

Robert Szczyrbak, Katarzyna Gdowska
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Tworzenie brygad autobusowych jako problem harmonogramowania zadań

W artykule przedstawiono problem tworzenia brygad w planowaniu transportu miejskiego, odwołując się w celach ilustracyjnych do organizacji transportu zbiorowego w Gminie Kraków. Do tego porozumienia przystąpiły m.in. Miasto i Gmina Skawina, Miasto i Gmina Wieliczka, Miasto i Gmina Skała, Gmina Liszki, Gmina Mogilany, ale obszar ten sukcesywnie się powiększa [1].

Organizacja komunikacji publicznej należy do głównych zadań władz samorządów lokalnych. W aglomeracjach samorządy lokalne wspólnie organizują połączenia, dzieląc proporcjonalnie koszty między gminy. W przypadku aglomeracji krakowskiej gminy ościenne mogą skorzystać z zorganizowanej komunikacji zbiorowej na podstawie „porozumień międzygminnych w sprawie integracji zadań publicznych w zakresie lokalnego transportu zbiorowego” [2].

Tworzenie sieci komunikacji publicznej obejmuje kilka procesów. Pierwsze etapy obejmują projektowanie tras przejazdu (linii) oraz liczby kursów (rozkładu jazdy). Dalsza część obejmuje projektowanie brygad autobusowych oraz grafików pracy kierowców obsługujących poszczególne linie. Ostatni etap tworzenia sieci komunikacji miejskiej dotyczy projektowania grafików pracy kierowców. Grafiki pracy, czyli zmiana jest wydzieloną częścią zadań z brygady autobusowej. Tworzenie brygad autobusowych przypomina znany w produkcji program harmonogramowania zadań. Celem artykułu jest omówienie problemu tworzenia brygad autobusowych w odniesieniu do problemu harmonogramowania zadań.

Pojęcie brygady w planowaniu miejskiego transportu publicznego

Definicja brygady w komunikacji miejskiej różni się od pojęcia znanego z zarządzania produkcją. „Brygada” w znaczeniu komunikacyjnym oznacza kolejność zadań wykonywanych przez prowadzącego. Brygady posiadają swoje oznaczenia w celu identyfikacji ich przez przewoźnika. W przypadku linii autobusowych oznaczenia brygad stosowane przez krakowskich przewoźników ułatwiają szybką identyfikację rodzaju pracy wykonywanej przez prowadzących. Brygady oznaczone nieparzystymi liczbami wskazują na brygady jeżdżące przez cały dzień. Oznaczenia parzyste zaś stosowane są do brygad wykonujących kursy w godzinach szczytu lub do brygad realizujących zadania tylko na jednej zmianie.

W ciągu dnia możemy wyróżnić okresy kursowania pojazdów komunikacji miejskiej. Pierwszy z nich – szczyt – charakteryzuje wzmożone napełnienie pojazdów komunikacji wynikające z codziennego życia mieszkańców. Pierwszy okres szczytu trwa od około godziny 6:30 do około 10. Drugi od około 14 do około 18. W ramach usprawnienia transportu przewoźnik na zlecenie organizatora uruchamia dodatkowe linie i brygady oraz skraca takt danej linii. Uruchamianie dodatkowych brygad na danej linii jest

powodowane korkami na trasie przejazdu i wymaganymi przerwami dla prowadzących lub zmianą częstotliwości kursowania. Po zakończeniu porannego szczytu komunikacja przechodzi w międzyszczyt, który trwa około 3–4 godzin. W tym czasie zmienia się takt niektórych linii dziennych, a linie wspomagające są wyłączone z ruchu.

