

Arkadiusz Manikowski

Optymalizacja rejonizacji Stacji Ratownictwa Medycznego z wykorzystaniem zmodyfikowanego zagadnienia transportowego na przykładzie Warszawy

Problemy Zarządzania 9/3, 227-241

2011

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Optimalizacja rejonizacji Stacji Ratownictwa Medycznego z wykorzystaniem zmodyfikowanego zagadnienia transportowego na przykładzie Warszawy

Arkadiusz Manikowski

Przesłanką napisania niniejszego artykułu było zatwierdzenie przez ministra zdrowia Ewę Kopacz planu, zgodnie z którym od 1 lipca 2011 r. mają nastąpić zmiany w systemie ratownictwa medycznego. Celem tych zmian jest obiecywane skrócenie czasu dojazdu karettek do pacjenta.

W artykule zaproponowano wykorzystanie różnych wariantów zadań transportowych, znanych z praktyki logistycznej przedsiębiorstw, do oceny skuteczności podanych w planie pewnych zmian dotyczących szczególnie rejonizacji. Pokazano rozwiązanie problemu optymalnej rejonizacji z wykorzystaniem proponowanych narzędzi na rzeczywistym przykładzie czterech stacji ratownictwa medycznego działających w Warszawie, a zlokalizowanych w dzielnicach: Bemowo, Ochota, Ursus i Wola.

1. Wstęp

Z punktu widzenia logistycznego usługi medyczne pod wieloma względami nie różnią się od standardowych usług świadczonych klientom różnych firm. Jednakże jakość tych usług nie jest mierzona w miejscu konsumpcji, jak w większości przypadków, ale podczas całego procesu świadczenia usług. Świadczenie usługi medycznej ma miejsce w trakcie całego procesu leczenia, czyli od zdarzenia początkującego cały proces leczenia (w niektórych sytuacjach taki proces kończy się już na samym początku, ponieważ pacjent nie wymaga hospitalizacji), poprzez pobyt w szpitalu, leczenie operacyjne, aż po działania rehabilitacyjne. Z tego powodu zarządzanie logistyczne usługami medycznymi należy dostosować do rodzaju leczenia.

Wyróżnia się trzy rodzaje lecznictwa:

- otwarte/ zamknięte,
- lecznictwo zachowawcze/operacyjne,
- lecznictwo doraźne/specjalistyczne.

Podział ten jest bardzo ważny, gdyż od rodzaju leczenia uzależnione są czynności logistyczne zapewniające świadczenie usług.

Współczesne ratownictwo medyczne jest jednym z najważniejszych elementów całego systemu ochrony zdrowia. Podejmowanie działań w stanach nagłego zagrożenia zdrowotnego jest podstawowym zadaniem systemu Państwowego Ratownictwa Medycznego (PRM).

W Polsce system PRM rozwijał się od kilkudziesięciu lat. Wykorzystując doświadczenia krajów zachodnich Unii Europejskiej, przy dużym udziale Polskiego Towarzystwa Medycyny Ratunkowej, wsparciu licznych innych stowarzyszeń i organizacji, powstał projekt Ustawy o Państwowym Ratownictwie Medycznym, uchwalony przez Sejm RP w dniu 25 lipca 2001 r. (Dz.U. nr 113, poz. 1207). Ustawa ta jako pierwsza określiła zasady organizacji i funkcjonowania systemu, zdefiniowała szereg podstawowych pojęć z tej dziedziny. Ustawa, oprócz działania innych jednostek systemu, określiła działanie zespołów ratownictwa medycznego w warunkach przedszpitalnych w miejscu zdarzenia, wskutek którego nastąpiło nagłe zagrożenie zdrowia lub życia (Paździoch i Guła 2008).

Przez kolejne lata ustawa o Państwowym Ratownictwie Medycznym była nowelizowana, dostosowując się do pojawiających się nowych zapotrzebowań. Dnia 8 września 2006 r. powstała nowa, aktualna ustawa o Państwowym Ratownictwie Medycznym (Dz.U. nr 191, poz. 1410), bazująca na poprzedniej ustawie z 2001 r. Pojawiły się również liczne jej nowelizacje (Dz.U. z 2007 r. Nr 89, poz. 590; Dz.U. z 2007 r. Nr 166, poz. 1172; Dz.U. z 2008 r. Nr 17, poz. 101). W lutym 2009 r. powstały kolejne projekty zmian, które zostały zatwierdzone prawnie i weszły w życie 1 stycznia 2010 r.

Art. 19 ustawy o PRM brzmi: „Nadzór nad systemem na terenie kraju sprawuje minister właściwy do spraw zdrowia, natomiast planowanie, organizowanie, koordynowanie systemu oraz nadzór nad systemem na terenie województwa jest zadaniem wojewody” (Dz.U. z 2006 r. Nr 191, poz. 1410, art. 19, pkt. 1 i 2).

