

Grzegorz BIEŚ
Komenda Powiatowa Policji w Dąbrowie Tarnowskiej

ZASTOSOWANIE ALGORYTMU „AMS” DO PRZESTRZENNEJ ALOKACJI ZASOBÓW NA PRZYKŁADZIE ROZMIESZCZENIA PATROLI INTERWENCYJNYCH POLICJI

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono możliwość wykorzystania komputerowego algorytmu optymalizacji „Małe Światy” (AMS) do zarządzania przestrzenną alokacją zasobów, na przykładzie wyznaczenia optymalnego rozmieszczenia w terenie patroli interwencyjnych Policji. Zaproponowano matematyczny model dyslokacji, będący połączeniem dwóch celów optymalizacyjnych. Pierwszy ukierunkowany na objęcie nadzorem jak największego obszaru działania jednostki oraz drugi na minimalizację łącznego czasu obsługi wszystkich zgłoszonych interwencji. Przeprowadzono symulacje na rzeczywistych danych i porównano z obecnie funkcjonującymi rozwiązaniami w Policji. Uzyskane wyniki wskazują, że wykorzystanie zaprezentowanego modelu może zwiększyć skuteczność działania jednostek Policji, a także przynieść wymierne korzyści ekonomiczne.

Słowa kluczowe: algorytm „Małe Światy”, problem alokacji zasobów, optymalizacja, służby ratunkowe

APPLICATION OF ALGORITHM „SMALL WORLDS” FOR PLANNING THE DEPLOYMENT OF POLICE PATROLS

Summary. In this paper presents the possibility of using a computer optimization algorithm “Small Worlds” (ASW) to manage the spatial allocation of resources, for example determine the optimum location of police patrols in the area. Proposed mathematical model of the dislocation, which is a combination two optimization objectives. The first aims is to cover the maximum area by patrols and two is minimize the total operating time for all reported interventions. Simulations have been run on real data and compared to the current solutions in the Police. The results indicate that the use of the presented model can improve the efficiency of the Police and also bring tangible economic benefits.

Keywords: algorithm “Small Worlds” (ASW), location-allocation problem, optimization, emergency services

1. Wprowadzenie

Odpowiednie rozmieszczenie posiadanych sił w terenie, a tym samym objęcie ochroną jak największego obszaru działania jednostki jest jednym z podstawowych celów wszystkich służb ratunkowych, w szczególności Policji, Straży Pożarnej, Pogotowia Ratunkowego, a także wielu innych, np. agencji ochrony mienia. Sprawne zarządzanie zasobami oraz właściwa ich dyslokacja powodują zwiększenie skuteczności działania, a także przyczyniają się do zmniejszenia ogólnych kosztów funkcjonowania jednostki.

W opracowaniu jako przykład zaprezentowano dyslokację patroli służby prewencyjnej Policji, realizującej część zadań związanych z systemem bezpieczeństwa publicznego. Jednym z podstawowych elementów tego systemu jest zmotoryzowany patrol interwencyjny, któremu zostaje przydzielony określony rejon pełnienia służby, będący częścią całego terenu działania jednostki. W swoim rejonie patrol realizuje zadania ogólnopolicyjne oraz obsługuje zgłoszone interwencje. Ponieważ czas pracy patrolu jest ograniczony, oznacza to, że może on obsłużyć określoną liczbę interwencji w trakcie swojej służby. Liczba ta zależy głównie od rodzaju zdarzeń oraz miejsc ich występowania. Dodatkowo skuteczność podjętych czynności jest uzależniona od szybkości działania, a zatem funkcjonariusze od chwili otrzymania zgłoszenia powinni dojechać na miejsce interwencji w ustalonym, maksymalnym czasie, gdyż zwiększa to szansę udzielenia pomocy ofiarom, zatrzymania sprawców itp. Mając na względzie ograniczenia kadrowe jednostki, liczbę posiadanych pojazdów, a także rozpiętość terenu działania, w większości przypadków nie ma możliwości dyslokowania patroli w każdym potencjalnym miejscu wystąpienia zagrożenia. Tym samym odpowiednie ich rozmieszczenie na obszarze działania jednostki ma bardzo istotne znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania całego systemu bezpieczeństwa. Ponadto, jednym z głównych mierników oceny skuteczności działań Policji jest czas reakcji na zgłoszenie¹, będący czasem dojazdu i podjęcia czynności na miejscu interwencji. Dla służb ratunkowych nie powinien on przekraczać 8 minut w terenie miejskim oraz 18 minut w terenie wiejskim.

