

**Jolanta KOSZELEW**  
Politechnika Białostocka  
ul. Wiejska 45 a, 15-351 Białystok  
E-mail: j.koszelew@pb.edu.pl

## **Problemy optymalizacyjne stosowane w planerach tras turystycznych**

### 1 Wstęp

W ostatnich dziesięciu latach rośnie lawinowo popularność wyjazdów zorganizowanych samodzielnie, tj. bez pośrednictwa biura podróży. Rozwój różnych form turystyki niezorganizowanej ukształtował popyt na systemy typu *e-tourism*, w tym tzw. planery tras turystycznych [7]. Liczba użytkowników takich systemów rośnie szczególnie szybko w Europie i wynosi około 10% rocznie w ciągu ostatnich dwóch lat. Najpopularniejsze w Polsce serwisy podróżnicze to: *mktramping.pl*, *odysei.pl*, *globtroter.pl*, *tubylisny.pl* czy *tripadvisor.pl*. Żaden z tych portali nie zawiera planera, a właściwie generatora tras atrakcyjnych turystycznie, spełniających ograniczenia i preferencje użytkownika [2].

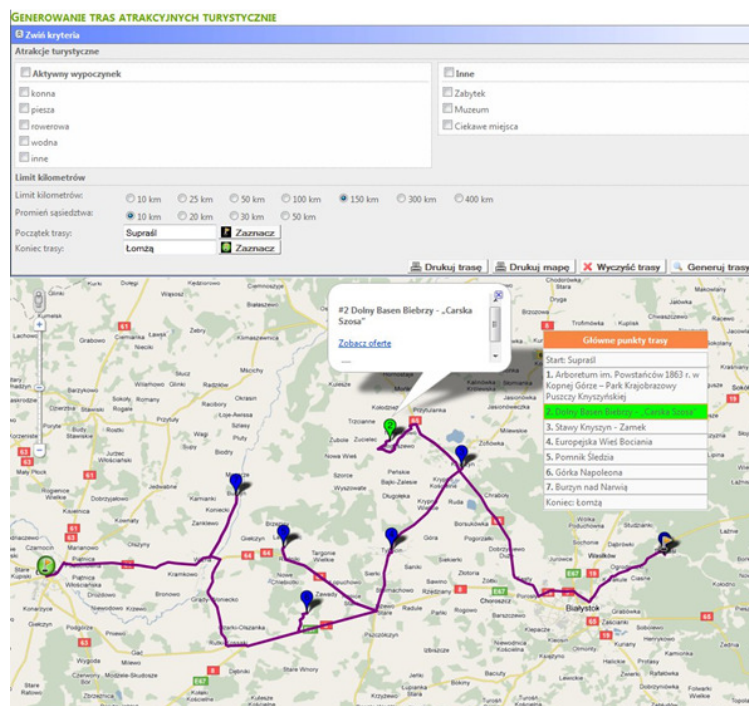
Najpopularniejszym portalem zagranicznym zawierającym zaawansowany planer podróży jest *City Trip Planner* ([www.citytripplanner.com](http://www.citytripplanner.com)) [20]. Jest to portal skupiający się jedynie na dużych miastach europejskich. Sieć obiektów turystycznych w miastach nie jest duża i na ogół nie przekracza 300 wierzchołków. Prawdziwym wyzwaniem jest zadanie opracowania efektywnych czasowo i zadowolających, pod względem jakości wyników, rozwiązań dla dużych sieci, zawierających ponad 1000 wierzchołków (atrakcji turystycznych). Sieci tej wielkości występują w planerach działających na danych regionu, państwa czy kontynentu.

Planery tras turystycznych wykorzystują komponenty oprogramowania zawierające efektywne rozwiązania dla problemów optymalizacyjnych z rodziny problemu komiwojażera z profitami i ograniczeniami [2]. Rodzina ta zawiera klasyczną odmianę tzw. *orientering problem* (w skrócie *OP*) [15] oraz jego różne rozszerzenia i uogólnienia. Zaimplementowane i wykorzystane w nich algorytmy są w stanie wygenerować, w czasie rzeczywistym na poziomie co najwyżej kilku sekund, trasy o możliwie najwyższej atrakcyjności turystycznej, spełniające preferencje i ograniczenia narzucone przez użytkownika aplikacji. Wszystkie odmiany problemu *OP* są klasy *NP-hard*, co oznacza, że w praktyce dla sieci o liczbie powyżej 100 obiektów turystycznych czas realizacji algorytmu dokładnego jest zbyt duży, a tym samym rozwiązania nie mogą być stosowane w systemach internetowych.