Do szczegółowych zadań nadzoru ministra właściwego do spraw zdrowia ustawodawca przede wszystkim zaliczył zatwierdzenie wojewódzkiego planu działania systemu oraz aktualizację tego planu przygotowywanego przez wojewodę. Zatwierdzenie planu odbywa się przez analizę zmian dokonanych w planie pod kątem ich wpływu na skuteczność i wydolność systemu ratownictwa medycznego.

Podstawą działania systemu ratownictwa jest wojewódzki plan działania systemu PRM, który jest sporządzany przez wojewodę nie rzadziej niż raz na trzy lata, z możliwością jego aktualizacji w dowolnym czasie. Taki plan, w zgodzie z art. 21 pkt. 2 ustawy o PRM, obejmuje zwłaszcza:

- liczbę i rozmieszczenie na obszarze województwa jednostek systemu,
- określenie lokalizacji centrów powiadamiania ratunkowego i obszarów przez nie obsługiwanych

Wojewoda, w porozumieniu z dyrektorem właściwego wojewódzkiego oddziału Narodowego Funduszu Zdrowia, podaje w wojewódzkim planie szpitalne oddziały ratunkowe z dokładnym ich rozmieszczeniem, biorąc pod

uwagę m.in. standardy czasu dotarcia z miejsca zdarzenia do szpitalnego oddziału ratunkowego.

System Państwowego Ratownictwa Medycznego, zgodnie z art. 36 wymienionej ustawy, dzieli zespoły ratownictwa medycznego na:

- zespoły specjalistyczne „S”, w skład których wchodzi co najmniej trzy osoby uprawnione do wykonywania medycznych czynności ratunkowych, w tym lekarz systemu oraz pielęgniarka systemu lub ratownik medyczny,
- zespoły podstawowe „P”, w skład których wchodzi co najmniej dwie osoby uprawnione do wykonywania medycznych czynności ratunkowych, w tym pielęgniarka systemu lub ratownik medyczny.

Wyróżnia się również zespoły transportu sanitarnego neonatologicznego „N”, zwanego noworodkowym, zakontraktowane na odrębnych warunkach umów z NFZ.

Czas dojazdu zespołu ratownictwa do ofiary znajdującej się w stanie zagrożenia zdrowia lub życia jest głównym czynnikiem rokowniczym, przesądzającym o przeżyciu i efektach dalszego leczenia. Ustawa o Państwowym Ratownictwie Medycznym podaje, jaki powinien być czas oczekiwania pacjenta na fachową pomoc. Czas ten liczony jest od chwili przyjęcia zgłoszenia przez dyspozytora medycznego do momentu dotarcia na miejsce zdarzenia. Analizując czas dotarcia zespołu ratownictwa na miejsce zdarzenia, wykorzystuje się m.in. wartość mediany, wartość trzeciego kwartyla oraz wartość maksymalną.

Artykuł 24 ustawy o PRM, uprawnia wojewodę do podejmowania działań organizacyjnych zmierzających do zapewnienia następujących czasów dotarcia na miejsce zdarzenia zespołu ratownictwa medycznego:

- „mediana czasu dotarcia – w skali każdego miesiąca – jest nie większa niż 8 minut w mieście powyżej 10 tysięcy mieszkańców i 15 minut poza miastem powyżej 10 tysięcy mieszkańców;
- trzeci kwartył czasu dotarcia – w skali każdego miesiąca – jest nie większy niż 12 minut w mieście powyżej 10 tysięcy mieszkańców i 20 minut poza miastem powyżej 10 tysięcy mieszkańców;
- maksymalny czas dotarcia nie może być dłuższy niż 15 minut w mieście powyżej 10 tysięcy mieszkańców i 20 minut poza miastem powyżej 10 tysięcy mieszkańców”.

W Polsce czasy dojazdu wypadają na tle powyższych wyznaczników źle. Sam czas oczekiwania na połączenie z dyspozytorem medycznym przekraczał 6 minut. Zachodnioeuropejski system ratownictwa przewiduje maksymalnie 15 sekund oczekiwania na połączenie z dyspozytorem, co w naszym kraju jest mało prawdopodobne. Dodatkowo w naszym kraju jest nadal słabo rozwinięty system GPS montowany w ambulansach i niewiele jednostek w Polsce wykorzystuje system pozycjonowania satelitarnego pojazdu oraz system statusu pojazdu.

Kolejnym mankamentem rzutującym na długi czas dotarcia do ofiary jest możliwość parkowania pojazdu. Wynika to nie z winy zespołu ratownictwa medycznego, a z powodu nieprzestrzegania podstawowych przepisów budowlanych, przepisów przeciwpożarowych, przepisów BHP, złych pla-

nów zagospodarowania przestrzennego i wielu innych czynników, które wydłużają czas dotarcia zespołu ratownictwa medycznego do osoby potrzebującej pomocy. Niedopracowany lub nieprawidłowo realizowany podział świadczenia usług opieki zdrowotnej wpływa również na niedostateczną liczbę zespołów wyjazdowych będących w statusie „wolny” w systemie, co skutkuje opóźnieniem reakcji dyspozytora medycznego i czasu zadysponowania zespołu ratownictwa medycznego.