Z uwagi na ograniczenia w ilości kursowania pojazdów oraz na czas pracy prowadzących stosuje się łączenia. Łączenie polega na umieszczeniu w pracy brygady więcej niż jednej linii. Zwykle taki manewr ma miejsce na liniach aglomeracyjnych, gdzie dana linia ma takt powyżej 40 minut. Wówczas po realizacji kursu na linii X pojazd wykonuje kurs na linii Y. Łączenia można spotkać również na liniach miejskich, gdzie kilka linii ma swój przystanek początkowy. Często łączenia wynikają również z istnienia nocnej komunikacji. Aby zrealizować odpowiednią liczbę godzin pracy, pracownik na linii nocnej wykonuje ostatnie kursy linii dziennej. W okresie szczytu komunikacyjnego uruchamia się dodatkowe brygady szczytowe, tak zwane dwurazówki, które stanowią wzmocnienie dla brygad dziennych jeśli następuje zmiana taktu na mniejszy. Brygady szczytowe występują również w liniach, gdzie takt jest stały przez cały dzień. Wówczas ich rola sprowadza się do zapewnienia przerw dla prowadzących. Nazwa „dwurazówka” wiąże się z dwukrotnym włączeniem się do ruchu. Pojazd przypisany do tej brygady może czekać na pętli lub zajezdni.

„Brygadówka” zawiera wykaz kursów realizowanych przez daną brygadę, czas pracy kierowcy oraz liczbę kilometrów przejechanych na danej linii. Brygadówka zawiera również informację o godzinach odjazdów z niektórych przystanków. Dzięki temu prowadzący może sam kontrolować, czy jego tempo nie powoduje zakłóceń. W przypadku linii, która w dużej części składa się z przystanków „na żądanie”, może dojść do nadspieszenia. Wówczas prowadzący jest zobowiązany do wyrównania czasu na przystanku kontrolnym. Na rysunku 1 znajduje się przykład rzeczywistej brygadówki dla brygady 124-03.

Problem harmonogramowania produkcji i szeregowania zadań

Harmonogramowanie produkcji jest silnie związane z pojęciem szeregowania zadań. Pojęcie harmonogramowania produkcji

Ważny od: 16.11.2015		Zajezdnia: PW		Wyj.: 07:01		124-03A		
Razem	Dł.	124	424	Odb.: 15:27	Rozkład powozów			
114,77	5,87	63,37	43,40	Cz. pr.: 08:26				
Linia 124				Linia 424				
	km	1	3	7	km	5	9	
Os.Podwawelskie	↓	7:13	8:53	12:24	Os.Podwawelskie	↓	10:39	14:05
Konopnickiej	1,09	7:18	8:58	12:29	Konopnickiej	1,09	10:44	14:10
Jubilat	1,55	7:20	9:00	12:31	Jubilat	1,55	10:46	14:12
Cracovia	1,95	7:21	9:01	12:32	Cracovia	1,95	10:47	14:13
AGH	2,46	7:23	9:03	12:34	AGH	2,46	10:49	14:15
Plac Inwalidów	3,07	7:25	9:05	12:36	Plac Inwalidów	3,07	10:51	14:17
Nowy Kleparz	3,99	7:28	9:08	12:39	Nowy Kleparz	3,99	10:54	14:20
Dworzec Główny	5,54	7:33	9:13	12:44	Dworzec Główny	5,54	10:59	14:25
Rondo Mogiłskie	6,96	7:38	9:18	12:49	Rondo Mogiłskie	6,96	11:04	14:31
Cmentarz Rakowicki	7,70	7:40	9:20	12:51	Cmentarz Rakowicki	7,70	11:06	14:33
Narzemskiego	8,33	7:42	9:22	12:53	Narzemskiego	8,33	11:08	14:36
Piłotów	9,02	7:44	9:24	12:55	Piłotów	9,02	11:10	14:38
Akacja	9,59	7:46	9:26	12:57	Pszona	9,53	11:12	14:40
Spadochroniarzy	9,88	7:47	9:27	12:58	Wieżysta	10,58	11:15	14:43
Wieżysta	11,14	7:50	9:31	13:02	Ugórek	11,27	11:17	14:45
	km	2	4	8	km	6	10	
Wieżysta	↓	7:57	9:40	13:10	Ugórek	↓	11:26	14:53
Pszona	0,85	7:59	9:42	13:12	Akacja	0,77	11:28	14:55
Rondo Młyńskie	1,30	8:01	9:44	13:14	Rondo Młyńskie	1,12	11:30	14:57
Piłotów	1,62	8:02	9:45	13:15	Piłotów	1,44	11:31	14:58
Cmentarz Rakowicki	2,87	8:05	9:48	13:18	Cmentarz Rakowicki	2,69	11:34	15:01
Rondo Mogiłskie	3,89	8:08	9:51	13:21	Rondo Mogiłskie	3,71	11:37	15:04
Dworzec Główny	4,75	8:11	9:54	13:24	Dworzec Główny	4,57	11:40	15:07
Nowy Kleparz	6,63	8:17	10:00	13:30	Nowy Kleparz	6,36	11:46	15:13
Plac Inwalidów	7,42	8:20	10:04	13:34	Plac Inwalidów	7,24	11:50	15:17
AGH	8,11	8:22	10:06	13:36	AGH	7,93	11:52	15:19
Cracovia	8,58	8:24	10:08	13:38	Cracovia	8,40	11:54	15:21
Jubilat	8,90	8:25	10:09	13:39	Jubilat	8,72	11:55	15:22
Konopnickiej	9,30	8:27	10:11	13:41	Konopnickiej	9,12	11:57	15:24
Os.Podwawelskie	10,65	8:30	10:14p	13:44	Os.Podwawelskie	10,47	12:00	15:27