W chwili obecnej jednostki terenowe Policji nie dysponują komputerowym systemem planowania optymalnej dyslokacji patroli, na podstawie istniejącego zagrożenia. Właściwa dyslokacja zależy głównie od doświadczenia oraz wiedzy osób, które przygotowują najbardziej optymalny układ rozmieszczenia patroli w terenie. W niniejszej pracy przedstawiono rozwiązania, które mogą być podstawą do stworzenia komputerowego systemu planowania przestrzennej alokacji zasobów nie tylko dla Policji, ale również innych służb ratunkowych.

¹ Zarządzenie Nr 1147 Komendanta Głównego Policji z dnia 22 września 2011 r. w sprawie planowania strategicznego, sprawozdawczości i oceny pracy Policji.

2. Model dyslokacji patroli interwencyjnych w terenie

Optymalne rozmieszczenie obiektów w terenie odnosi się do klasy problemów ogólnie zaliczanych do grupy tzw. *location-allocation problem*.² Głównym celem prezentowanych problemów jest ustalenie optymalnej lokalizacji dla jednego lub więcej obiektów, które będą „świadczyć usługi” na żądanie danego zbioru klientów.³ Zakłada się, że optymalna lokalizacja przyczynia się do osiągnięcia odpowiedniego poziomu oferowanych usług, a także maksymalizuje zyski lub minimalizuje koszty.^{4,5} W dostępnej literaturze można znaleźć wiele przykładów matematycznych modeli opisujących rozmieszczenie służb ratunkowych na danym obszarze,^{6,7,8} w tym także zmotoryzowanych patroli Policji.^{9,10}

W opracowaniach dotyczących służb policyjnych wykorzystano głównie dwa modele, związane z przestrzenną alokacją zasobów: *Set Covering Problem* (SCM)¹¹ oraz *Maximal Covering Location Problem* (MCLP).¹² Jednak w prezentowanych opracowaniach przyjęto założenia, że dany sektor (klient) może być obsługiwany przez jeden i tylko jeden patrol (obiekt) lub nie uwzględniono ograniczenia, związanego z czasem pracy. Wynika to głównie z wykorzystanych modeli SCM, MCLP, w których zmienne decyzyjne przyjmowały jedynie wartości binarne. Wydaje się jednak, że dla prezentowanego problemu tego rodzaju założenia nie są właściwe, gdyż w rzeczywistości bywają sytuacje, w których pojedynczy patrol nie jest w stanie obsłużyć wszystkich zgłoszonych interwencji na obszarze sektorów będących w jego zasięgu.

W niniejszym opracowaniu zaproponowano model dyslokacji patroli, w którym przyjęto założenia, że każdy sektor może być obsługiwany przez więcej niż jeden patrol (5), patrole

² Owen S.H., Daskin M.S.: Strategic facility location: A review. „European Journal of Operational Research”, No. 111, 1998, p. 423-447.

³ <http://en.wikipedia.org/wiki/Location-allocation>, 27.12.2011.

⁴ Daskin M.S.: Network and Discrete Location – Models, Algorithms and Applications. John Wiley & Sons, 1995.

⁵ ReVelle C.S., Eiselt H.A.: Location analysis: A synthesis and survey. „European Journal of Operational Research”, No. 165, 2005, p. 1-19.

⁶ Araz C., Selim H., Ozkaraman I.: A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services. „Computers & Operations Research”, No. 34, 2007, p. 705-726.

⁷ Church R., Sorensen P., Corrigan W.: Manpower Deployment in Emergency Services. „Fire Technology”, No. 37, 2001, p. 219-234.

⁸ Daskin M.S.: Application of an Expected Covering Model to Emergency Medical Service System Design. „Decision Sciences”, No. 13(3), 1982, p. 416-439.

⁹ Adler N., Hakkert S., Sher M.: Location-Allocation Models for the Traffic Police Routine Patrol Vehicles on an Interurban Network, ORSIS Conference, 2008.

¹⁰ Curtin K.M., Hayslett-McCall K., Qiu F.: Determining Optimal Police Patrol Areas with Maximal Covering and Backup Covering Location Models. „Networks and Spatial Economics”, 2010, p. 125-145.

¹¹ Church R., ReVelle C.S.: Theoretical and computational links between p-median, location setcovering and maximal covering location problem. „Geogr. Anal”, 1976, s. 406-415.