2. Przedmiot analiz

Niniejszy artykuł dotyczy ważnego aspektu funkcjonowania stacji ratownictwa medycznego istotnego z punktu widzenia czasów docierania zespołów do ofiar: rejonizacji funkcjonowania stacji ratownictwa medycznego¹.

Obecnie funkcjonuje 13 stacji ratownictwa medycznego w Warszawie oraz dwie podstacje wyczekiwania. Każda z nich obsługuje swoją dzielnicę podzieloną na 8 rejonów.

Nieodpowiednia lokalizacja tych stacji oraz zły przydział rejonów może być jednym z ważniejszych powodów obserwowanych długich czasów docierania zespołów ratownictwa medycznego do ofiar.

Niniejszą analizę przeprowadzono na przykładzie czterech oddziałów w Warszawie, którymi są:



Rys. 1. Mapa dzielnic miasta Warszawy. Źródło: opracowanie własne.

1. Oddział II Wola, ul. Górczewska 27/35.
2. Oddział VI Ochota, ul. Joteyki 9.
3. Oddział VIII Ursus, ul. Sosnkowskiego 18.
4. Oddział IX Bemowo, ul. Kartejusza 2.

Poglądowy układ dzielnic Warszawy podano na rysunku 1.

Źródłem danych wykorzystywanych w przeprowadzonych analizach były statystyki kodów w Wojewódzkiej Stacji Pogotowia Ratunkowego SZPZOZ². Dokumenty te zawierają dla każdego miesiąca i każdej stacji oraz podstacji pogotowia m.in. liczbę wyjazdów, średnie czasy dojazdów, maksymalne czasy dojazdów. Czasy te liczone są od momentu przyjęcia zgłoszenia do momentu dotarcia karetki na miejsce wezwania. Oznacza to, że nie uwzględnione zostały takie sytuacje, jak: brak dostępu karetki oraz jej lokalizacja w momencie odebrania zgłoszenia.

Na podstawie dostępnych informacji przygotowano dane dla roku 2009. Przykładowe ich wartości dotyczące oddziału zlokalizowanego na Bemowie zaprezentowano w tabeli 1³.

Rejon	Zespoły specjalistyczne				Zespoły podstawowe	
	liczba wyjazdów		średni czas dojazdu		liczba wyjazdów	średni czas dojazdu
	zespół 1	do 1 marca zespół 2	zespół 1	do 1 marca zespół 2	od 1 marca zespół 1	od 1 marca zespół 1
I	225	203	6	9	293	13
II	320	96	8	9	211	10
III	301	117	10	11	362	11
IV	99	152	6	7	254	9
V	169	189	8	7	225	8
VI	155	205	8	8	305	10
VII	300	101	7	10	427	10
VIII	214	208	7	7	389	9
Razem	3054		–		2466	–

Tab. 1. Przykładowe dane dotyczące funkcjonowania SRM zlokalizowanej na Bemowie dla roku 2009. Źródło: Przygotowywana praca magisterska przez Marcina Wójcickiego pt. Analiza funkcjonowania stacji ratownictwa medycznego na przykładzie Warszawy.

Warto zaznaczyć, że ze względu na dostępność wspomnianych danych w analizach wykorzystano czasy średnie, mimo że w ustawie o Państwowym Ratownictwie Medycznym mówi się o medianie, trzecim kwartylu i czasie maksymalnym. W przypadku symetrycznego rozkładu czasu dotarcia karetki do zdarzenia analiza oparta na wartościach średnich jest tożsama z analizą przeprowadzoną na wartościach mediany.

3. Rejonizacja funkcjonowania stacji ratownictwa medycznego jako problem transportowy

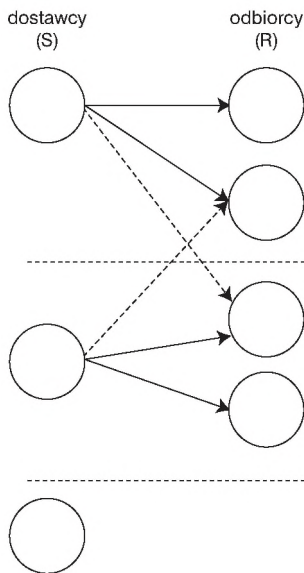
Problem tworzenia rejonów obsługi jest jednym z typowych zagadnień logistycznych, z jakim mamy do czynienia w sieci dystrybucji firm. Wiąże się z projektowaniem infrastruktury magazynowej, kierując się dostępnością produktów dla klientów.

Dla potrzeb stworzenia struktury zarządzania i sterowania przepływem towarów organizowane są rejonu obsługi klienta. Do tych celów wykorzystano takie dane, jak:

- liczba klientów,
- ich zapotrzebowanie (popyt),
- możliwości magazynów – ośrodków dystrybucyjnych (podaż),
- koszty obsługi klientów przez poszczególne magazyny.

Tak sformułowany problem rejonizacji obsługi można zaliczyć do, znanych w badaniach operacyjnych, zagadnień transportowych, których idea została zaprezentowana na rysunku 2⁴.

