

Adam GAŁUSZKA, Jolanta KRYSTEK, Andrzej ŚWIERNIAK  
Politechnika Śląska  
Tomasz HEJCZYK  
ENTE sp. z o.o.

## **PROJEKTOWANIE MODUŁU BEZPIECZEŃSTWA I KOMFORTU W KOLEJOWYM RUCHU PASAŻERSKIM JAKO ZADANIE WIELOKRYTERIALNEJ OPTYMALIZACJI DYSKRETNEJ**

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono problem projektowania konfiguracji systemu składającego się z sześciu modułów jako zadanie optymalizacji wielokryterialnej. Projektowanym systemem jest Zintegrowany System Wspomagający Zarządzanie Informacją o Kolejowym Ruchu Pasażerskim o akronimie ZSIKRP zawierający w sobie moduły: video monitoringu, diagnostyki pojazdu, zliczania potoków pasażerskich, informacji pasażerskiej w pociągu, dynamicznego rozkładu jazdy, detekcji zagrożeń i pożarów oraz centrum nadzoru. Rozważono zaprojektowanie każdego z modułów na trzy różne sposoby, przy czym każdy ze sposobów został oceniony przez ekspertów z uwzględnieniem trzech kryteriów. Wykorzystując podstawowe metody optymalizacji wielokryterialnej, wskazano zbiory rozwiązań Pareto możliwych konfiguracji systemu.

## **DESIGN OF RAIL PASSENGERS SAFETY AND COMFORT SYSTEM AS MULTI-OBJECTIVE DISCRETE OPTIMIZATION PROBLEM**

**Summary.** This paper presents a concept of an Integrated System of Supporting Information Management in Passenger Traffic. The novelty of the system is an integration of six modules: video-monitoring, counting passenger flows, dynamic information for passengers, the central processing unit, surveillance center and vehicle diagnostics into one coherent solution. Basing on expert evaluations, we propose to present configuration design problem of the system as three-objectives discrete static optimization problem. Then, a new hybrid method joining properties of weighted sum and  $\epsilon$ -constraint methods is proposed. The hybrid approach matches our problem. Solution selections based on hybrid method, using two exemplary cases, are shown.

### **1. Wprowadzenie**

Systemy monitorowania i diagnostyki obecnie rozwijają się bardzo intensywnie. Procesowi temu sprzyja rozwój nowoczesnej technologii. Dotyczy to również pojazdów szynowych, którym poświęca się coraz więcej uwagi w publikacjach

naukowych, normach i przepisach z uwagi na potrzebę monitorowania poszczególnych modułów pojazdu a także wybranych elementów infrastruktury kolejowej [1,2,9,10].

Polska kolej jest już po procesie liberalizacji kolejowego rynku pasażerskiego, w którym nastąpił znaczący wzrost udziałów spółek spoza Grupy PKP, głównie przewoźników samorządowych z 1% do 48% (dane z 2013 roku). Istotnym czynnikiem tego procesu jest powstanie konkurencji na rynku w segmencie przewozów międzyregionalnych (dynamiczny rozwój sektora spółek samorządowych w przewozach pasażerskich). Ten czynnik powoduje dogodne warunki rozwoju nowych funkcjonalności i udogodnień, oferowanych przez przewoźników kolejowych.

Projektowany system w obecnym kształcie, dzięki swej funkcjonalności, porusza aspekt bezpieczeństwa pasażerów, możliwy do realizacji dzięki instalacji modułów: sygnalizacji pożarowej, detekcji kolizji i zagrożeń, przejazdów kolejowych, wideo monitoringu i integracji z Centrum Nadzoru wg schematu z rysunku 1. W pewnym stopniu projekt Systemu ZSIKRP ma wpływ na aspekt zmniejszania efektu wykluczenia cyfrowego poprzez zapewnienie dostępu do usług internetowych realizowanego przez moduł bezprzewodowego dostępu do Internetu i Intranetu w środkach transportu.