¹² Church R., ReVelle C.S.: The maximal covering location problem. „Paper of the Regional Science Association”, No. 32, 1974, p. 101-118.

posiadają ograniczony czas służby (7), wszystkie zgłoszone interwencje muszą zostać obsłużone (4), obsługą interwencji w danym sektorze zajmuje się patrol, który jest najbliżej (racjonalne wykorzystanie czasu pracy), patrole mogą obsługiwać interwencje w sektorach, znajdujących się w odległości nie większej niż założona (ograniczenie związane z czasem reakcji na zgłoszenie) (6) oraz droga pomiędzy dwoma punktami to odległość miejska (8).¹³ Zaproponowany model jest połączeniem dwóch celów optymalizacyjnych, związanych z przestrzenną alokacją zasobów. Pierwszy ukierunkowany na maksymalne pokrycie terenu przez patrole, a zatem objęcie ochroną jak największego obszaru działania oraz drugi na minimalizację czasu obsługi wszystkich zgłoszonych interwencji, a przez to zmniejszenie łącznej liczby przejechanych kilometrów przez patrole.

Na podstawie przyjętych założeń dla prezentowanego modelu dyslokacji zaproponowano funkcję celu F_c (1), uwzględniającą przedstawione cele optymalizacyjne.

Oznaczenia:

p – liczba patroli,

n – liczba sektorów (możliwych lokalizacji),

C – czas pracy patrolu,

L_i – liczba wszystkich zgłoszonych interwencji w sektorze i ,

L'_i – liczba interwencji pozostających do obsługi w sektorze i ,

T_o – średni czas obsługi interwencji,

d_{ij} – odległość pomiędzy sektorem i oraz sektorem lokalizacji patrolu j ,

V – średnia prędkość patrolu w terenie miejskim,

Td_{ij} – czas przejazdu do sektora i przez patrol j (d_{ij} / V),

T_{max} – maksymalny czas reakcji na zgłoszenie,

Funkcja celu:

$$F_c = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n k_{ij} \quad (1)$$

$$w_c = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n k_{ij}}{p} \quad (2)$$

$$w_b = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p (T_{ij} z_j)}{n} \quad (3)$$

¹³ http://pl.wikipedia.org/wiki/Przestrzeń_metryczna, 27.12.2011.

gdzie: k_{ij}, z_{ij} – zmienne decyzyjne,

w_c – współczynnik wykorzystania czasu pracy patroli na obsługę interwencji,

w_p – współczynnik pokrycia terenu przez patrole,

M – współczynnik modelu dyslokacji.

Ograniczenia:

$$\left[\sum_{j \in P} z_{ij} \right] \leq c_i, \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \in P} k_{ij} d_{ij} \leq M \\ \sum_{j \in P} z_{ij} d_{ij} \leq M \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \in P} d_{ij} \leq M \\ \sum_{j \in P} d_{ij} \leq M \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq M, \quad (7)$$

$$d_{ij} \in \{0,1\}, \quad (8)$$

$$k_{ij} \in \langle 0,1 \rangle, \quad (9)$$

$$z_{ij} \in \{0,1\}, \quad (10)$$

W zależności od $M \in \langle 0,1 \rangle$ wartość funkcji celu w większym lub mniejszym stopniu jest uzależniona od współczynników w_c lub w_p (celu optymalizacyjnego), a tym samym jest możliwe uzyskanie modelu hybrydowego. W przypadku niespełnienia któregośkolwiek z ograniczeń (4-10) funkcja celu, poprzez zastosowanie tzw. "funkcji kary", przyjmuje wartości ujemne. Zmienna decyzyjna k_{ij} może przyjmować wartości rzeczywiste z przedziału $\langle 0,1 \rangle$ i wskazuje, jaka część czasu pracy patrolu j zostanie wykorzystana na obsługę interwencji w sektorze i . Natomiast zmienna z_{ij} przyjmuje wartości binarne $\{0,1\}$ i określa, czy sektor i znajduje się w zasięgu patrolu j . Tym samym w proponowanym modelu wprowadzono możliwość częściowego wykorzystania zasobów obiektu (czasu pracy patrolu), świadczącego usługi na rzecz ustalonych klientów (sektorów), w przeciwieństwie do modeli opartych na klasycznych problemach alokacji SCM, MCLP, gdzie zmienne decyzyjne przyjmowały wartości binarne.

3. Rzeczywiste dane wykorzystane w symulacjach

Zaprezentowany model dyslokacji sprawdzono wykorzystując rzeczywiste dane, uzyskane z systemu *EKSD*¹⁴, który zawiera informacje o zgłoszonych zdarzeniach, naruszających normy prawa lub zasady współżycia społecznego (kategoria: INTERWENCJE) oraz miejsca ich występowania na terenie województwa małopolskiego. W analizie wykorzystano dane dotyczące miasta Tarnowa, zarejestrowane w sierpniu 2011 roku na II zmianie służby. Dodatkowo pozyskano informacje, dotyczące rzeczywistego rozmieszczenia patroli prewencyjnych na terenie miasta, celem porównania wyników przeprowadzonych symulacji z dyslokacją rzeczywistą. Pozycje patroli w terenie wyznaczono opierając się na współrzędnych położenia środka przydzielonego rejonu służbowego, będącego połączeniem kilku sektorów. W celu uproszczenia modelu w analizie nie uwzględniono dodatkowych patroli, np. pieszych, lokalizowanych w sektorach patroli zmotoryzowanych lub patroli uczestniczących w dodatkowych działaniach na podstawie odrębnych planów dyslokacji.