DOJAZD 07:01 PW - 07:11 Os.Podwawelskie - Stawka - Gmina - Pużalska - Kamieskiego - Konopnickiej
TOALETY: Os.Podwawelskie - PKR, Borek Fałęcki - PKR

Rys. 1. Opis pracy dla brygady 124-03 zmiana A.
Źródło: archiwum R. Szczyrbaka.

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania, Katedra Badań Operacyjnych.

można rozumieć jako problem przydziału dostępnych zasobów produkcyjnych w określonym czasie, który zapewni optymalne wykorzystanie tych zasobów [3, 4].

Klasyfikując problemy związane z harmonogramowaniem produkcji należy uwzględnić 3 aspekty systemów produkcyjnych. Pierwszy aspekt dotyczy generowania zadań produkcyjnych. Wiąże się on z rodzajem pojawiających się zleceń. System otwarty charakteryzuje generowanie zleceń na podstawie indywidualnych zamówień klientów. System zamknięty cechuje się wewnętrzną polityką uzupełniania zapasów. Kolejny aspekt systemów produkcyjnych, czyli złożoność procesu produkcyjnego, obejmuje liczbę stadiów produkcyjnych. Ze względu na złożoność procesu wyróżnia się procesy jedno- i wielostadialne. Trzeci aspekt to kryteria optymalności. Wyróżnia się kryterium kosztowe i kryterium czasowe.

Kryterium kosztowe obejmuje między innymi koszty związane z produkcją oraz jej przygotowaniem, koszty magazynowania, koszty przekroczenia terminów itp. Kryterium czasowe obejmuje stopień wykorzystania zapasów oraz jakość harmonogramu. Stosując kryterium czasowe można zastosować kryteria związane z partiami wyrobów [4].

Poruszając się w obszarze szeregowania zadań należy zwrócić uwagę na dwa główne zadania: przydziału oraz kolejności. Zadanie przydziału polega na przyporządkowaniu zasobów (głównie maszyn) do odpowiednich operacji. Problem przydziału nie dotyczy operacji, które mogą być wykonane tylko na jednej maszynie. Zadanie kolejności dotyczy wyznaczenia porządku, w jakim mają być wykonane wszystkie operacje. Należy zatem określić kolejność dla każdej maszyny. Z uwagi na dążenie do rozwiązania optymalnego nie można osobno rozwiązywać poszczególnych zadań. Dla większości zadań szeregowania niemożliwe jest ułożenie algorytmów optymalnych. Wówczas stosuje się algorytmy heurystyczne w celu znalezienia rozwiązania problemu szeregowania zadań [4].

Zastosowanie harmonogramowania zadań w praktyce może okazać się trudnym zadaniem. Przyczyn należy szukać w kompletowaniu danych dotyczących produkcji, w błędnym określeniu celu tworzenia harmonogramów lub zmienności procesu. Opracowano proces dla którego można w pełni zastosować harmonogramowanie zadań. Charakteryzuje się między innymi stabilnym i dokładnie opisanym procesem produkcyjnym, w którym cele harmonogramowania są jasno opisane. Opracowany proces składa się z krótkich okresów produkcyjnych utworzonych w celu eliminacji nieprzewidywanych zmian [3].

