

mgr inż. Eryk Szwarc

Wydział Elektroniki i Informatyki, Politechnika Koszalińska

prof. dr hab. inż. Marian Kopczewski

Wydział Nauk o Bezpieczeństwie, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych
im. gen. T. Kościuszki

Informatyczne wsparcie bezpieczeństwa w transporcie materiałów niebezpiecznych

Streszczenie

Przewóz materiałów niebezpiecznych jest dziedziną bardzo ważną ze względu na ryzyko wypadku, a tym samym zagrożenia dla ludzi i środowiska. W aspekcie zabezpieczenia ładunku tego typu, poruszane są zagadnienia, począwszy od aktów prawnych obowiązujących podczas tych specyficznych przewozów, po kontrolę, opakowanie, oznakowanie, zasady bezpieczeństwa, jak i postępowanie w przypadku wystąpienia awarii. Nieliczne publikacje przedstawiają rozwiązania z dziedziny teleinformatyki, które mogą służyć znacznej poprawie bezpieczeństwa w transporcie materiałów niebezpiecznych. W artykule przybliżono technologię systemów monitorujących stan ładunków i pojazdów samochodowych, która nie tylko pozwala określać i zagwarantować dostarczenie ładunku w określonym czasie, ale przede wszystkim zapobiega wystąpieniu awarii pojazdu lub uszkodzeniu wrażliwego ładunku. Ponadto porównano wybrane systemy monitoringu i nawigacji pojazdów transportowych dostępne na polskim rynku. Spośród wybranego zbioru komercyjnie dostępnych rozwiązań dokonano wielokryterialnego wyboru systemu, zapewniającego najwyższy poziom bezpieczeństwa w trakcie transportu materiałów niebezpiecznych. W tym celu wykorzystano metodę AHP.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, materiały niebezpieczne, transport, monitoring pojazdów, AHP

Information Security Support in Transport of Hazardous Materials

Abstract

Transport of hazardous materials is very important because of the risk of an accident and therefore the danger to humans and the environment. The control, packaging, labeling, safety rules and procedures in case of failure are discussed in the literature. Few publications focus on solutions in the field of ICT, which can serve significantly improved safety in the transport of hazardous materials. The article brought closer the technology systems monitoring the condition of materials and vehicles. The selected Polish software for monitoring and navigation of transport vehicles is compared. To ensure the highest level of safety during the transport of hazardous materials multiple-choice of the selected commercially available solutions is proposed. For this an AHP method is used.

Keywords: safety, hazardous materials, transport, vehicles monitoring, AHP method

1. WSTĘP

Nie podlega wątpliwości, że zagadnienie transportu materiałów niebezpiecznych jest wciąż aktualne i wymaga ciągłej uwagi. Świadczyć może o tym szacowana liczba 6 mln ton przewożonych materiałów niebezpiecznych w Polsce, głównie paliwa płynnego, gazowego w postaci ciekłej, chloru, amoniaku oraz wielu innych o charakterze toksycznym lub wybuchowym [6]. Stanowi to około 15% wszystkich krajowych przewozów. Omawiane towary transportowane w specjalnie do tego celu przystosowanych pojazdach. Nietrudno jest je rozpoznać, ponieważ są oznaczone charakterystycznymi tablicami i naklejkami ostrzegającymi oraz informującymi, o jakich właściwościach niebezpiecznych materiał jest przewożony [5]. Przewożony ładunek zagraża życiu i zdrowiu ludzi oraz środowisku naturalnemu. Zagrożenie to wynika z jego właściwości fizycznych, chemicznych oraz biologicznych. Lekceważenie zasad bezpieczeństwa podczas przewozu i kontaktu z materiałami niebezpiecznymi może spowodować wypadki takie jak wybuchy, pożary, skażenia środowiska naturalnego. W celu uniknięcia bądź zminimalizo-