Rys. 1. Struktura systemu telemetrycznego Zintegrowanego Systemu Wspomagania Zarządzaniem Informacją o Kolejowym Ruchu Pasażerskim (ZSIKRP) [źródło: 4]

Podstawę rozważań stanowi tabela 1 zawierająca oceny przydatności sześciu wspomnianych powyżej, projektowanych modułów [3]. W ramach prac związanych z opracowywaniem założeń koncepcyjnych dla każdego modułu zespół ekspertów

przeanalizował trzy różne metody jego realizacji. Każda z metod została oceniona przez zespół projektowy, przy założonych trzech kryteriach oceny:

1. Ocena 1: Funkcjonalność/możliwość rozbudowy.
2. Ocena 2: Zgodność z normami.
3. Ocena 3: Koszty.

Do ocen zastosowano następujący rating: 1 – bardzo niski, 2 – niski 3 – średni, 4 – wysoki, 5 – bardzo wysoki. Należy zauważyć, że dla Oceny 3: Koszty, wysoki rating (wysoka ocena rozwiązania pod względem kosztów) oznacza niskie koszty.

Tak postawiony problem jest zadaniem maksymalizacji wektora funkcji celów o trzech składowych:

$$\text{Max} \leftarrow F(x) = (f_1(x), f_2(x), f_3(x)), \quad (1)$$

gdzie:

$f_1(x)$  – suma Ocen 1 wszystkich modułów w zależności od metody,

$f_2(x)$  – suma Ocen 2 wszystkich modułów w zależności od metody,

$f_3(x)$  – suma Ocen 3 wszystkich modułów w zależności od metody.

$x$  – przestrzeń możliwych rozwiązań dopuszczalnych.

Oceny zawierają się w przedziale  $1 \div 5$ , wobec czego dla 6 modułów przedział wartości sum to:  $6 \div 30$ .

**Przykład.** Niech wariantem nr 1 możliwego (dopuszczalnego) rozwiązania będzie wybór metody 1 realizacji każdego z budowanych modułów. Wobec tego na podstawie tabeli 1 można zbudować tabelę 2 opisującą to rozwiązanie dopuszczalne. Tak więc wariant 1 ma niską funkcjonalność (niska suma ocen 1), ale charakteryzuje się niskimi kosztami (wysoka suma ocen 3), co oznacza, że przyjęte kryteria są sprzeczne ze sobą. W tym przypadku nie istnieje jedno idealne rozwiązanie problemu, czyli jednoznaczne wskazanie najlepszych metod budowy modułów rozwiązania.

## 2. Problem wyboru konfiguracji system jako zadanie optymalizacji wielokryterialnej

Przyjęte zostaje, że rozwiązanie optymalne to wskazanie metod realizacji poszczególnych modułów wynikających z maksymalizacji ocen. Na podstawie tabeli 1 przyjęto:

$i$  – indeks modułu,  $i = 1, 2, \dots, 6$ ;

$j$  – indeks kryterium,  $j = 1, 2, 3$ ;

$k$  – indeks metody,  $k = 1, 2, 3$ ;

wtedy:

$x_{i,j,k}$  – opisuje wartość z tabeli 1, np.:  $x_{4,2,2} = 3$ .

Tabela 1

## Oceny projektowanych modułów

<b>Videomonitoring</b>			
Metoda	Ocena1	Ocena2	Ocena3
1	1	1	4
2	3	4	3
3	5	5	2
<b>Moduł zliczania potoków pasażerskich</b>			
Metoda	Ocena1	Ocena2	Ocena3
1	1	5	4
2	2	5	4
3	5	5	2
<b>Moduł informacji pasażerskiej i dynamicznego rozkładu jazdy</b>			
Metoda	Ocena1	Ocena2	Ocena3
1	1	2	4
2	3	3	3
3	5	4	1
<b>Moduł jednostki centralnej</b>			
Metoda	Ocena1	Ocena2	Ocena3
1	1	3	5
2	3	3	3
3	5	4	3
<b>Moduł Centrum Nadzoru</b>			
Metoda	Ocena1	Ocena2	Ocena3
1	3	5	5
2	4	4	4
3	5	4	5
<b>Moduł optymalizacji zużycia paliwa</b>			
Metoda	Ocena1	Ocena2	Ocena3
1	2	5	4
2	4	5	3
3	5	5	3