Tworzenie brygad autobusowych

Harmonogramowanie zadań ma swoje odzwierciedlenie w tworzeniu harmonogramów pracy, w tym przypadku brygad autobusowych. W przedsiębiorstwie transportowym planowanie procesu zajmującym się wykonaniem usługi przewozu również wymaga odpowiedzi na 3 kluczowe pytania. Na pierwsze z nich: „Co należy produkować?” odpowiedzią jest przewóz osób na wyznaczonych odcinkach zgodnie z zamówieniem organizatora komunikacji. Na kolejne pytanie dotyczące wielkości produkcji odpowiedzią jest ilość kursów poszczególnych linii. Odpowiedź na ostatnie pytanie dotyczące zasobów koniecznych do realizacji usługi przewozu odnosi się do rodzajów autobusów. Warto zastanowić się również nad kluczowym z punktu widzenia komunikacji miejskiej pytaniem: „Kiedy należy produkować?”. Biorąc pod uwagę porę dnia, dzień tygodnia lub okres wakacyjny, ilość i rodzaj pojazdów będzie zróżnicowana.

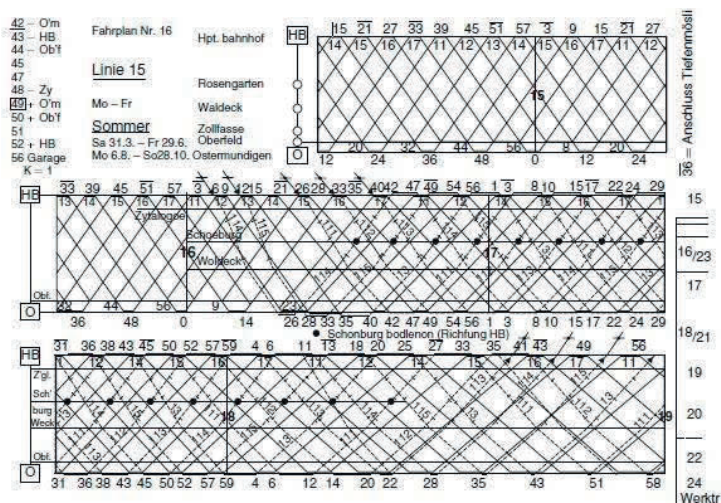
Podjęciem się tworzenia brygad należy wcześniej zapoznać się z ilością linii oraz godzinami odjazdów poszczególnych kursów. W oparciu o czasy odjazdu z przystanku początkowego oraz przyjazdu na przystanek końcowy można tworzyć harmonogramy pracy. Kolejny etap to przydział określonego typu autobusu do brygady. Nie można dopuścić do sytuacji, w której na linii o dużym popycie pojawi się autobus rekomendowany do linii o średnim lub niskim popycie. Następnym etapem przy tworzeniu brygad jest określenie zajezdni, z której będzie pochodził pojazd. Warto zwrócić w tym przypadku na odległość przystanku początkowego i końcowego od zajezdni. Należy minimalizować odcinki pokonywane przez autobusy bez pasażerów. Ostatni krok dotyczy planowych przerw dla pracowników [5]. Długość oraz ich umiejscowienie w czasie pracy jest unormowane kodeksem pracy oraz wewnętrznymi przepisami przedsiębiorstwa. Przy tworzeniu brygad warto zwrócić uwagę na długość przerw pomiędzy kolejnymi odjazdami. Jeżeli na danej linii autobusy regularnie są opóźnione, warto wydłużyć czas pomiędzy przyjazdem na przystanek końcowy a odjazdem. Pozwoli to na planowe realizowanie kursów i poprawi komfort pracy kierowcy.

Do rozwiązania zagadnień związanych z tworzeniem brygad autobusowych stosuje się metody badań operacyjnych. W zależności od złożoności systemu transportowego wyróżnia się pojedyncze (SDVS) oraz złożone (MDVS) modele harmonogramowania pojazdów. Model SDVS jest najprostszy do rozwiązania. Zakłada on harmonogramy pojazdów tak, by wszystkie kursy były wykonane przez pojazdy znajdujące się na pętli początkowej. Przyporządkowanie pojazdów do kursów dokonywane jest metodą FIFO z uwzględnieniem dopuszczeń pojazdów na danej linii. Z kolei model MDVS zakłada możliwość pojawienia się pojazdów z innych pętli. Wówczas dany pojazd w swojej brygadzie ma uwzględniony czas na wolny przejazd pomiędzy dwoma pętlami. Z uwagi na to założenie model MDVS należy do kategorii NP-trudnych [5, 6]. Funkcją celu jest minimalizacja ilości brygad. W przypadku modelu MDVS funkcją celu może być minimalizacja ilości wolnych przejazdów. Istnieją również heurystyczne algorytmy do redukcji ilości brygad.