Ogólnie, zagadnienie to w wersji klasycznej polega na znalezieniu takiego sposobu zaopatrywania R klientów (odbiorców) przez S magazynów – ośrodków dystrybucyjnych (dostawców), aby koszt/czas realizacji obsługi był optymalny (najmniejszy).



Rys. 2. Idea zagadnienia transportowego. Źródło: opracowanie własne.

Przez sposób zaopatrywania rozumie się tutaj przydział dostawców do odbiorców z możliwością obsługi odbiorcy przez kilku dostawców i obsługi kilku odbiorców przez kilku dostawców.

Okazuje się, że tak zdefiniowane klasyczne zagadnienie transportowe może mieć zastosowanie również w przypadku funkcjonowania stacji ratownictwa medycznego.

Oferowanym produktem jest tutaj usługa w formie pomocy ofiarom, które są traktowane jako odbiorcy⁵. Natomiast dostawcami są stacje ratownictwa medycznego. Kryterium tworzenia rejonów obsługi jest czas dojazdu, który podlega minimalizacji.

Formalnie, zagadnienie transportowe dla potrzeb rozwiązania problemu rejonizacji obsługi przez stacje ratownictwa medycznego można zdefiniować w następujący sposób. W tym celu wprowadźmy następujące wielkości traktowane jako parametry:

- S – liczba rozważanych stacji ratownictwa medycznego,
- R_s – liczba rejonów podlegających obsłudze przez s -tą stację, $s = 1, \dots, S$,
- \bar{T}_{sr} – średni czas dojazdu od s -tej stacji do r -tego rejonu, $s = 1, \dots, S$, $r = 1, \dots, R_1 + R_s$,
- W_r – liczba wyjazdów do r -tego rejonu ze stacji, której ten rejon podlega, $r = 1, \dots, R_1 + R_s$,
- W_s – liczba wyjazdów od s -tej stacji, $s = 1, \dots, S$.

Wyznaczenie rejonów obsługi możliwe będzie poprzez znalezienie optymalnych wartości tzw. zmiennych decyzyjnych x_{sr} ($s = 1, \dots, S$; $r = 1, \dots, R_1 + R_s$), oznaczających liczbę wyjazdów od s -tej stacji do r -tego rejonu.

Znalezienie optymalnych wartości zmiennych decyzyjnych, a tym samym optymalnej rejonizacji funkcjonowania stacji, polega na rozwiązaniu następującego zadania optymalizacji:

$$FC = \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^{R_1 + \dots + R_s} x_{sr} \cdot \bar{T}_{sr} \rightarrow \min \quad (1)$$

przy ograniczeniach:

$$\sum_{r=R_{s-1}+1}^{R_{s-1}+R_s} x_{sr} \leq W_s \cdot M_s, \quad s = 1, \dots, S; \quad (2)$$

$$\sum_{s=1}^S x_{sr} \geq W_r, \quad r = 1, \dots, R_1 + \dots + R_S; \quad (3)$$

$$x_{sr} \geq 0 \text{ oraz ewentualnie ograniczenie na całkowitoliczbowość,} \quad (4)$$

gdzie M_s oznacza część, o jaką można zwiększyć możliwości s -tej stacji ratownictwa medycznego, np. poprzez zwiększenie liczby ambulansów czy też liczby zespołów medycznych. Przyjęcie $M_s = 1$ oznacza, że rozpatrywane będą stacje ratownictwa na dotychczasowym poziomie ich możliwości.

Znaczenie poszczególnych elementów powyższego zadania jest następujące:

- funkcja celu (1) oznacza minimalizację całkowitego czasu dojazdu w kategoriach wartości średnich,
- ograniczenie (2) zapewnia nieprzekroczenie przez stacje swoich możliwości obsługi przydzielonych im rejonów,
- ograniczenie (3) zapewnia obsługę poszczególnych rejonów w niezbędną liczbę dojazdów zespołów medycznych.

Powyższe zadanie należy do klasy zadań programowania liniowego. Jednak ze względu na specyficzną budowę znalazło szereg innych rozwiązań, bardziej efektywnych niż algorytm simpleks⁶.

Jak już wcześniej wspomniano, stworzenie optymalnej rejonizacji stacji ratownictwa medycznego przeprowadzono na przykładzie 4 dzielnic Warszawy. Na podstawie danych pochodzących z roku 2009⁷ przygotowano wartości parametrów – tabela 2.