Artykuł opisuje projekt innowacyjnej biblioteki oprogramowania *LOGTRAVEL*, która zawiera efektywne algorytmy dla różnych wariantów problemów planowania podróży turystycznej, zwanego *Touristic Trip Planning Problem* (w skrócie *TTPP*) [21]. Efektem zastosowania funkcjonalności realizowanych przez *LOGTRAVEL* jest trasa (lub zestaw tras) o możliwie najwyższym stopniu atrakcyjności turystycznej, spełniająca ustalony zestaw ograniczeń i preferencji określonych przez użytkownika.

Ważne jest, aby metody generujące trasy były efektywne czasowo, zarówno wtedy, gdy są stosowane do obszaru typu kontynent, jak i wtedy, gdy są uruchamiane dla mniejszych terytorialnie regionów, takich jak państwo czy miasto.

Niniejszy artykuł ma charakter przeglądu możliwości zastosowania biblioteki *LOGTRAVEL* na tle wariantów rozwiązań *OP* znalezionych w literaturze. Część opisanych w artykule funkcjonalności została zaimplementowana i przetestowana na realnych danych o obiektach turystycznych z regionu Podlasia (rys. 1).



Rys. 1. Interfejs planera tras na portalu [www.wrotapodlasia.pl](http://www.wrotapodlasia.pl) wykorzystującego funkcjonalności biblioteki *LOGTRAVEL*

Fig. 1. Trip Planner interface at [www.wrotapodlasia.pl](http://www.wrotapodlasia.pl) which applies *LOGTRAVEL* functionalities

## 2 Funkcjonalności biblioteki *LOGTRAVEL*

W każdym z wariantów problemu *TTPP* zrealizowanym w ramach *LOGTRAVEL* dane wejściowe tworzy sieć obiektów (atrakcji turystycznych), tzw. *Points of Interest* (w skrócie *POIs*) o określonym stopniu atrakcyjności i położeniu geograficznym. Rodzaje atrakcji turystycznych mogą być bardzo różne: od zabytków, muzeów czy punktów widokowych począwszy, do hoteli i pensjonatów, a na klubach rozrywkowych skończywszy. Oprócz stopnia atrakcyjności i położenia geograficznego z atrakcją mogą być związane inne informacje, tj. ceny biletów wstępu lub noclegu, czy też godziny

otwarcia obiektu. Krawędziom grafu odpowiadają połączenia komunikacyjne pomiędzy atrakcjami (tj. drogowe, lotnicze, piesze, transportu publicznego itp.). Krawędziom tym przyporządkowana są wagi określające długość połączenia, wyrażające odległość lub/i czas realizacji połączenia. Jeżeli połączenie jest realizowane przy użyciu środka transportu publicznego ujętego w rozkładach jazdy, to czasy realizacji tych połączeń zależą od czasu rozpoczęcia podróży.

Komponent *LOGTRAVEL* umożliwia realizację następujących funkcjonalności:

- *Selecting and Routing* (skrót: *SaR*) – generowanie trasy o możliwe najwyższym łącznym stopniu atrakcyjności obiektów zawartych w trasie. Długość trasy nie może przekroczyć ustalonego limitu (czasowego lub długości połączeń komunikacyjnych).
- *Possibilities of Returns* (skrót: *PoR*) – generowane trasy mogą dodatkowo zawierać powtarzające się atrakcje, ale przy kolejnych wystąpieniach tych samych obiektów stopień atrakcyjności jest zerowy. Funkcjonalność przydatna w sieciach połączeń komunikacyjnych, które modelowane są niepełnym grafem, tzn. takim, w którym może wystąpić brak połączenia bezpośredniego między co najmniej jedną parą obiektów.
- *ObligatoryPOIs* (skrót: *OPs*) – generowanie trasy zawierającej dodatkowo obligatoryjnie atrakcje o statusie *mustsee*. Użytkownik określa zbiór atrakcji, które chce obligatoryjnie odwiedzić w trasie.
- *OpeningHours* (skrót: *OH*) – generowanie trasy uwzględniającej dodatkowo czas dostępu atrakcji włączanych do trasy.
- *ScenicRoutes* (skrót: *SR*) – generowanie trasy, która dodatkowo ma możliwie najwyższą wartość widokową wybieranych połączeń komunikacyjnych, o ile połączeniom w grafie są przyporządkowane wartości atrakcyjności widokowej.
- *Public Transportation* (skrót: *PT*) – generowanie trasy, która dodatkowo może być w całości lub częściowo realizowana przy użyciu wybranych środków transport publicznego (tj. pociąg, samolot, autobus itp) z określonymi rozkładami jazdy.
- *Budget Limitations* (skrót: *BL*) – generowanie trasy, która dodatkowo spełnia ograniczenie budżetu przeznaczonego na realizację trasy.
- *DynamicRecalculation* (skrót: *DR*) – funkcjonalność potrzebna w przypadku zaistnienia nieprzewidzianych wcześniej wydarzeń (np. opóźnienia samolotu) i wymagana jest modyfikacja pierwotnie zaplanowanej trasy w trybie *real-time*.
- *Max-nType* (skrót: *MnT*) – ograniczenie na liczbę atrakcji określonego typu w trasie (np. w trasie mogą wystąpić maksymalnie trzy muzea).
- *ObligatoryTypes* (skrót: *OT*) – określenie typu atrakcji, które muszą co najmniej raz wystąpić w trasie podróży, np. co najmniej jeden zabytkowy kościół.

W tabeli 1 przedstawione zostało zestawienie literaturowe dotyczące rozwiązań poszczególnych wariantów problemu *OP*. Ostatni wiersz tej tabeli dotyczy aktualnego stanu biblioteki *LOGTRAVEL*. Zawarty w aktualnej wersji *LOGTRAVEL* algorytm bazowy dla *OP* implementuje hybrydową kombinację metod typu *local search* z algorytmami populacyjnymi [7].

Autorzy	SaR	PoR	OPs	OH	SR	PT	BL	DR	MnT	OT
V. W. Sooi S. H. Liang [14] 2001	x									
Y. Suna i L. Lee [15] 2004	x									
A. Maruyama et al. [9] 2004	x			x						
K. Hagen et al. [4] 2005	x			x						
T. Shiraishi et al. [13] 2005	x			x		x	x			
T. Kinoshita et al. [5] 2005	x			x						
M. Nagata et al. [11] 2006	x			x						
L. Castillo et al. [1] 2008	x	x	x		x	x		x		
A.S. Niaraki i K. Kim [11] 2009					x					
C. S. Lee et al. [8] 2009	x		x							
J. Koszelew, A. Piwońska i K. Ostrowski Piwońska [6, 7] 2009, 2013	x	x	x	x		x			x	x

Tab. 1. Przegląd zrealizowanych funkcjonalności planerów tras turystycznych

Tab.1. Overview of functionalities of Tourist Trip Planner

### 3 Definicja problemu *TPPP*

Dalsze prace nad biblioteką *LOGTRAVEL* będą ukierunkowane na opracowanie i przetestowanie efektywnego algorytmu dla najbardziej uogólnionej wersji problemu *TPPP* [21], pozwalającego na generowanie tras zawierających nie tylko obiekty turystyczne, ale również miejsca noclegowe. Formalna definicja tego problemu przedstawia się następująco.

Na wejściu dane są:

- $G = (V, E)$  – spójny graf, gdzie  $V = M \cup N$  jest zbiorem lokalizacji (wierzchołków) złożonym z podzbioru  $M = \{1, \dots, m\}$  reprezentującego  $m$  czerwonych lokalizacji (hotelu) i podzbioru  $N = \{m + 1, \dots, m + n\}$  reprezentującego  $n$  czarnych lokalizacji (atrakcji turystycznych). Zbiór  $E$  zawiera krawędzie grafu między lokalizacjami,  $E = \{(i, j): i, j \in V\}$ ;
- $C$  – budżet trasy (łączny koszt odwiedzenia lokalizacji czarnych i czerwonych),
- $d$  – liczba dni trasy,
- $D$  – zbiór dni trasy,
- $T_k$  – czas trwania trasy w  $k$ -tym dniu,
- $\tau_i$  – czas przebywania w lokalizacji  $i$  (czarnej lub czerwonej),

- $(a_i, b_i)$  – czas otwarcia ( $a_i$ ) i zamknięcia lokalizacji ( $b_i$ ),
- $c_i$  – koszt wykorzystania lokalizacji  $i$ ,
- $e_{ij}$  – koszt połączenia między lokalizacjami  $i$  oraz  $j$ ,
- $U_i$  – profit lokalizacji  $i$  (czarnej lub czerwonej),
- $t_{ij}$  – czas połączenia między lokalizacją  $i$  oraz  $j$ .