Tabela 2

## Przykładowe rozwiązanie dopuszczalne

Variant No	Module 1			Module 2			Module 3			Module 4			Module 5			Module 6								
	Method	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Method	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Method	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Method	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Method	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3				
1	1	1	1	4	1	1	5	4	1	1	2	4	1	1	3	5	1	3	5	5	1	2	5	4

Zbiór wszystkich  $x_{i,j,k}$  stanowi przestrzeń rozwiązań dopuszczalnych  $\Omega = \{x_{i,j,k} \in \mathbb{Z}^n: 1,2,3,4,5\}$  dla wszystkich  $i, j, k$ . Celem problemu jest wybór konfiguracji wynikającej z maksymalizacji ocen poszczególnych kryteriów, tj.:

$f_1(x)$  – kryterium 1 zdefiniowane jako suma ocen 1 wszystkich modułów, t.j.:

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^6 x_{i,1,k}; \quad i = 1, 2, \dots, 6; \quad k = 1, 2, 3;$$

$f_2(x)$  - kryterium 2 zdefiniowane jako suma ocen 2 wszystkich modułów, t.j.:

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^6 x_{i,2,k}; \quad i = 1, 2, \dots, 6; \quad k = 1, 2, 3;$$

$f_3(x)$  - kryterium 3 zdefiniowane jako suma ocen 3 wszystkich modułów, t.j.:

$$f_3(x) = \sum_{i=1}^6 x_{i,3,k}; \quad i = 1, 2, \dots, 6; \quad k = 1, 2, 3.$$

Dla przykładowej konfiguracji z tabeli 2 wartości poszczególnych kryteriów to:

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^6 x_{i,1,1} = 1 + 1 + 1 + 1 + 3 + 2 = 9;$$

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^6 x_{i,2,1} = 1 + 5 + 2 + 3 + 5 + 5 = 21;$$

$$f_3(x) = \sum_{i=1}^6 x_{i,3,1} = 4 + 4 + 4 + 5 + 5 + 4 = 25.$$

Tak więc wariant 1 charakteryzuje się niską funkcjonalnością ( $f_1(x) = 9$ ), ale też niskimi kosztami ( $f_3(x) = 25$ ). Liczba wszystkich możliwych konfiguracji systemu to:  $L = 3^6 = 729$ .

Celem wyboru “najlepszych” konfiguracji zaproponowano zastosowanie metody hybrydowej, łączącej własności metod ważonych sum oraz  $\varepsilon$ -ograniczeń [5,6,7]. Wektor celów (kryteriów) został podzielony na dwa zbiory: celów głównych  $F_p$  oraz drugorzędnych  $F_s$ :

$$F_p(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_{kp}(x)]^T,$$

$$F_s(x) = [f_{kp+1}(x), f_{kp+2}(x), \dots, f_k(x)]^T, \quad kp < k.$$

co prowadzi do problemu:

$$\min_{x \in \Omega} F'(x) = \sum_{i=1}^{kp} w_i f_i(x). \quad (8)$$

przy ograniczeniach:

$$f_i(x) \leq \varepsilon_i, \quad i = kp + 1, kp + 2, \dots, k.$$

Zaletą takiego sformułowania jest poszukiwanie rozwiązań, dla których cel drugorzędny jest spełniony przynajmniej na poziomie  $\varepsilon$ , natomiast pozostałe cele są spełnione w stopniu zależnym od wartości wag.