Stacje\rejonys/r	Rejony Bemowa 2009								W _s
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Bemowo	9,68	8,82	10,60	7,80	7,67	6,69	8,91	7,95	5 520
Ochota	11,48	10,00	11,10	8,17	9,15	9,05	8,11	7,63	
Ursus	12,32	12,10	9,45	10,00	8,23	8,51	9,00	10,10	
Wola	8,45	8,40	9,11	10,60	11,50	12,10	11,50	9,50	
W _r	721,00	627,00	780,00	505,00	583,00	665,00	828,00	811,00	
Rejony Ochoty 2009									
s/r	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Bemowo	7,11	8,80	6,59	7,58	9,20	6,55	9,00	8,50	
Ochota	7,72	7,95	6,39	8,11	8,21	7,42	7,34	7,06	8 661
Ursus	10,12	12,00	8,80	7,23	7,70	8,12	10,00	9,25	
Wola	9,25	8,00	10,00	7,54	7,30	9,09	10,40	10,50	
W _r	850,00	764,00	1071,00	1056,00	1167,00	1198,00	1317,00	1238,00	
Rejony Ursusa 2009									
s/r	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Bemowo	10,10	10,90	11,60	11	10,10	8,63	9,15	11,80	
Ochota	9,33	11,00	12,10	9,69	9,50	8,98	9,25	11,20	
Ursus	8,00	7,73	7,31	8,83	9,17	11,90	8,77	7,00	5 156
Wola	8,10	7,15	8,45	9,20	9,44	12,10	9,10	6,45	
W _r	1407,00	583,00	1365,00	393,00	208,00	332,00	686,00	182,00	
Rejony Woli 2009									
s/r	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Bemowo	9,63	11,10	8,89	11,00	9,90	10,70	9,50	10,50	
Ochota	7,55	10,50	9,95	9,10	11,10	10,10	11,90	12,20	
Ursus	8,10	7,15	7,77	8,42	9,11	11,50	11,10	8,18	
Wola	8,07	7,52	7,64	8,77	11,40	10,60	12,30	9,53	11 507
W _r	1319,00	1550,00	3492,00	1801,00	810,00	809,00	739,00	987,00	

Tab. 2. Zestawienie danych wykorzystywanych w analizach. Źródło: opracowanie własne.

W wierszach „Bemowo”–„Wola” podano średnie czasy dojazdu (czyli \bar{T}_{sr}) z poszczególnych stacji do rejonów. Przy czym czasy podane w zacieńnianych wierszach obliczono na podstawie danych rzeczywistych, pozostałe czasy zaś wyznaczono na podstawie przewidywań osoby będącej członkiem zespołu ratownictwa medycznego⁸ operującego w tych dzielnicach. W wierszach W_r podano liczbę wyjazdów do poszczególnych rejonów analizowanych dzielnic, a w kolumnie W_s liczbę wyjazdów, które wystąpiły w roku 2009 z poszczególnych stacji⁹.

Dla danych dotyczących funkcjonowania 4 stacji otrzymano zadanie optymalizacji ze 128 zmiennymi decyzyjnymi i 36 ograniczeniami funkcyjnymi (2)–(3).

Sformułowane zadanie rozwiązano z wykorzystaniem narzędzia Solver, które jest dostępne w arkuszu Excel.

4. Analiza uzyskanych wyników

W wyniku rozwiązania zadania optymalizacyjnego (1)–(4) dla danych z tabeli 2, dotyczących 4 dzielnic Warszawy, otrzymano rozwiązanie optymalne x_{sr}^* podane w tabeli 3¹⁰.

Rozwiązanie optymalne charakteryzuje się optymalną wartością funkcji celu na poziomie 241 406 min, co odpowiada średniemu czasowi dojazdu do rejonu równemu 7,83 min. Co ciekawe, dotychczasowe rozwiązanie dawało wartość funkcji celu 255 821 min, co odpowiadało średniemu czasowi dojazdu 8,29 min. Oznacza to wymierne korzyści, polegające na oszczędzeniu na dojazdach **14 415 minut**, czyli **240 godzin**. Przyjmując ośmiogodzinny dzień pracy, daje to oszczędności na poziomie **30 dni** w ciągu jednego roku.

Z tabeli 3 wynika, że optymalne jest dopuszczenie obsługi dwóch rejonów przez więcej niż jedną stację ratownictwa. Do tych rejonów należy: IV rejon dzielnicy Ochota i VII rejon dzielnicy Ursus. Najważniejszym wynikiem jest zmiana przydziału rejonów do obsługi przez poszczególne stacje. I tak na przykład, optymalnie tylko trzy rejonu dotychczas obsługiwane przez stacje na Bemowie powinny być nadal przez tę stację obsługiwane (rejonu IV, V i VI odpowiednio w liczbie dojazdów 505, 583 i 665), zaś pozostałe przez stacje zlokalizowane na Ochocie (rejonu VII i VIII odpowiednio w liczbie 828 i 811) oraz na Woli (rejonu I, II i III odpowiednio w liczbie 721, 627 i 780).

Fakt rozwiązania zadania optymalizacyjnego (1)–(4) metodą simpleksu pozwala na przeprowadzenie analizy *postoptymalizacyjnej*, a dokładniej analizy wrażliwości. Fragmenty raportu wrażliwości podano w tabeli 4. Pierwsza jej część dotyczy wrażliwości na zmiany wartości współczynników w funkcji celu, zaś druga wrażliwości na zmiany wartości prawych stron ograniczeń.