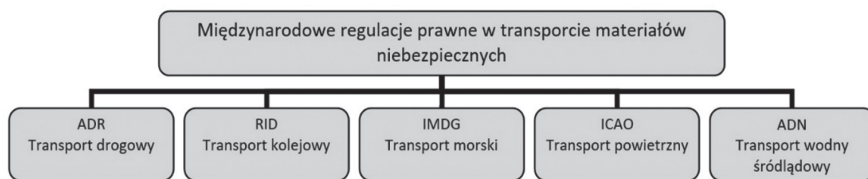
wania możliwości wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych, transport materiałów niebezpiecznych szczegółowo regulowany jest przepisami krajowego i międzynarodowego prawa. W Polsce obowiązują akty prawne, takie jak:

- Prawo przewozowe,
- Prawo o ruchu drogowym,
- Rozporządzenie ministrów komunikacji i spraw wewnętrznych,
- Ustawa o dozorcze technicznym,
- Ustawa o przewozie towarów niebezpiecznych,
- Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej,

które w szczególności opisano w literaturze przedmiotu [4, 9, 14]. Natomiast przepisy obejmujące międzynarodowy transport ładunków niebezpiecznych podzielone są według typu: drogowy, kolejowy, morski, powietrzny, wodny śródlądowy, i obejmują transport:

- drogowy objęty Europejską Umową dotyczącą Międzynarodowego Transportu Drogowego Towarów Niebezpiecznych (ADR) – określa stosunki prawne między uczestniczącymi państwami, natomiast załączniki zawierają przepisy regulujące w szerokim zakresie warunki przewozu poszczególnych materiałów niebezpiecznych w międzynarodowym transporcie samochodowym [2, 3, 7],
- kolejowy objęty Regulaminem o Międzynarodowym Transporcie Kolejami Towarów Niebezpiecznych (RID), stanowiący Dodatek „C” do Konwencji o Międzynarodowych Przewozach Kolejami (COTIF) [5],
- morski regulowany przez Międzynarodowy Kodeks Ładunków Niebezpiecznych (IMDG) i jest realizacją przepisów części A rozdziału VII Międzynarodowej Konwencji o Bezpieczeństwie Życia na Morzu (SOLAS) [5],
- powietrzny regulowany przez instrukcję techniczną opracowaną przez Organizację Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO) [5],
- wodny śródlądowy objęty Europejskim Porozumieniem w Sprawie Międzynarodowych Przewozów Materiałów Niebezpiecznych Śródlądowymi Drogami Wodnymi (ADN) [5].

Unormowania prawne zawarte we wszelkich dokumentach obejmują cały proces przewozu od nadawcy do odbiorcy i ich celem jest wykluczenie bądź zawężenie ryzyka związanego z przewozem materiałów niebezpiecznych. Celem artykułu nie jest jednak przybliżanie szczegółów powyższych aktów prawnych, które szczegółowo omawiają prace [3, 7, 15]. Przyjmuje się, że są one respektowane i stosowane przez osoby odpowiedzialne za transport.



Rys. 1. Schemat uregulowań prawnych z zakresu transportu ładunków niebezpiecznych

Źródło: Opracowanie na podstawie [1]

Należy jednak mieć na uwadze, że same przepisy nie są w stanie zagwarantować bezpieczeństwa w zdarzeniu losowym takim jak usterka techniczna środka transportu, zaśnięcie kierowcy lub atak terrorystyczny skierowany na pojazdy transportujące materiały tego typu, itp. W związku z tym, do podniesienia poziomu bezpieczeństwa służą różnego rodzaju rozwiązania telemetryczne z dziedziny telekomunikacji i informatyki. Celem artykułu jest ich przedstawienie oraz porównanie wybranych systemów monitorowania i lokalizacji pojazdów/ładunków. Postarano się odpowiedzieć na pytanie: czy ich funkcjonalność wspiera bezpieczeństwo w transporcie materiałów niebezpiecznych? W dalszych rozważaniach skoncentrowano się na rozwiązaniach dotyczących transportu drogowego.

Struktura pracy obejmuje trzy ważne zagadnienia. W pierwszym omówiono stosowaną obecnie technologię pozwalającą na lokalizację i monitorowanie pojazdu oraz stanu technicznego transportowanych ładunków. W kolejnej części artykułu przybliżono wybrane komercyjne rozwiązania służące do śledzenia pojazdu, by w części trzeciej zaprezentować wykorzystanie wielokryterialnej metody podejmowania decyzji AHP (Analytic Hierarchy Process) [11, 12] do utworzenia rankingu systemów monitorowania pojazdu w transporcie drogowym. Wnioski, czyli wskazanie dalszych kierunków prac, zawarto w ostatnim rozdziale.