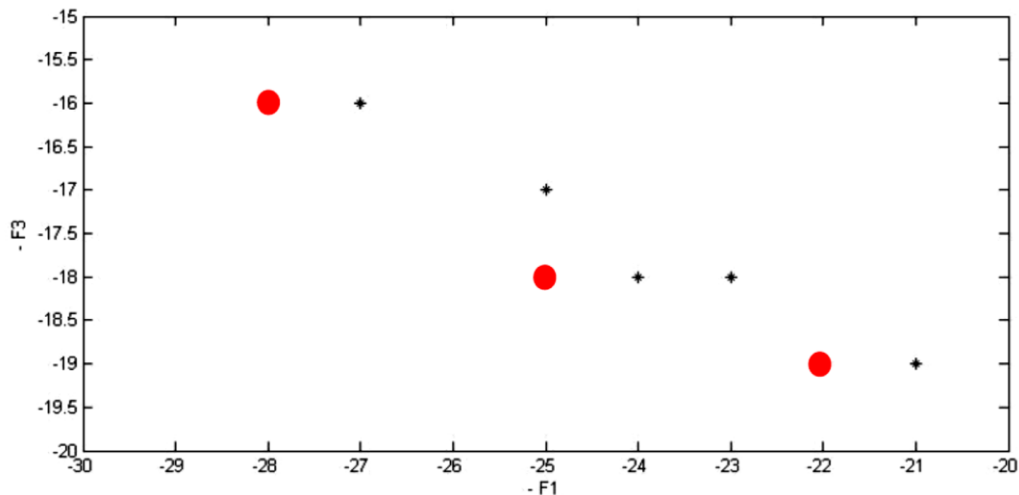
Dla rozważanego problem założone następujący podział zbioru celów (1):

$$F_p(x) = [f_1(x), f_3(x)]^T, \quad F_s(x) = f_2(x).$$

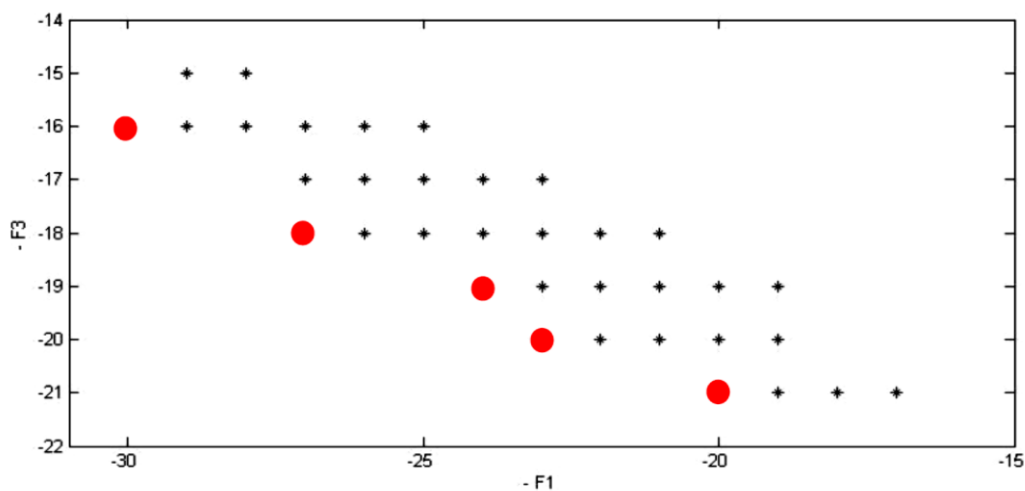
Tak więc problem może być wyrażony jako:

$$\min_{x \in \Omega} F'''(x) = (-w_1 f_1(x) - w_3 f_3(x)), \quad -f_2(x) \leq -\varepsilon. \quad (2)$$

Chociaż cel  $f_2(x)$  nazywany jest drugorzędny, w procesie selekcji konfiguracji gra rolę pierwszorzędną, poprzez zagwarantowanie jego spełnienia na pożądanym poziomie – tutaj: zgodność z normami. Niezależnie od dobranych wartości wag  $w_1, w_3$  rozwiązanie zapewnia spełnienie norm na pożądanym poziomie. Na rysunku 2 przedstawiono podprzestrzeń celów  $(-f_1(x), -f_3(x))$  wraz z rozwiązaniami Pareto dla  $\varepsilon = 28$ , natomiast na rysunku 3 dla  $\varepsilon = 27$ .