4. Algorytm optymalizacji i kodowanie

W modelu wykorzystano komputerowy algorytm optymalizacji o nazwie „Małe Światy” (AMS), którego zasada działania została oparta na teorii „małych światów”¹⁵. W prezentowanym algorytmie możliwe rozwiązania problemu zostają zakodowane w strukturze pojedynczego osobnika, najczęściej w postaci łańcucha znaków. W zależności od rozmiaru przestrzeni dopuszczalnych rozwiązań algorytm generuje logarytmicznie zależne odległości (przesunięcia) dla każdego osobnika, a następnie, wykonując losowe operacje arytmetyczne i logiczne tworzy nowych osobników, reprezentujących kolejne rozwiązania problemu, aż do osiągnięcia najlepszej z możliwych wartości funkcji celu w założonej liczbie iteracji algorytmu. Głównymi parametrami algorytmu są: liczba osobników, maksymalna liczba iteracji oraz współczynnik rodzaju dalekich kontaktów *wsp*.

Do określenia położenia w rzeczywistym terenie, obszar miasta Tarnowa o powierzchni 72,4 km² podzielono w odpowiedniej skali na 1024 sektory ułożone w kwadratową siatkę (kratownicę) o wymiarach 32x32, której współrzędne *x*, *y* wskazują położenie patroli oraz sektorów w rzeczywistym terenie i zawierają się w przedziale <0,31> (rys. 2). Struktura pojedynczego osobnika algorytmu (rys. 1) określa pozycje wszystkich patroli i składa się

¹⁴ Elektroniczna Książka Służby Dyżurnej województwa małopolskiego, dane uzyskane za zgodą Małopolskiego Komendanta Wojewódzkiego Policji w Krakowie.

¹⁵ Bieś G.: Komputerowy algorytm optymalizacji oparty na teorii „małych światów”. „Pomiary Automatyka Kontrola”, nr 7, 2011, s. 733-736.

z p segmentów, reprezentujących zakodowane w postaci binarnej współrzędne siatki (x_j, y_j) położenia każdego patrolu j , gdzie $j \leq p$.

patrol 1		patrol 2		patrol 3		patrol p	
x_1	y_1	x_2	y_2	x_3	y_3	x_p	y_p
01001	01100	11100	10001	10011	11101	01010	01011

Rys. 1. Struktura przykładowego osobnika algorytmu AMS

Fig. 1. Structure of an exemplary individual AMS algorithm

Źródło: opracowanie własne.

W algorytmie wykorzystano możliwość do generowania odległości (przesunięć) w odniesieniu do całej struktury osobnika (równoległe dla wszystkich segmentów). Wobec powyższego, podczas modyfikacji pojedynczego osobnika zmiany mogą ulegać równocześnie wszystkie jego segmenty (współrzędne położenia wszystkich patroli).

5. Optymalna dyslokacja patroli Policji na obszarze miasta Tarnowa – studium przypadku

Symulacje przeprowadzono wykorzystując komputer klasy PC o parametrach: procesor AMD Athlon 64 X2 4200+ 2.2 Ghz, pamięć RAM 3 GB, karta graficzna ATI Radeon Xpress 1250 128MB, system operacyjny Microsoft Windows Vista Home Premium. Aplikację testową, wykorzystywaną podczas testów, przygotowano opierając się na darmowym środowisku programistycznym NetBeans IDE 7.0.¹⁶

Dla analizowanego modelu dyslokacji przyjęto następujące wartości parametrów: liczba sektorów (możliwych lokalizacji) $n = 1024$, czas pracy patrolu przeznaczony na obsługę interwencji $C = 400$ min, średnia prędkość patrolu w ruchu miejskim $V = 30$ km/h, maksymalny czas dojazdu do miejsca interwencji $T_{max} = 8$ min, średni czas obsługi interwencji $T_o = 30$ min.