I tak, z pierwszej części tabeli 4 (*funkcja celu*) wynikają następujące wnioski:

Stacje\rejonys\r	Rejony Bemowa 2009							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Bemowo	0	0	0	505	583	665	0	0
Ochota	0	0	0	0	0	0	828	811
Ursus	0	0	0	0	0	0	0	0
Wola	721	627	780	0	0	0	0	0
Rejony Ochoty 2009								
s\r	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Bemowo	850	0	0	648	0	1198	0	0
Ochota	0	764	1071	0	0	0	1317	1238
Ursus	0	0	0	0	0	0	0	0
Wola	0	0	0	408	1167	0	0	0
Rejony Ursusa 2009								
s\r	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Bemowo	0	0	0	0	0	332	0	0
Ochota	0	0	0	0	208	0	296	0
Ursus	0	0	1365	393	0	0	0	0
Wola	1407	583	0	0	0	0	390	182
Rejony Woli 2009								
s\r	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Bemowo	0	0	0	0	0	0	739	0
Ochota	1319	0	0	0	0	809	0	0
Ursus	0	1550	0	51	810	0	0	987
Wola	0	0	3492	1750	0	0	0	0

Tab. 3. Rozwiązanie optymalne x_{sr}^* zadania (1)–(4). Źródło: opracowanie własne.

Funkcja celu						
Komórka	Nazwa	Wartość końcowa	Przyrost krańcowy	Współczynnik funkcji celu	Dopuszczalny wzrost	Dopuszczalny spadek
\$C\$19	$s=1, r=1$	0	1,19	9,68	1E+30	1,19
\$D\$19	$s=1, r=2$	0	0,38	8,82	1E+30	0,38
Ograniczenia						
Komórka	Nazwa	Wartość końcowa	Cena dualna	Prawa strona w. o.	Dopuszczalny wzrost	Dopuszczalny spadek
\$B\$26	ogr1 ^{a)}	5520	-0,11	5520	296,00	0,00
\$B\$31	ogr5 ^{b)}	721	8,60	721	0,00	296,00

a) Pierwsze ograniczenie typu (2).

b) Pierwsze ograniczenie typu (3).

Tab. 4. Wyniki analizy wrażliwości zadania optymalizacji (1)–(4). Źródło: opracowanie własne. Fragment raportu wrażliwości w Excelu.

- dowolny wzrost wartości (kolumna *Dopuszczalny wzrost*) współczynnika o dotychczasowej wartości 9,68 (średni czas dojazdu ze stacji zlokalizowanej na Bemowie do rejonu I tej dzielnicy) nie spowoduje zmiany uzyskanej, optymalnej rejonizacji (wiersz $\$C\19);
 - skrócenie tego czasu o więcej niż 1,19 minuty (kolumna *Dopuszczalny spadek*) spowoduje, że uzyskana optymalna lokalizacja przestanie być optymalną i w takim przypadku należałoby znaleźć nową.
- Z drugiej części tabeli 4 (*ograniczenia*) wynikają następujące wnioski:
- zwiększenie możliwości stacji zlokalizowanej na Bemowie (czyli zwiększenie podaży usług) o 1 wyjazd w roku (wiersz $\$B\26) może spowodować skrócenie całkowitego czasu dojazdu (czyli wartości funkcji celu) o 0,11 minuty (kolumna *Cena dualna*);
 - zwiększenie zapotrzebowania rejonu I w dzielnicy Bemowo (czyli zwiększenie popytu na usługę) o 1 wyjazd w roku (wiersz $\$B\31) może spowodować wydłużenie całkowitego czasu dojazdu (czyli wartości funkcji celu) o 8,60 minuty (kolumna *Cena dualna*).

5. Modyfikacje zadania rejonizacji

Rozwiązanie zadania optymalizacji (1)–(4) otrzymano przy przyjęciu następujących założeń:

1. Zmienne decyzyjne mają charakter ciągły (czyli liczba wyjazdów może być wielkością ułamkową).
2. Każdy z rejonów może być obsługiwany przez co najmniej jedną (a nie dokładnie jedną) stację.
3. Rozwiązanie optymalne charakteryzuje się minimalną wartością średniego czasu dojazdów do rejonów.
4. Brak ograniczeń na czas dojazdu do rejonów.

Odnosnie założenia 1. okazało się, że uzyskane rozwiązania są całkowitoliczbowe, dlatego nie potrzeba było narzucać dodatkowego ograniczenia na całkowitoliczbowość zmiennych decyzyjnych.

Natomiast zmiana założenia 2., czyli przyjęcie obsługi każdego rejonu przez dokładnie jedną stację ratownictwa, powoduje konieczność zmodyfikowania zadania optymalizacji w następujący sposób.

Wyznaczyć taką rejonizację funkcjonowania stacji ratownictwa, reprezentowaną zmiennymi y_{sr} , aby:

$$FC = \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^{R_1+\dots+R_S} y_{sr} \cdot W \cdot \bar{T}_{sr} \rightarrow \min \quad (5)$$

przy ograniczeniu:

$$\sum_{r=R_{s-1}+1}^{R_{s-1}+R_S} y_{sr} \cdot W_r \cdot \leq W_s \cdot M_s, \quad s = 1, \dots, S, \quad (6)$$

$$\sum_{s=1}^S y_{sr} = 1, \quad r = 1, \dots, R_1 + \dots + R_S, \quad (7)$$

$$y_{sr} \in \{0,1\}, \quad s = 1, \dots, S, \quad r = 1, \dots, R_1 + \dots + R_S, \quad (8)$$

gdzie y_{sr} jest zmienną binarną przyjmującą wartość 1, jeśli r -ty rejon będzie obsługiwany przez s -tą stację, zaś 0 w przeciwnym przypadku. I właśnie ograniczenie (7) zapewnia spełnienie przyjętego, nowego założenia.