Powszechną praktyką stosowaną w tworzeniu brygad autobusowych jest wykorzystanie diagramów czasoprzestrzennych, zaprezentowanych na rysunku 2. Każda linia na wykresie przedstawia kurs poruszający się w czasie (oś x) w tej samej średniej prędkości, co jest reprezentowane przez nachylenie linii. Chociaż planiści przyzwyczaili się do tego opisu, jest on uciążliwy przy wprowadzaniu zmian lub poprawy planowania, ponieważ przestrzeń (oś y) odnosi się tylko do jednej linii. Trudno jest również stosować różne średnie prędkości dla poszczególnych linii, w których linie na diagramie mogą się krzyżować ze sobą. Korzystając z diagramów mogą pojawić się niedogodności związane z wykorzystaniem tych schematów do ręcznego wstawiania wolnych przejazdów i/lub przesunięcie godziny odjazdu [6].

Do obsługi jednej brygady całodzienniej potrzebni są dwaj pracownicy. Kierowca na zmianie A odbiera autobus z zajezdni i udaje się na przystanek początkowy. Czas pracy kierowcy rozpoczyna się od wyjazdu z zajezdni i kończy w momencie przekazania autobusu kierowcy ze zmiany B. Zmiana kierowców odbywa się na przystanku końcowym. Po zakończeniu pracy na linii pracownik odstawia pojazd do zajezdni. Nieco inaczej wygląda obsługa brygad szczytowych. Rozpoczęcie pracy jest identyczne, jak w przypadku brygad całodziennych. Różnica polega w zmianie pracowników. Po przyjeździe na przystanek końcowy kierowca

ze zmiany A odstawią pojazd do zajezdni lub na pętli, jeśli jest do tego przystosowana. Jego zmiennik odbiera autobus z miejsca jego stacjonowania. Pozostałe czynności są analogiczne dla brygad całodziennych.



Rys. 2. Diagram czasoprzestrzenny. Źródło: [6].
Źródło: [6].

Z uwagi na kodeks pracy, czas prowadzenia pojazdu nie może przekroczyć 10 godzin. Za czas prowadzenia pojazdu uznaje się łączny czas prowadzenia pojazdu określony w rozkładzie czasu pracy kierowcy na podstawie rozkładu jazdy. Do czasu pracy kierowcy doliczane są przerwy związane z obsługą pojazdu oraz przerwa śniadaniowa. Jej długość jest uzależniona od łącznego czasu prowadzenia i wynosi 30 lub 45 minut. Jeśli w grafiku dla danej brygady kierowca prowadzi pojazd przez 6–8 godzin, ma prawo do 30 minut przerwy. Z kolei w sytuacji, gdy czas prowadzenia pojazdu przekracza 8 godzin, przerwa na odpoczynek przysługuje w wymiarze 45 minut. Przerwa ta przysługuje kierowcy przed upływem 6 godzin łącznego czasu prowadzenia pojazdu. Może być ona dzielona na okresy krótsze, wykorzystywane w czasie prowadzenia pojazdu zgodnie z rozkładem jazdy, pod warunkiem, że jedna z takich przerw trwa co najmniej 15 minut [8]. Uwzględniając wszystkie składowe, to jest czas rzeczywistej jazdy oraz przerwy, czas pracy kierowcy nie może przekroczyć 12 godzin [9].

Ustawa o czasie pracy kierowców oprócz dziennego czasu pracy, reguluje również tygodniowy oraz miesięczny plan pracy kierowcy [10]. Przepisy te są ważne nie tylko dla pracowników, ale również dla przewoźnika. Odpowiednia długość wypoczynku pracownika zmniejsza prawdopodobieństwo wypadku lub niedyspozycji z powodu choroby. Planiści zajmujący się układaniem planów pracy powinni mieć na uwadze nieregularny tryb pracy kierowcy. Wynika on z dłuższego niż 8 godzin czasu pracy oraz pracy w dni ustawowo wolne od pracy [10].