5.1. Wyznaczenie parametrów algorytmu AMS dla proponowanego modelu dyslokacji

W symulacji wykorzystano dane, obejmujące cały okres sierpnia 2011 roku, na podstawie których obliczono średnią liczbę patroli – 5, kierowanych do służby każdego dnia na II zmianie, a także sumaryczną liczbę zgłoszonych interwencji w każdym sektorze. Ponieważ

¹⁶ <http://netbeans.org/community/releases/70/>, 27.12.2011.

z przyjętych założeń wynika, że każdy sektor może być obsługiwany przez więcej niż jeden patrol, wobec powyższego dla n lokalizacji (sektorów) i p patroli liczba możliwych układów rozmieszczenia w terenie wynosi n^p . Algorytm wykorzystano do wyznaczenia optymalnego układu rozmieszczenia (lokalizacji wszystkich patroli) na terenie miasta Tarnowa w zależności od istniejącego zagrożenia, wykorzystując dane miesięczne o liczbie odnotowanych interwencji w poszczególnych sektorach. Liczbę osobników algorytmu, maksymalną liczbę iteracji oraz wartość współczynnika dalekich kontaktów wsp wyznaczono eksperymentalnie, wykonując po 5 symulacji dla każdej z ustalonych wartości parametrów. W tabeli 1 zamieszczono wartość funkcji celu (minimalną, maksymalną) uzyskaną podczas pojedynczej symulacji, średnią liczbę iteracji algorytmu dla najlepszej (maksymalnej) wartości funkcji celu oraz średni czas obliczeń, w zależności od parametrów algorytmu.

Tabela 1

Zależność funkcji celu F_c od parametrów algorytmu AMS

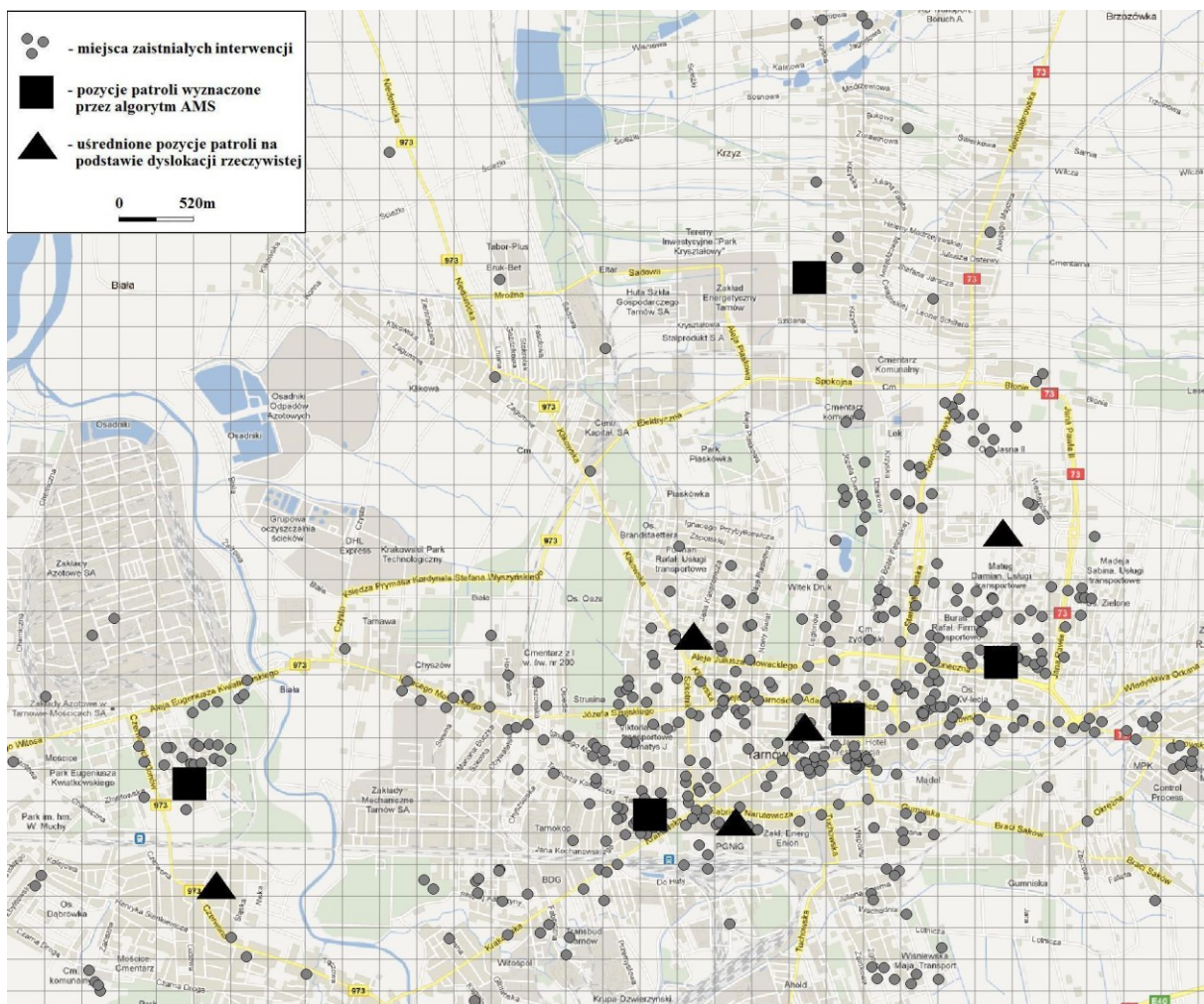
wsp	Liczba osobników	Śr. liczba iteracji	Śr. czas obliczeń [s]	Fc (max)	Fc (min)
0,0	1	773,4	0,43	0,741086	0,735031
0,0	5	712,2	1,92	0,742059	0,740181
0,0	10	733,4	3,90	0,744156	0,742160
0,0	30	844,4	13,61	0,745012	0,743217
0,0	50	680,6	18,55	0,743871	0,742378
0,0	100	701,4	36,19	0,744139	0,742814
0,3	1	730,2	0,37	0,744911	0,744022
0,3	5	710,6	1,73	0,745548	0,744693
0,3	10	728,2	4,02	0,745548	0,745196
0,3	30	741,8	11,44	0,745548	0,745498
0,3	50	721,0	17,35	0,745548	0,745548
0,3	100	561,4	27,09	0,745548	0,745548
0,7	1	834,6	0,47	0,745532	0,742613
0,7	5	753,2	1,93	0,745548	0,745263
0,7	10	701,4	4,09	0,745548	0,745263
0,7	30	548,4	8,41	0,745548	0,745532
0,7	50	451,0	11,56	0,745548	0,745532
0,7	100	445,4	24,66	0,745548	0,745548
1,0	1	509,8	0,30	0,745548	0,743854
1,0	5	468,4	1,25	0,745548	0,744877
1,0	10	464,8	3,04	0,745548	0,745532
1,0	30	312,4	5,02	0,745548	0,745548
1,0	50	276,6	7,37	0,745548	0,745548
1,0	100	248,4	19,9	0,745548	0,745548