Zadanie (5)–(8) należy do tzw. zadań binarnych¹¹.

Kolejna modyfikacja dotyczy zmiany założenia 3. Mianowicie można żądać uzyskania takiej rejonizacji, aby najdłuższy spośród średnich czasów dojazdu do rejonów był jak najmniejszy. Zastosowanie takiego podejścia wymaga zmodyfikowania funkcji celu zadania optymalizacji w następujący sposób:

$$FC = \min \left(\max \left\{ \sum_{s=1}^S x_{sr} \cdot \bar{T}_{sr} : r = 1, \dots, R_1 + \dots + R_S \right\} \right). \quad (9)$$

W wyniku tego otrzymujemy zadanie optymalizacyjne z tzw. maksymalną funkcją celu¹².

Może się również okazać konieczne narzucenie warunku, aby czasy dojazdu do poszczególnych rejonów nie przekroczyły pewnej zadanej wartości¹³ (np. wspomniany na początku artykułu wymóg ustawowy).

To zaś jest związane z modyfikacją zadania optymalizacyjnego poprzez dodanie kolejnego ograniczenia następującej postaci:

$$\sum_{s=1}^S \frac{x_{sr} \cdot \bar{T}_{sr}}{W_r} \leq T_r^g, \quad r = 1, \dots, R_1 + \dots + R_S. \quad (10)$$

Ograniczenie (10) oznacza, że średnie czasy dojazdu do rejonów (lewa strona nierówności) nie mogą przekroczyć pewnego z góry zadanego poziomu T_r^g .

Inne modyfikacje, pokazujące kierunek dalszych badań, mogą polegać na uwzględnieniu losowości czasów T_{sr} dojazdu od s -tej stacji do r -tego rejonu, co prowadzi do uzyskiwania zagadnień stochastycznych programowania matematycznego¹⁴.

6. Zakończenie

W niniejszym artykule przedstawiono propozycje wykorzystania pewnego typu zadań optymalizacyjnych do rozwiązania problemu rejonizacji funkcjonowania Stacji Ratownictwa Medycznego. Problem ten, powszechnie występujący w działalności przedsiębiorstw, doczekał się wielu rozwiązań formalnych. Zdecydowana ich większość¹⁵ korzysta z faktu, że problem rejonizacji można rozpatrywać jako zagadnienie transportowe w wer-

sji klasycznej lub zmodyfikowanej. I tak też uczynił autor niniejszego artykułu.

Rozważania dotyczące rejonizacji Stacji Ratownictwa Medycznego są wyjątkowo aktualne w kontekście ostatnich działań Pani Minister zdrowia Ewy Kopacz. Zatwierdziła ona plan, zgodnie z którym od 1 lipca 2011 r. mają nastąpić zmiany w systemie ratownictwa medycznego. Dotyczyć one będą punktów wyczekiwania karettek.

Zmiany te będą również dotyczyły dyspozytorni, które obecnie są w każdym powiecie i dysponują tymi karetkami, które ma powiat. Na Mazowszu jest obecnie 43 dyspozytorni, a od 1 lipca 2011 r. ma być ich 29. Te będą działały przez rok, gdyż ideą jest zmniejszenie ich liczby do 5.

Jeden punkt odbioru zgłoszeń ma dysponować znacznie większą liczbą zespołów ratownictwa medycznego, co powinno ułatwić wykorzystanie sąsiednich zespołów, w przypadku gdy najbliższy będzie zajęty. Obecnie w woj. mazowieckim funkcjonuje prawie 180 zespołów ratowniczych. Zwiększona będzie także liczba miejsc wyczekiwania karettek.

Opisane zmiany, w tym przede wszystkim zmniejszenie liczby rejonów operacyjnych karettek i przyporządkowanie do nich miejscowości według kryterium najszybszego dojazdu, ma się przyczynić do tego, że pogotowie będzie szybciej dojeżdżało do pacjentów – zapewniał na łamach prasy wojewoda mazowiecki Jacek Kozłowski. Mówił on, że „zespoły ratownictwa medycznego będą miały bliżej do pacjenta, a tym samym znacznie skróci się czas ich dojazdu”¹⁶.

Dodatkowo, twórcy planu zakładają zwiększenie liczby tzw. karettek dziennych (pracujących między godz. 10 a 22), a zmniejszenie liczby tzw. karettek nocnych, co wynikało z obserwacji, iż najwięcej wezwań do chorych odnotowywanych jest w ciągu dnia. Ma to skrócić czas dojazdu do pacjenta i pozwolić na lepszą koordynację działań ratowniczych.