Wynikiem algorytmu rozwiązującego *TTPP* jest  $d$ -dniowa trasa, spełniająca następujące ograniczenia:

- liczba dni podróży równa się  $d$ ,
- dla każdego dnia podróż zaczyna się i kończy w czerwonym wierzchołku,
- każda lokalizacja czarna jest wykorzystywana w trasach co najwyżej raz,
- czas przyjazdu i odjazdu we wszystkich lokalizacjach zawiera się w przedziałach  $(a_i, b_i)$ ,
- czas trwania trasy każdego  $k$ -tego dnia nie przekracza  $T_k$ ,
- koszt łączny  $d$ -dniowej wycieczki nie przekracza limitu  $C$ .

Definiujemy następujące zmienne decyzyjne:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & , \quad \text{jeżeli } (i, j) \text{ należy do } k \text{ tej części trasy} \\ 0 & , \quad \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & , \quad \text{jeżeli wierzchołek } i \text{ należy do trasy} \\ 0 & , \quad \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

$$z_i = \begin{cases} 1 & , \quad \text{jeżeli czerwony wierzchołek } i \text{ należy do trasy} \\ 0 & , \quad \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

$t_i$  = czas przybycia do lokalizacji  $i$ ,

$t_{ik}^a$  = czas rozpoczęcia wizyty w czerwonym wierzchołku  $i$  w  $k$ -tej części trasy,

$t_{ik}^b$  = czas zakończenia wizyty w czerwonym wierzchołku  $i$  w  $k$ -tej części trasy.

*TTPP* jest zdefiniowany jako mieszany całkowitoliczbowy problem programowania liniowego (*Mixed Integer Linear Programming* (w skrócie *MILP*)).

Wynikiem rozwiązywania problemu jest maksymalna wartość:

$$\sum_{i \in N} U_i y_i + \sum_{i \in M} U_i z_i, \quad (1)$$

taka, że:

$$\sum_{i \in V} x_{irk} = \sum_{j \in V} x_{rjk}, \quad r \in N, k \in D; \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{irk} = \sum_{j \in N} x_{rjk}, \quad r \in M, k \in D; \quad (3)$$

$$y_i \in \sum_{k \in D} \sum_{j \in V} x_{ijk}, \quad i \in N; \quad (4)$$

$$z_i = \frac{1}{d} \sum_{k \in D} \sum_{j \in N} x_{ijk}, \quad i \in M; \quad (5)$$

$$\sum_{i \in M} z_i = 1; \quad (6)$$

$$t_i + \tau_i + t_{ij} - (1 - x_{ijk})T_k \leq t_j, \quad i, j \in N, k \in D; \quad (7)$$

$$t_{ik}^a + t_{ij} - (1 - x_{ijk})T_k \leq t_j, \quad i \in M, j \in N, k \in D; \quad (8)$$

$$t_i + \tau_i + t_{ij} - (1 - x_{ijk})T_k \leq t_{jk}^b, \quad i \in N, j \in M, k \in D; \quad (9)$$

$$a_i \leq t_i \leq b_i, \quad i \in N; \quad (10)$$

$$a_k \leq t_{ik}^a \leq t_{ik}^b \leq b_k, \quad i \in M, k \in D; \quad (11)$$

$$\sum_{i \in N} (c_i y_i + \sum_{k \in D} \sum_{j \in V} e_{ij} x_{ijk}) + \sum_{i \in M} (d c_i z_i + \sum_{k \in D} \sum_{j \in N} e_{ij} x_{ijk}) \leq C, \quad (12)$$

gdzie zmienne decyzyjne mają następujące wartości:

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad i, j \in V, k \in D;$$

$$y_i \in \{0, 1\}, \quad i \in N;$$

$$z_i \in \{0, 1\}, \quad i \in M.$$

Z powyższego wynika, że funkcja celu (1) maksymalizuje łączny profit wszystkich lokalizacji przy spełnieniu następujących warunków dla trasy:

- warunek (2) jest równaniem wyważenia, zapewniającym to, że każdy odwiedzony wierzchołek jest opuszczony przed czasem zamknięcia,
- warunek (3) zapewnia, że każda część trasy zaczyna się i kończy w tym samym czerwonym wierzchołku,
- warunki (4) i (5) definiują zależności pomiędzy  $x_{ijk}$ ,  $y_i$  i  $z_i$ ,
- warunek (6) zapewnia, że tylko jeden czerwony wierzchołek jest wybrany dla każdej części trasy,
- warunki (7) – (11) definiują ograniczenia czasu,
- warunek (12) definiuje ograniczenia budżetu.