Rys. 2. Podprzestrzeń celów  $(-f_1(x), -f_3(x))$  wraz z rozwiązaniami Pareto dla  $\varepsilon = 28$



Rys. 3. Podprzestrzeń celów  $(-f_1(x), -f_3(x))$  wraz z rozwiązaniami Pareto dla  $\varepsilon = 27$

I tak, zakładając przykładowe wagi:  $w_1 = 1$ ,  $w_3 = 1$ , i.e. cele główne są równorzędne, optymalnym rozwiązaniem dla  $\varepsilon = 28$  jest wariant nr 723, z wartością funkcji docelowej  $F'''(723) = 44$ , natomiast dla  $\varepsilon = 27$  wariant nr 729, z wartością funkcji docelowej  $F'''(729) = 46$ . Wynikowe konfiguracje systemu wynikające z rozwiązań zaprezentowano w tabeli 3.

Tabela 3

## Przykładowe rozwiązania optymalne

Variant No	Module 1			Module 2			Module 3			Module 4			Module 5			Module 6								
	Method	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Method	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Method	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Method	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Method	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3				
723	3	5	5	2	3	5	5	2	3	5	4	1	3	5	4	3	1	3	5	5	3	5	5	3
729	3	5	5	2	3	5	5	2	3	5	4	1	3	5	4	3	3	5	4	5	3	5	5	3

### 3. Podsumowanie

W artykule przedstawiono problem projektowania konfiguracji systemu składającego się z sześciu modułów jako zadanie optymalizacji wielokryterialnej. Rozważono zaprojektowanie każdego z modułów na trzy różne sposoby, przy czym każdy ze sposobów został oceniony przez ekspertów z uwzględnieniem trzech kryteriów. Wykorzystując podstawowe metody optymalizacji wielokryterialnej, wskazano zbiory rozwiązań Pareto możliwych konfiguracji systemu i przykładowe rozwiązania optymalne przy założonych wartościach dodatkowych parametrów.

*Podziękowania.* Artykuł jest wynikiem współpracy firmy ENTE Sp. z o.o. i Politechniki Śląskiej, które wspólnie prowadziły projekt celowy nr UOD-DEM-1-243/001, pt. „Zintegrowany System Wspomagający Zarządzanie Informacją o Kolejowym Ruchu Pasażerskim”. Praca częściowo finansowana z funduszu BK213/RAu1/2016/1.

### LITERATURA

1. Mlynczak J.: Analysis of intelligent transport systems (ITS) in public transport of upper Silesia. Springer Berlin Heidelberg. Modern Transport Telematics, 2011, p. 164-171.
2. Summary of the state of rail safety. Report for the third quarter of 2013. Railway Transport Office, Warsaw, November 2013.
3. Hejczyk T, Wszolek B, Galuszka A, Mlynczak J, Burdzik R.: Application of safety and communication modules as an integrated intelligent system in rail vehicles. Vibroengineering Procedia, 2014, Vol.4, p. 105-110.

4. Hejczyk T., Wszolek B., Gałuszka A.: Zintegrowany System Wspomagający Zarządzanie Informacją o Kolejowym Ruchu Pasażerskim (ZSIKRP). *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 60, nr 11/2014, p. 1033-1036.
5. Emmerich M. *Matlab help optimization toolbox, Multiobjective Optimization*, 2005.
6. Gałuszka A., Swierniak A., Hejczyk T., Wszolek B., Mlynczak J.: Design of rail passengers safety and comfort system as three-objective discrete static optimization problem. Carlos Enrique Palau Salvador (Ed.): *ISC'2015, 13th Annual Industrial Simulation Conference*, Valencia, Spain, ISBN 978-90-77381-89-2, June 1-3, 2015, p. 89-94.
7. Gałuszka A., Swierniak A., Hejczyk T., Mlynczak J.: Hybrid Optimization Method for Design of Rail Passengers Safety and Comfort System. *Procedia Technology*, ISSN: 2212-0173 (w druku), 2015.
8. Zhengqun Hu, Junxia Cui, Zhang J, Zhang L, Chang L. Railway Safety Monitoring System Based on CAPS. *Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, 2013, Fifth International Conference. ISBN: 978-1-4673-5652-7.
9. Krystek R. (Ed.). *Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu (in polish)*. Tomy I-III, WKiŁ Gdańsk 2009-2010.
10. Wilson JR, Mills A, Clarke T, Rajan J, Dadashi N. (Eds): *Rail Human Factors Around the World: Impacts on and of People for Successful Rail Operations*. CRC Press, Croydon 2012.