Źródło: Opracowanie własne.

Zaprezentowane dane wskazują, że najlepsze wyniki działania algorytmu uzyskano dla wartości współczynnika dalekiego kontaktu $wsp = 1,0$ oraz kilkudziesięciu osobników. Dla powyższych parametrów maksymalna i minimalna wartość funkcji celu była taka sama, a zatem jednakowa we wszystkich przeprowadzonych próbach. Wobec powyższego

parametry algorytmu AMS dla prezentowanego modelu dyslokacji ustalono następująco: liczba osobników – 50, maksymalna liczba iteracji algorytmu – 1000, współczynnik rodzaju dalekiego kontaktu – 1,0.

W celu zobrazowania wyników przykładowej symulacji na rysunku 2 przedstawiono miejsca interwencji odnotowanych w sierpniu na terenie miasta Tarnowa oraz uśrednione lokalizacje patroli, wyznaczone przez algorytm AMS i obliczone na podstawie rzeczywistych dyslokacji.



Rys. 2. Miejsca interwencji w sierpniu 2011 r. na terenie miasta Tarnowa oraz uśrednione lokalizacje patroli

Fig. 2. Places of intervention in August 2011 in the city of Tarnów and averaged police patrols

Źródło mapy: <http://maps.google.pl>.

5.2. Planowanie rozmieszczenia patroli interwencyjnych na obszarze miasta Tarnowa z wykorzystaniem modelu dyslokacji i algorytmu AMS

Przeprowadzono symulacje polegające na planowaniu optymalnego rozmieszczenia patroli w terenie na dany dzień służby, wykorzystując przedstawiony model dyslokacji i algorytm AMS oraz dane o zagrożeniu występującym w poszczególnych sektorach. W tym celu losowo wybrano 10 dni sierpnia, dla których obliczono sumaryczną liczbę interwencji w każdym sektorze z 7 kolejnych dni, poprzedzających wybrany dzień. Na podstawie tak przygotowanych danych archiwalnych, a także informacji o liczbie patroli przewidzianych do służby danego dnia, algorytm zaplanował optymalny układ rozmieszczenia patroli dla każdego z 10 dni służby. Następnie, korzystając z informacji na temat liczby oraz miejsc występowania interwencji w danym dniu, dla wyznaczonej dyslokacji obliczono wartość funkcji celu F_c , współczynników wykorzystania czasu pracy patroli w_c i pokrycia terenu w_p oraz liczbę przejechanych kilometrów d w związku z obsługą interwencji. Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 2, która zawiera również porównanie z parametrami obliczonymi dla rzeczywistego układu rozmieszczenia patroli (dyslokacji rzeczywistej). Symulacje przeprowadzono dla różnego M w celu wyznaczenia wartości współczynnika, dla którego funkcja celu dyslokacji wyznaczonej przez algorytm AMS będzie miała wartość nieujemną, a tym samym zostaną spełnione wszystkie ograniczenia modelu.