2. MONITOROWANIE POJAZDU I ŁADUNKU

W dzisiejszych czasach nikogo już nie dziwi wykorzystanie satelitarnego systemu śledzenia pojazdów, bazującego na połączeniu technologii GPS (Global Positioning System), czyli systemu lokalizacji wykorzystującego 31 satelitów krążących po średniej orbicie okołoziemskiej oraz technologii

GSM (Global System for Mobile Communication), czyli systemu telefonii komórkowej (rys. 2).



Rys. 2. Schemat działania satelitarnego śledzenia pojazdu

Źródło: [13]

Obecnie, poza oczywistą funkcjonalnością lokalizowania danego pojazdu, możliwe ponadto jest:

- pozyskiwanie danych eksploatacyjnych pojazdu, a zarazem sprawniejsze zarządzanie flotą transportową w firmach przewozowych, co ma bezpośredni wpływ na zmniejszenie kosztów przewozowych,
- monitorowanie czasu pracy kierowców, a tym samym zapobieganie ich przemęczeniu,
- pozyskiwanie danych meteorologicznych panujących na trasie poruszania się pojazdu,
- definiowanie tras przejazdu i maksymalnego od niej odchylenia ze względów bezpieczeństwa tj. natężenia ruchu, warunków atmosferycznych oraz stanu nawierzchni.

Powyższe możliwości częściowo mają wpływ na bezpieczeństwo transportowanego ładunku. Jednak istnieją również inne potrzeby w zakresie zmniejszania zagrożeń, takie jak:

- zdalne unieruchomienie pojazdu, np. w przypadku kradzieży,
- utrzymywanie stałej łączności pojazd – baza, w tym przesyłanie wiadomości,
- w przypadku awarii lub katastrofy automatyczne powiadomienie służb ratowniczych oraz centrum zarządzania kryzysowego,
- monitorowanie ładunku, jego stanu fizycznego i chemicznego, co wpływa w zasadniczy sposób na bezpieczeństwo osób zaangażowanych w transport jak i postronnych oraz pojazdu transportującego ładunek i innych pojazdów poruszających się po drodze,

Z punktu widzenia bezpieczeństwa zagrożeń związanych z transportem materiałów niebezpiecznych, oprócz nadzorowania poruszającego się pojazdu, najważniejszym zadaniem jest wykorzystanie rozwiązań pozwalających na kontrolowanie stanu technicznego przewożonego ładunku [2], np.:

- użycie czujnika obecności kontenera pozwala stwierdzić jego fizyczną obecność na pojeździe. Fale odbijające się od powierzchni kontenera potwierdzają jego obecność. Czujnik pełni funkcję kontrolną i aktywującą w stosunku do czytnika RFID (Radio Frequency-Identyfication, czyli technika, która wykorzystuje fale radiowe do przesyłania danych oraz zasilania elektronicznego układu (etykieta RFID) stanowiącego etykietę obiektu przez czytnik, w celu identyfikacji obiektu). Stwierdzenie obecności kontenera uaktywnia czytnik transponderowy RFID umieszczony z tyłu kabiny pojazdu. W zależności od sposobu ładowania, każdy kontener zostaje wyposażony w jeden lub dwa transpondery RFID. Czytnik identyfikuje unikalny kod przypisany każdemu z nich. Zebrane informacje o obecności (z czujnika obecności) oraz unikalnym kodzie (czytnik transponderów) kontenera przekazywane są do sterownika pojazdu, skąd wraz z informacją o pozycji geograficznej pojazdu trafiają do dyspozytora,
- czujnik stabilności ładunku (może być ich zamontowanych kilka) pozwala na stwierdzenie czy ładunek znajduje się w takim położeniu, w jakim został ułożony podczas załadunku. Podobnie jak w czujniku obecności kontenera, fale odbijające się od powierzchni opakowania potwierdzają jego obecność oraz dodatkowo kontrolują odległość od krawędzi skrzyni ładunkowej lub ścian kontenera. Dalsze działanie czujnika wygląda identycznie jak powyżej,
- zastosowanie czytnika autoryzacji pomaga sprawdzić, czy pojazd jest użytkowany przez uprawnione osoby. Autoryzacja może być stosowana na wielu poziomach: przed i po wejściu do pojazdu, przed dostępem do prze-

