sposób może zostać wyznaczony koszt operacyjny dla każdej linii komunikacyjnej.

Przypadek II

W tej sytuacji zleceniodawca zdefiniował częstotliwości kursów w obu kierunkach na trasie pomiędzy punktami A i B – autobusy kursują co godzinę. Klient pozostawił przewoźnikowi swobodę ustalenia dla obu kierunków czasów rozpoczęcia pierwszych kursów w badanym okresie. Określona pora odjazdu pierwszego kursu (na przykład na 6:10) powtarzana jest w każdym kolejnym kursie (7:10, 8:10, 9:10 itd.) w rozpatrywanym przedziale czasu. Schemat tego przypadku przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schemat organizacji pracy (odjazdy kolejnych kursów z przystanków w punktach A i B) dla przypadku II

Źródło: opracowanie własne

Dla realizacji zamówionych przewozów w tym przypadku może wystarczyć jeden autobus. Pomiędzy kolejnymi kursami autobus i kierowca mają zaplanowaną 5-minutową przerwę. W wypadku utrudnień w ruchu drogowym czas ten można i należy skrócić, aby kolejny kurs odjechał punktualnie lub – gdy opóźnienie poprzedniego przekracza 5 minut – należy z tej przerwy całkiem zrezygnować. Decyzję tę podejmuje dyspozytor ruchu w sieci komunikacyjnej.

Całkowity zmienny koszt operacyjny związany z obsługą tej linii w analizowanym przypadku opisany jest równaniem (2).

$$KC_{II} = KP + KW_Y + KZ_Z + KK^* \cdot x + KT_1^* \quad (2)$$

gdzie:

KC_{II} – koszt całkowity w przypadku II,

KP – koszt przygotowania autobusu do ruchu,

x – liczba kursów w badanym okresie, niezależnie od tego, czy odbywają się one w kierunku z A do B, czy odwrotnie,

KK – koszt wykonania pojedynczego kursu, niezależnie od tego, czy odbywają się one w kierunku z A do B, czy odwrotnie,

KW_Y – koszt dojazdu autobusu do przystanku początkowego w punkcie Y,

KZ_Z – koszt zjazdu autobusu z przystanku końcowego w punkcie Z,

KT_1^* – koszt pracy kierowców, obsługujących autobus 1,

Przedsiębiorstwo transportowe może samodzielnie wyznaczyć godzinę rozpoczęcia pierwszego kursu w danym okresie, dlatego autobus obsługujący tę linię rozpocznie pracę w punkcie, który jest położony bliżej zajezdni. Podyktowane jest to dążeniem do redukcji kosztów dojazdu z zajezdni do początkowego przystanku. Warunek ten opisuje równanie (3).

$$KW_Y = \min < KW_A, KW_B > \quad (3)$$

Podobne pobudki kierują wyborem przystanku końcowego dla pracy autobusu w danym okresie. Zostało to opisane równaniem (4).

$$KZ_Z = \min < KZ_A, KZ_B > \quad (4)$$

Z punktu widzenia kosztów najkorzystniejszym rozwiązaniem w tym przypadku jest taka organizacja pracy, aby wszystkie kursy wykonał jeden autobus. Sytuacja ta jest możliwa, gdy koszt czasu pracy kierowców obsługujących autobus spełnia warunki (5), (6) i (7).

$$KT_1^* > KT_1 \quad (5)$$

$$KT_1^* > KT_2 \quad (6)$$

$$KT_1^* \ll KT_1 + KT_2 \quad (7)$$

Jednakże wykorzystanie w opisywanej sytuacji (rys. 2) jednego autobusu, prowadzonego cały czas przez jednego kierowcę przebiega bez problemów, gdy rozpatrywany okres nie przekracza sześciu godzin. Zgodnie z prawem pracy każdemu kierowcy, pracującemu dłużej niż sześć godzin należy zapewnić jedną co najmniej 15-minutową przerwę na posiłek regeneracyjny. Dla porównania, w przypadku I przerwy między kolejnymi kursami autobusu umożliwiały spełnienie tego wymogu.

Jeżeli w rozpatrywanym tutaj przypadku II do obsługi linii przydzielono jednego kierowcę i jeden autobus realizację wymogu 15-minutowej przerwy można rozwiązać na 2 sposoby.

- a) Można wprowadzić dodatkowego kierowcę, który podmieni kierowcę „podstawowego” w czasie przerwy posiłkowej, *de facto* odbędzie jeden cykl kursów tam i z powrotem. Zapewnia to kierowcy „podstawowemu” przerwę niezależnie od tego z jakim opóźnieniem skończy kurs ją poprzedzający.