Tabela 2

Wyniki porównania parametrów dyslokacji wyznaczonej przez algorytm AMS oraz rzeczywistej, dla wybranych dni sierpnia

dla $M = 1,00$											
Dzień	Parametry modelu dla dyslokacji wyznaczonej przez AMS				Parametry modelu dla dyslokacji rzeczywistej				Porównanie parametrów obu dyslokacji		
	F_c	w_c	w_p	d [km]	F_c	w_c	w_p	d [km]	w_c [%]	w_p [%]	d [%]
1	0,686	0,314	0,793	39,0	-1999	0,333	0,603	57,2	-5,9	31,6	-31,8
2	0,710	0,290	0,791	34,8	-1999	0,312	0,604	56,7	-7,0	30,9	-38,5
3	0,852	0,148	0,871	22,4	0,847	0,153	0,661	29,1	-3,4	31,8	-23,2
4	0,779	0,221	0,768	40,6	0,786	0,214	0,728	33,8	3,4	5,6	20,0
5	0,825	0,175	0,811	19,8	0,829	0,171	0,725	16,6	2,5	11,9	18,8
6	0,609	0,391	0,808	59,8	-1999	0,414	0,554	88,9	-5,5	45,9	-32,7
7	-999	0,368	0,737	54,1	-1999	0,375	0,598	60,3	-2,1	23,4	-10,3
8	0,673	0,327	0,746	32,8	0,671	0,329	0,701	34,8	-0,7	6,4	-6,0
9	-999	0,323	0,768	45,8	-2999	0,339	0,574	56,7	-4,6	33,7	-19,3
10	0,788	0,212	0,856	32,2	-999	0,224	0,627	43,7	-5,1	36,6	-26,2
Średnia	-199	0,277	0,795	38,1	-1199	0,286	0,637	47,8	-2,8	25,8	-14,9
dla $M = 0,98$											
1	0,689	0,314	0,825	39,5	-1999	0,333	0,603	57,2	-5,8	37,0	-30,9
2	0,705	0,299	0,875	43,7	-1999	0,312	0,604	56,7	-4,2	44,7	-22,9
3	0,854	0,148	0,968	22,4	0,843	0,153	0,661	29,1	-3,4	46,4	-23,2
4	0,787	0,217	0,981	36,9	0,785	0,214	0,728	33,8	1,5	34,9	9,2
5	0,825	0,175	0,826	20,3	0,827	0,171	0,725	16,6	2,7	14,0	21,9
6	0,613	0,392	0,829	60,8	-1999	0,414	0,554	88,9	-5,2	49,7	-31,6
7	0,633	0,372	0,864	57,2	-1999	0,375	0,598	60,3	-1,0	44,6	-5,2

cd. tab. 2

8	0,674	0,327	0,754	32,8	0,671	0,329	0,701	34,8	-0,7	7,5	-6,0
9	-999	0,324	0,817	46,3	-2999	0,339	0,574	56,7	-4,2	42,3	-18,3
10	0,792	0,210	0,918	30,2	-999	0,224	0,627	43,7	-6,0	46,4	-31,0
Średnia	-99,2	0,278	0,866	39,0	-1199	0,286	0,637	47,8	-2,6	36,8	-13,8
dla $M = 0,97$											
1	0,685	0,325	0,980	46,3	-1999	0,333	0,603	57,2	-2,7	62,7	-19,1
2	0,709	0,299	0,972	43,7	-1999	0,312	0,604	56,7	-4,2	60,7	-22,9
3	0,856	0,148	0,981	22,4	0,841	0,153	0,661	29,1	-3,4	48,4	-23,2
4	0,789	0,217	0,981	36,9	0,784	0,214	0,728	33,8	1,5	34,8	9,2
5	0,825	0,175	0,826	20,3	0,826	0,171	0,725	16,6	2,7	14,0	21,9
6	0,606	0,405	0,973	72,3	-1999	0,414	0,554	88,9	-2,0	75,7	-18,7
7	0,640	0,368	0,888	54,1	-1999	0,375	0,598	60,3	-2,1	48,5	-10,3
8	0,676	0,329	0,903	34,8	0,672	0,329	0,701	34,8	0,0	28,8	0,0
9	0,688	0,318	0,907	40,0	-2999	0,339	0,574	56,7	-6,0	58,0	-29,4
10	0,784	0,222	0,975	41,6	-999	0,224	0,627	43,7	-0,9	55,5	-4,8
Średnia	0,726	0,281	0,939	41,2	-1199	0,286	0,637	47,8	-1,7	48,7	-9,7

Źródło: opracowanie własne.