Ten najbardziej uogólniony wariant dla problemu planowania tras turystycznych doczekał się na chwilę obecną tylko jednego rozwiązania dla niedużych sieci – do 300 wierzchołków [21]. Zastosowanie rozwiązania problemu *TTPP* w planerach tras umożliwi wygenerowanie trasy możliwie najbardziej atrakcyjnej turystycznie, trwającej złożoną liczbę dni i liczbę godzin w każdym dniu oraz takiej, której każdy dzienny odcinek kończy się w hotelu a łączny założony budżet podróży nie został przekroczony.

#### 4 Podsumowanie

W niniejszym artykule został przedstawiony aktualny stan prac nad wypracowaniem efektywnych rozwiązań dla różnych odmian problemu *OP* znajdujących zastosowanie w systemach zwanych planerami tras atrakcyjnych turystycznie. Większość tego typu systemów wykorzystuje metody przystosowane do działania na małych sieciach. Komponent *LOGTRAVEL* opisywany w artykule zawiera metody efektywne dla dużych sieci (nawet do 1000 *POIs*), które są stosowane w planerach opartych na informacjach turystycznych o obiektach położonych w regionach, a nawet państwach.

Dalsze prace nad biblioteką *LOGTRAVEL* będą miały na celu opracowanie efektywnego rozwiązania problemu *TTPP* dla dużych sieci (co najmniej 600 wierzchołków czarnych). Rozwiązanie przedstawione w [21] nie są efektywne czasowo dla tego typu sieci. W pierwszym etapie dalszych prac będą wygenerowane duże sieci benchmarkowe dla problemu (co najmniej 600 wierzchołków). Dotychczas tak duże sieci benchmarkowe dla *TTPP* nie zostały wygenerowane. Następnie zostaną przeprowadzone badania symulacyjne zachowań poszczególnych wersji algorytmów na wygenerowanych benchmarkach.

## Literatura

1. Castillo L., Armengol E., Onainda E., Sebastia L., Gonzalez-Boticario J., Rodriguez A., Fernandez S., Arias J. D., Borrajo D.: *An user-oriented adaptive system for planning tourist visits*, Expert Systems with Applications, Vol. 34, pp. 1318-1332, 2008
2. Feillet D., Dejax P., Gendreau M.: *Traveling Salesman Problems with Profits*, Transportation Science, Vol. 39 (2), pp. 188-205, 2005
3. Goldberg D. E.: *Algorytmy genetyczne i ich zastosowania*, Warszawa: WNT, 1998
4. Hagen K., Kramer R., Hermkes M., Schumann B., Mueller P.: *Semantic matching and heuristic search for a dynamic tour guide*. Information and Communication Technologies in Tourism, Springer, 2005
5. Kinoshita T., Nagata M., Shibata N., Murata Y., Yasumoto K., Ito M.: *A personal navigation system for sightseeing across multiple days*. In Proc. of the 3rd Int'l. Conf. on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2006), pp. 254-259, 2006
6. Koszelew J., Piwońska A.: *A New Evolutionary Algorithm for Routes Generation with Optimal Time of Realization in Public Transport Network*, Journal of Applied Computer Science, Vol. 18 (2), pp. 7-23, 2010
7. Koszelew J., Ostrowski K.: *A genetic algorithm with multiple mutation which solves problem in large networks*, Computational Collective Intelligence, Lectures Notes in Computer Science, Springer -Verlag, Berlin, pp. 356-365, 2013
8. Lee C. S., Chang Y. C., Wang M. H.: *Ontological recommendation multi-agent for urban city travel*, Expert Systems with Applications, Vol. 36, pp. 6740-6753, 2009
9. Li W.H., Zhenping L., Wang R.S., Zhou W.: *Models and Algorithms for the Constrained Orienteering Problem*, The Ninth International Symposium on Operations Research and Its Applications, (ISORA10), Chengdu-Jiuzhaigou, China, pp. 89-97, 2010
10. Nagata N., Murata Y., Shibata N., Yasumoto K.: *A Method to Plan Group Tours with Joining and Forking*, Simulated Evolution and Learning, Vol. 4247, LNCS Springer Berlin-Heidelberg, 2006, pp. 881-888
11. Shiraishi T., Nagata M., Shibata N., Murata Y., Yasumoto K., Ito M.: *A personal navigation system with a schedule planning facility based on multiobjective criteria*. In Proceedings of 2nd International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking, pp. 104-109, 2005
12. Shiraishi T., Nagata M., Shibata N., Murata Y., Yasumoto K., Ito M.: *A personal navigation system with functions to compose tour schedules based on multiple connecting criteria*, IPSJ Digital Courier, nr 1, pp. 528-536, 2005
13. Suna Y., Lee L.: *Agent-based personalized tourist route advice system*, In ISPRSCongress Istanbul 2004, Proceedings of Commission II, pp. 319-324, 2004
14. Archetti C., Hertz A., Speranza M.: *Metaheuristics for the team orienteering problem*, Journal of Heuristics, 13, pp. 49-76, 2007
15. Buhalis D.: *eTourism: information technology for strategic tourism management*, London: Prentice Hall, 2003
16. Buhalis D., Law R.: *Twenty years on and TEN years after the internet: the state of eTourism research*, Tourism Management, 29 (4), pp. 609-623, 2008