W tej sytuacji koszt operacyjny obsługi tej linii w okresie 8-godzinnego dnia pracy „podstawowego” kierowcy powiększyłby się o koszt pracy kierowcy dodatkowego; co opisuje równanie (8).

$$KC_{II}^* = KC_{II} + KT_R \quad (8)$$

gdzie:

KC_{II}^* – koszt całkowity w przypadku IIa,

KT_R – koszt pracy kierowcy dodatkowego

- b) Do obsługi linii można wykorzystać dwa autobusy, analogicznie, jak dla przypadku 1 (por. rys. 1). Koszt operacyjny w tym przypadku jest opisany równaniem (9).

$$KC_{II}^{**} = KC_{II} + KP + KW_Y + KZ_Z + KT_1 + KT_2 - KT_1^* \quad (9)$$

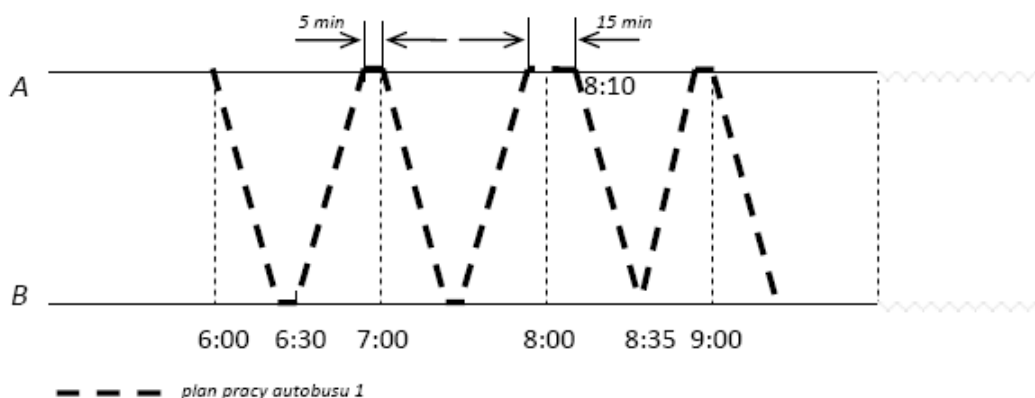
gdzie:

KC_{II}^{**} – koszt całkowity w przypadku IIb,

Z pośród dwóch zaproponowanych wariantów wprowadzenie dodatkowego kierowcy jest rozwiązaniem dużo korzystniejszym dla przewoźnika. Jeden dodatkowy kierowca może być zmiennikiem na czas przerwy posiłkowej dla kilku kierowców „podstawowych”, natomiast uruchamiając kolejny autobus, przedsiębiorstwo ponosi koszty związane z eksploatacją pojazdu oraz pracą jego kierowcy.

Z punktu widzenia przedsiębiorstwa transportowego najkorzystniejszym scenariuszem byłoby wprowadzenie zmiany w rozkładzie jazdy (przesunięcie odjazdu jednego kursu o 10 minut), która gwarantowałaby kierowcy tę 15-minutową przerwę. Wariant ten jest analizowany jako przypadek III.

Przypadek III



Rys. 3. Schemat organizacji pracy (odjazdy kolejnych kursów z przystanków w punktach A i B) dla przypadku III

Źródło: opracowanie własne

Schemat rozwiązania, omawianego w tym przypadku prezentuje rysunek 3. Jest on analogiczny do przypadku II, różni się jedynie tym, że przewoźnik posiada prawo do przesunięcia rozpoczęcia jednego kursu o 10 minut. Dzięki temu kierowca ma zapewnioną 15-minutową przerwę, czyli spełnione są wymogi prawa pracy.

Całkowity koszt operacyjny, związany z realizacją przewozu pasażerów na tej linii, zgodnie z zamówieniem klienta w określonym przedziale czasu, opisany jest równaniem (10).

$$KC_{III} = KP + KW_Y + KZ_Z + x * KK + KT_1^* \quad (10)$$

gdzie:

KC_{III} – koszt całkowity w przypadku III,

Pozostałe wielkości są analogiczne do przypadku II; obowiązują także warunki od (3) do (7).

4. UWAGI KOŃCOWE

Dążąc do minimalizacji kosztów eksploatacyjnych w miejskiej sieci transportu publicznego, przewoźnicy starają się pogrupować kursy tak, aby wykonać je przy pomocy jak najmniejszej liczby pojazdów oraz zredukować sumaryczny koszt pracy kierowców.