strzeni ładunkowej oraz przed uruchomieniem silnika. Sterownik GPS wyposażony jest w odpowiednie wejścia, do których można podłączyć różnego rodzaju czytniki. Za ich pomocą realizowana jest autoryzacja. Powszechnie stosuje się czytniki dotykowe „Dallas” oraz transponderowe czytniki zbliżeniowe oparte na technologii RFID,

- czujnik wypadku wysyła do systemu GPS/GSM sygnał alarmowy o wypadku, podając współrzędne pojazdu. Przez wypadek należy rozumieć zderzenie lub przewrócenie się pojazdu. Natychmiast po jednym z wymienionych zdarzeń przesyłany jest sygnał alarmowy do CEM (Central Electronic Module – centralny moduł elektroniczny, zamontowany w pojeździe), który wysyła komunikat do dyspozytora i na numer alarmowy 112,
- czujnik otwarcia korka wlewu paliwa służy do kontroli otwarcia wlewu zbiornika (można go też instalować w cysternach na zaworach wlewu i spustu). Działa on na zasadzie kontroli położenia transpondera. Jeżeli w polu odczytu anteny czytnika znajduje się transponder o unikalnym, znanym czytnikowi numerze, czytnik przesyła tę informację poprzez koncentrator do sterownika – sterownik nie reaguje, w przypadku, gdy transponder zostanie usunięty z pola odczytu, informacja o tym zdarzeniu zostanie przesłana do sterownika, który odnotowuje to zdarzenie. Zebrane informacje o bieżącej pozycji geograficznej pojazdu, przebytej trasie, kierunku i prędkości poruszania się oraz stanie czujnika otwarcia wlewu paliwa przesyłane są do komputerów dyspozytora.

Stosowanie powyższych rozwiązań zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia katastrofy przy transporcie materiałów niebezpiecznych. Na rynku istnieją komercyjne produkty informatyczne oferujące satelitarne systemy monitorowania floty transportowej, np. SMOK GPS, Automonitoring, Satis GPS, Globtrak, Navira [16, 18, 25, 26, 27]. Należy zatem postawić pytanie: czy ich funkcjonalność wspiera bezpieczeństwo w transporcie materiałów niebezpiecznych? W kolejnym rozdziale porównano kilka systemów monitorowania pojazdów oraz podjęto próbę odpowiedzi na powyższe pytanie.

3. PORÓWNANIE WYBRANYCH SYSTEMÓW MONITOROWANIA I LOKALIZACJI POJAZDÓW

Przez ostatnie lata rynek systemów szeroko rozumianego lokalizowania pojazdów uległ znacznemu rozrostowi. Świadczyć o tym może liczba rezultatów po

wpisaniu w wyszukiwarkę Google hasła „system monitorowania pojazdów”. Do dalszych rozważań przyjęto kilka systemów, które są najwyżej pozycjonowane w wyszukiwarce. Natomiast pozyskane informacje o poszczególnych rozwiązaniach pochodzą ze stron internetowych producentów.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że dostawcy systemów oferują szereg rozmaitych funkcji, takich jak:

- śledzenie pojazdu w czasie rzeczywistym oraz wizualizację na mapie,
- rejestracja poziomu paliwa w zestawieniu z przebyta trasą,
- monitorowanie dynamiki jazdy kierowcy w celu obniżenia kosztów eksploatacyjnych pojazdu,
- wyznaczania tras pojazdów,
- kontrola efektywności pracy pracowników,
- weryfikacja właściwego użytkownika pojazdu oraz zbiorników paliwa w pojeździe (w tym kradzież paliwa),
- monitoring parametrów technicznych pojazdu, urządzeń dodatkowych oraz stanu przewożonego ładunku,
- przeciwdziałanie napadom na kierowcę przebywającego w kabinie,
- komunikacja dyspozytora z pojazdem.