Podsumowanie

Organizacja pracy w przedsiębiorstwie komunikacyjnym obejmuje szeroki zakres czynności. Obecnie stosowany w Krakowie podział pomiędzy organizatora komunikacji (ZIKiT) oraz przewoźników (MPK SA oraz Mobilis Sp. z o.o.) określa podział obowiązków. Zarząd Infrastruktury Komunalnej i Transportu odpowiada za ustalenie tras i liczby kursów. Zadaniem przewoźników jest realizacja usług zleconych przez organizatora. Celem przewoźników jest

poniesienie minimalnych kosztów poniesionych w wyniku świadczenia usług.

Jednym ze sposobów na obniżenie kosztów jest zwiększenie elastyczności brygad poprzez ich redukcję. Do tego celu można wykorzystać istniejące modele optymalizacyjne. Z uwagi na złożoność problemów, modele te uznaje się za NP-trudne. Oprócz metod optymalizacyjnych, planiści mogą skorzystać z algorytmów heurystycznych, które nie dają optymalnego rozwiązania. Można wykorzystać dobre praktyki inżynierskie i zaproponować autorskie algorytmy, pozwalające na manualne dokonanie zmian w harmonogramach pracy brygad. Zwiększenie elastyczności wiąże się z wydłużeniem czasu pracy niektórych brygad. Nie podnosi to jednak kosztów, ponieważ wydłużenie wiąże się z redukcją brygad wykonujących kilka kursów w ciągu dnia. Tym samym przedsięwzięcie nie ponosi kosztów eksploatacji związanych z delegowaniem do ruchu kolejnego pojazdu.

Streszczenie

W artykule przedstawiono problem tworzenia brygad w planowaniu transportu miejskiego, odwołując się w celach ilustracyjnych do organizacji transportu zbiorowego w Gminie Kraków. Tworzenie brygad autobusowych przypomina znany w produkcji program harmonogramowania zadań. Celem pracy jest omówienie problemu tworzenia brygad autobusowych w odniesieniu do problemu harmonogramowania zadań.

Słowa kluczowe: komunikacja miejska, planowanie, harmonogramowanie, brygady

LITERATURA/BIBLIOGRAPHY

- [1] Komunikacja Miejska w Krakowie, Regulacje prawne, stan na 07.01.2015, <http://kmmkrakow.pl/regulacje-prawne/komunikacja-publiczna.html>
- [2] UCHWAŁA NR XXVII/354/07 z dn. 11 listopada 2007 w sprawie realizacji przez Gminę Miejską Kraków zintegrowanego aglomeracyjnego transportu zbiorowego.
- [3] Sawik T., *Badania operacyjne dla inżynierów zarządzania*, Wydawnictwa AGH, Kraków 1998, s. 245.
- [4] Kaczmarczyk W., *Metoda szeregowania operacji w przepływowym, elastycznym systemie produkcyjnym*, rozprawa doktorska, AGH, Kraków, 1999, s. 14.
- [5] Ibarra-Rojas O.J. et al., *Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review*. "Transportation Research Part B" 2015, s. 55–57.
- [6] Ceder A., *Public Transit Planning and Operation – Theory, modelling and practice*, Elsevier Ltd., Oxford, 2007, s. 167–172.
- [7] Ustawa z dn. 16.04.2014 o czasie pracy kierowców, art. 31a ust. 1 i 2, Dz. U. z 2012 r. poz. 1155 ze zm.
- [8] Ustawa z dn. 16.04.2014 o czasie pracy kierowców, art. 31b ust. 1 i 2, Dz. U. z 2012 r. poz. 1155 ze zm.
- [9] Portal Transport Publiczny, Czas pracy kierowców w komunikacji miejskiej, 7.01.2016: <http://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/czas-pracy-kierowcow-w-komunikacji-miejskiej-47182.html>
- [10] Ustawa z dn. 16.04.2014 o czasie pracy kierowców, art. 15, Dz. U. z 2012 r. poz. 1155 ze zm.