W większości polskich miast obowiązuje taki system organizacji pracy, polegający na tym, że kierowca danego dnia jest przypisany do konkretnego autobusu i wykonuje na nim ustalone kursy. Dzięki temu liczba kierowców obsługujących trasy jest zawsze równa liczbie pojazdów będących w ruchu, a więc jest najmniejsza z możliwych. Jednakże ze względu na szereg regulacji prawnych (głównie dotyczących czasu pracy kierowców oraz należnych im przerw) w systemie tym autobus nie może jeździć bez przerw, czyli do wykonania wszystkich zleconych kursów potrzeba większej liczby pojazdów, niż byłoby to teoretycznie możliwe.

Z przyporządkowywania kierowcy do konkretnego pojazdu można zrezygnować w alternatywnym systemie organizacji pracy, uwzględniającym dodatkowych kierowców. Wadą tego systemu jest duża wrażliwość na opóźnienia, gdyż są one przenoszone na kursy w kierunku powrotnym. Dlatego nie należy stosować go dla linii, gdzie prawdopodobieństwo braku punktualności na trasie jest duże, oraz wtedy, gdy dane autobusy obsługują kursy różnych linii.

Niniejszą pracą stanowi wstępną prezentację szerokiego problemu organizacji pracy w przedsiębiorstwie transportowym obsługującym zbiorową komunikację publiczną. Przedstawione zagadnienie wymaga stworzenia modelu, który zoptymalizuje wykorzystanie zasobów przedsiębiorstwa, pozwalające na realizację zamówionych usług transportowych w istniejących warunkach.

LITERATURA

- [1] Heermann P.D., Caskey D.L., *Intelligent Vehicle Highway System: Advanced Public Transportation Systems*, "Mathematical and Computer Modelling", t. 22, nr 4–7, 1995, s. 145–153.
- [2] Hou L., Li W., Ma L., Xu J.: *Public Transport Network Optimization Based on A Multi-objective Optimization Problems Evolutionary Algorithm*, [w:] *Control and Decision Conference, 2009. CCDC '09. Chinese*. IEEE 2009, s. 4408–4412. Dostępny na: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5192410>.
- [3] Murray A.T., Davis R., Stimson R.J., Ferreira L.: *Public Transportation Access*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment", t. 3, nr 5, 1998, s. 319–328.
- [4] Olivera A.C., Frutos M., Carballido J.A., Ponzoni I., Brignole N.B.: *Bus Network Scheduling Problem: GRASP + EAs with PISA * Simulation*, "Lecture Notes in Computer Science", t. 5517, 2009, s. 1272–1279. Dostępny na: <http://www.springerlink.com/content/978-3-642-02477-1/#section=72154>.

- [5] Ossowski S.: *Agents in traffic and transportation: Exploring autonomy in logistics, management, simulation, and cooperative driving*, “Transportation Research Part C: Emerging Technologies”, nr 13, 2005, s. 251–254.
- [6] Robinson R.: *Transportation demand management in Canada: an overview*, “Energy Policy”, t. 25, nr 14–15, 1997, s. 1189–1191.
- [7] Sahin B., Yilmaz H., Ust Y., Guneri A.F., Gulsun B.: *An approach for analysing transportation costs and a case study*, “European Journal of Operational Research”, nr 193, 2009, s. 1–11.
- [8] Schöbel A.: *A model for the delay management problem based on mixed-integer-programming*, “Electronic Notes in Theoretical Computer Science”, t. 50, nr 1, 2001, s. 1–10.
- [9] Zidi S., Maouche S.: *Ant Colony Optimization for the rescheduling of multimodal transport network*, [w:] *2006 IMACS Multiconference on Computational Engineering in Systems Applications (CESA' 2006)*, IEEE 2006, s. 965–971. Dostępny na: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4281789>.
- [10] Zhou X., Zhang X., Tian C.: *System Optimization-Based Model and Algorithm of Network Flow Assignment of Transport Hub*, [w:] *Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation 2009. ICICTA '09*. IEEE 2009, t. 4, s.105–108. Dostępny na: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5288222>.

WORK MANAGEMENT'S INFLUENCE ON OPERATIONAL COSTS IN CITY PUBLIC TRANSPORTATION COMPANY

Abstract

In order to reduce operational costs in public city transportation company, a carrier endeavours to group vehicles' rides in such a way that enables to minimize the number of buses utilized and to decrease total cost of drivers' work. Reducing method depends on the contract with local government which orders the service of passengers' transport. The client has a right either to impose definite time of each ride departure from an initial stop or to require a certain number of rides to be accomplished.

In this paper the issue of relation between operational costs and the method of work management in a transportation company is presented. An analysis was made for vehicles working on a single line. After the problem description three case studies are presented. Each case is provided with a formalized formulation of total operational cost to be minimized.

Keywords: city public transportation network, cost optimization, optimization, timetabling, traffic management