17. Chao I., Golden B., Wasil E.: The team orienteering problem, *European Journal of Operational Research*, 88, pp. 464-474, 1996
18. Souriau W., Vansteenwegen P., Vanden, Berghe G., van Oudheusden D.:  
A greedy randomized adaptive search procedure for the team orienteering problem,  
In *Proceedings of EU/Meeting 2008*, France, 23-24 October, 2008
19. Tang H., Miller-Hooks E.: A tabu search heuristic for the team orienteering problem, *Computers and Operations Research*, 32 (6), pp. 1379-1407, 2005
20. Vansteenwegen P., Souriau W., VandenBerghe G., Van Oudheusden D.: The City Trip Planner: An expert system for tourists, *Expert Systems with Applications*, 38 (6), pp. 6540-6546, 2011
21. Zhu C., Hu J.Q., Wang F., YifanXu Y., Cao, R.: On the tour planning problem, *Annual of Operational Research, Springer Science+Business Media*, 192, 2012, pp. 67-95, 2012

### Streszczenie

W artykule została opisana innowacyjna biblioteka oprogramowania *LOGTRAVEL*, która zawiera efektywne algorytmy rozwiązujące *Problem Planowania Tras Turystycznych* (ang. *Tourist Trip Planning Problem (TTPP)*). Komponent *LOGTRAVEL* może być wykorzystany w wielu turystycznych portalach internetowych, które oferują funkcjonalności inteligentnego planera podróży. Problemy optymalizacyjne, których rozwiązania są zawarte w *LOGTRAVEL*, stanowią mniej lub bardziej skomplikowaną wersję problemu komiwojażera z profitami i ograniczeniami. Ten problem jest znany z literatury jako *orienteering problem* i należy do problemów trudnych obliczeniowo. Niniejszy artykuł ma charakter przeglądowy, definiuje rozwiązywane problemy oraz ich zastosowania, ale nie prezentuje rozwiązań tychże problemów.

**Słowa kluczowe:** problem planowania tras turystycznych, *orienteering problem*, punkty zainteresowania, problem planowania tras, *LOGTRAVEL*



## **Optimization problems applied in tourist trip planners**

### **Summary**

The paper describes the innovative software library *LOGTRAVEL*, which includes efficient algorithms for different variants of the *Tourist Trip Planning Problem (TTPP)*. *LOGTRAVEL* component can be applied in the very popular at the moment web portals that offer functionalities of intelligent travel planner. Optimization problems solved by the methods of *LOGTRAVEL* library are more or less complicated variants of the *Traveling Salesman Problem with Constraints and Profits*. This problem is known in the literature as *Orienteering Problem* and belongs to the set of computationally difficult problems. The paper has the survey character and is to the definition of the problems and their application and does not present solutions for them.

**Keywords:** tourist trip planning problem, orienteering problem, points of interest, trip planning problem, LOGTRAVEL