W związku z tym nasuwa się pytanie, czy autorzy planu przygotowali go w sposób rzetelny, korzystając z osiągnięć logistyki, w tym przede wszystkim badań operacyjnych.

Reasumując, celem artykułu było pokazanie sposobu wykorzystania narzędzi formalnych do sprawdzenia, czy zaproponowane zmiany po 1 lipca 2011 r. faktycznie będą skutkować skróceniem czasów dojazdów karettek.

Informacje o autorze

Dr Arkadiusz Manikowski – Wydział Zarządzania, Uniwersytet Warszawski.
E-mail: AManix@mail.wz.uw.edu.pl.

Przypisy

¹ Jest jeszcze jeden ważny, nieporuszony w artykule problem – lokalizacja stacji ratownictwa medycznego.

- 2 Dane udostępniono przez Dyрекcję Wojewódzkiej Stacji Pogotowia Ratunkowego w Warszawie mojemu dyplomantowi Marcinowi Wójcickiemu na potrzeby napisania przez niego pracy magisterskiej na Wydziale Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego pt. *Analiza funkcjonowania stacji ratownictwa medycznego na przykładzie Warszawy*.
- 3 Oczywiście analogiczne dane wykorzystano dla pozostałych stacji.
- 4 Problem sformułowany w artykule jest typowym problemem rejonizacji i do jego rozwiązania, w pewnych przypadkach, można wykorzystać zadanie transportowe w klasycznej lub zmodyfikowanej postaci: m.in. (Całczyński 1992: 4.2.1; Krawczyk 2001: rozdz. 6; Wagner 1980: rozdz. 6).
- 5 Usługę w postaci pomocy ofiarom potraktowano tutaj z punktu widzenia modelowego jako jednorodny towar, zdając sobie sprawę z tego, że wyjazdom przypisuje się kody od 1 do 5. Tak rozumianą niejednorodność można uwzględnić, stosując tzw. wieloindeksowe zagadnienie transportowe – zob. (Czerwiński 1967: 58).
- 6 Opis tych metod można znaleźć między innymi w (Krawczyk 2001: rozdz. 6). Warto również zaznaczyć, że zadanie (1)–(4) należy do tzw. otwartych zadań transportowych, co ze względu na wykorzystanie do jego rozwiązania algorytmu simpleks nie ma większego znaczenia.
- 7 Dla dzielnicy Bemowa dane podano w tabeli 1.
- 8 Wspomniany wcześniej Marcin Wójcicki.
- 9 Z oczywistych względów przyjęto tutaj, że $\sum W_i = \sum W_r$, co ze względu na występowanie parametru M_s w ograniczeniu (2) nie oznacza, że mamy do czynienia z zamkniętym zagadnieniem transportowym.
- 10 Założono tutaj $M_s = 1$.
- 11 Bogaty opis zagadnień binarnych można znaleźć np. w (Walukiewicz 1986).
- 12 Np. (Grabowski 1982: rozdz. 11.4). Podobne zagadnienie, gdzie kryterium ma postać minimalizacji maksymalnego czasu dojazdu, omawia (Ignasiak 1997) w podrozdziale 4.6 i nazywa zagadnieniem transportowym z kryterium czasu. Podaje tam również metodę rozwiązania tego zadania.
- 13 Czyli zmiana założenia 4.
- 14 Np. (Grabowski 1982: rozdz. 19). Można również w tym celu wykorzystać systemy kolejkowe, co wymaga znajomości rozkładów czasów docierania karetek na miejsce wezwania. Podejścia tego typu nie można było zastosować w niniejszym artykule ze względu na ograniczoną dostępność danych liczbowych.
- 15 O czym świadczy cytowana tutaj literatura.
- 16 PAP/Rynek Zdrowia, www.rynekzdrowia.pl, dostęp: 29.12.2010.

Bibliografia

- Całczyński, A. 1992. *Metody optymalizacyjne w obsłudze transportowej rynku*, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Czerwiński, Z. 1967. *Matematyka na usługach ekonomii*, Warszawa: PWN.
- Grabowski, W. 1982. *Programowanie matematyczne*, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne
- Ignasiak, E. (red.) 1997. *Badania operacyjne*, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Krawczyk, S. 2001. *Metody ilościowe w logistyce*, C.H. Beck, Warszawa 2001.
- Paździach, S. i P. Guła 2008. *Komentarz – Ustawa o Państwowym Ratownictwie Medycznym*, Warszawa.

- Ustawa o Państwowym Ratownictwie Medycznym*. Dz.U. z 2001 r. Nr 113, poz. 1207.
Ustawa o Państwowym Ratownictwie Medycznym. Dz.U. z 2006 r. Nr 191, poz. 1410.
Wagner, H.M. 1980. *Badania operacyjne*, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
Walukiewicz, S. 1986. *Programowanie dyskretne*, Warszawa: PWN.
Wójcicki, M. (w przygotowaniu). *Analiza funkcjonowania Stacji Ratownictwa Medycznego*,
praca magisterska pod kierunkiem A. Manikowskiego.
www.rynekzdrowia.pl