6. Omówienie wyników i podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych symulacji wskazują, że wykorzystanie proponowanego modelu i algorytmu AMS w planowaniu dyslokacji patroli na terenie miasta Tarnowa spowodowało wzrost obszaru chronionego średnio o 25,8-48,7% (zależnie od współczynnika modelu dyslokacji M) w porównaniu z dyslokacją przygotowywaną w tradycyjny sposób, przy jednoczesnym zmniejszeniu liczby przejechanych kilometrów przez patrole o około 9,7-14,9%. Optymalne rozwiązanie uzyskano dla współczynnika $M = 0,97$, wykorzystując model hybrydowy, gdyż dla tej wartości wszystkie ograniczenia modelu zostały spełnione. Należy zaznaczyć, że w analizie nie brano pod uwagę czynników zewnętrznych, mających wpływ na dyslokowanie patroli w konkretnych miejscach, np. petycje społeczne, uwarunkowania lokalne, rodzaj zaistniałych zdarzeń itp. Wydaje się jednak, że zastosowanie proponowanych rozwiązań w przestrzennej alokacji zasobów służb ratunkowych może zwiększyć skuteczność działania tych służb, a także przynieść wymierne korzyści ekonomiczne.

Wykorzystanie w modelu heurystycznego algorytmu optymalizacji pozwoliło uzyskać wyniki, które ze względu na złożoność obliczeń nie byłyby możliwe przy zastosowaniu tradycyjnych metod planowania. Na uwagę zasługuje również fakt, że algorytm AMS wykazał się dużą skutecznością w rozwiązywaniu przedstawionego problemu. Wyniki symulacji wskazują, że był on w stanie znaleźć optymalne rozmieszczenie 5 patroli na 1024 sektorach w czasie około 0,3 s, wykorzystując tylko 1 osobnika i wykonując średnio 510 obliczeń funkcji celu. Może to sugerować możliwość jego zastosowania w systemach czasu rzeczywistego przestrzennej alokacji zasobów, gdzie optymalne położenie obiektów jest wyznaczane na podstawie dynamicznie zmieniających się danych wejściowych.

Bibliografia

1. Zarządzenie Nr 1147 Komendanta Głównego Policji z dnia 22 września 2011 r. w sprawie planowania strategicznego, sprawozdawczości i oceny pracy Policji.
2. Owen S.H., Daskin M.S.: Strategic facility location: A review. „European Journal of Operational Research”, No. 111, 1998.
3. <http://en.wikipedia.org/wiki/Location-allocation>, 27.12.2011.
4. Daskin M.S.: Network and Discrete Location – Models, Algorithms and Applications. John Wiley & Sons, 1995.
5. ReVelle C.S., Eiselt H.A.: Location analysis: A synthesis and survey. „European Journal of Operational Research”, No. 165, 2005.
6. Araz C., Selim H., Ozkaraman I.: A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services. „Computers & Operations Research”, No. 34, 2007.
7. Church R., Sorensen P., Corrigan W.: Manpower Deployment in Emergency Services. „Fire Technology”, No. 37, 2001.
8. Daskin M.S.: Application of an Expected Covering Model to Emergency Medical Service System Design. „Decision Sciences”, No. 13(3), 1982.
9. Adler N., Hakkert S., Sher M.: Location-Allocation Models for the Traffic Police Routine Patrol Vehicles on an Interurban Network, ORSIS Conference, 2008.
10. Curtin K.M., Hayslett-McCall K., Qiu F.: Determining Optimal Police Patrol Areas with Maximal Covering and Backup Covering Location Models. „Networks and Spatial Economics”, 2010.
11. Church R., ReVelle C.S.: Theoretical and computational links between p-median, location setcovering, and maximal covering location problem. „Geogr. Anal”, 1976.
12. Church R., ReVelle C.S.: The maximal covering location problem. „Paper of the Regional Science Association”, No. 32, 1974.
13. http://pl.wikipedia.org/wiki/Przestrzeń_metryczna, 27.12.2011.
14. Elektroniczna Książka Służby Dyżurnej województwa małopolskiego, dane uzyskane za zgodą Małopolskiego Komendanta Wojewódzkiego Policji w Krakowie.
15. Bieś G.: Komputerowy algorytm optymalizacji oparty na teorii „małych światów”. „Pomiary Automatyka Kontrola”, nr 7, 2011.
16. <http://netbeans.org/community/releases/70/>, 27.12.2011.