Dostępne systemy śledzenia pojazdów wspierają przewoźników głównie w celach ekonomicznych (kradzież paliwa, optymalizacja przejazdów). Jednak, aby określić przydatność tychże systemów do zwiększenia bezpieczeństwa transportowanego materiału niebezpiecznego postanowiono sprawdzić czy dany system posiada następujące funkcje (dalej nazywane kryteriami):

- określanie aktualnej lokalizacji pojazdu,
- kontrola wydajności – ekonomii jazdy,
- zwiększania wydajności pracy kierowców poprzez weryfikację wykonywanych zadań,
- zabezpieczenie korka wlewu paliwa,
- ochrona antynapadowa,
- monitorowanie otwarcia naczepy,
- możliwość identyfikacji naczepy,
- możliwość pomiaru temperatury w ładowni,
- wykorzystanie systemu eCall – czyli szybkiego powiadamiania o wypadkach.

W efekcie uzyskano zbiorcze zestawienie przedstawione w poniższej tabeli (x – oznacza spełnienie danego kryterium w systemie).

Tabela 1. Zestawienie funkcji w systemach monitoringu pojazdów

Kryteria Alternatywy	Aktualna lokalizacja pojazdu (k1)	Kontrola wydajności – ekonomia jazdy (k2)	Zwiększenie wydajności kierowców (weryfikacja zadań kierowców) (k3)	Zabezpieczenie korka (k4)	Antynapad (k5)	Otwarcie przestrzeni ładunkowej (k6)	Identyfikacja naczepy (k7)	Pomiar temperatury w ładowni (k8)	eCall (k9)
SMOK GPS	x	x	x						
GPS ATRAX (Tronik)	x	x	x	x					
Transmobil-GPS	x	x	x		x	x	x	x	
Navifleet	x	x	x					x	
Automonitoring (CMA)	x	x	x			x	x		
SatisGPS	x	x	x						x
MultiGPS	x	x	x					x	
iCar (Solid Security)	x	x	x	x		x			
GPS Guardian	x	x	x		x	x		x	
Data System	x	x	x					x	
Tekom	x	x	x			x		x	
Globtrak	x	x	x	x	x				
GPS Mitel	x	x	x		x	x			
Navira	x	x	x	x	x			x	
Truckonline	x	x	x				x	x	

Źródło: Opracowano na podstawie [16–30] – danych ze stron internetowych producentów

Należy pamiętać, że niekiedy różni producenci w odmienny sposób nazywają podobne funkcje. Poza tym informacje bywają nieprecyzyjne, np. „ochrona ładunku”, „ochrona kierowcy”. Dodatkowo producenci zastrzegają, że posiadają również inne dodatkowe rozwiązania, o których nie piszą wprost, nakłaniając do kontaktu w celu omówienia szczegółów. W związku z powyższym, trudno jest porównać wybrane oferty. Mimo tego, wyraźnie widać, że żaden spośród przedstawionych systemów nie spełnia wszystkich kryteriów, a kilka z nich spełnia jednakową ilość kryteriów, np. systemy wymienione poniżej posiadają po 5 funkcji, w różnych konfiguracjach:

- Automonitoring (k1, k2, k3, k6, k7);
- iCar (k1, k2, k3, k4, k6);
- Tekom (k1, k2, k3, k6, k8);
- Globtrak (k1, k2, k3, k4, k5);
- GPS Mitel (k1, k2, k3, k5, k6);
- Trucnonline (k1, k2, k3, k7, k8).

Ponadto należy wziąć pod uwagę różną wagę kryteriów, tzn. przy transporcie materiałów niebezpiecznych zabezpieczenie korka może być mniej istotne od funkcji antynapadowej, zastosowanie funkcji eCall może być ważniejsze od pomiaru temperatury w ładowni, itd. W związku z powyższym, który z wybranych systemów jest najbliższy wykorzystaniu w przewozie materiałów niebezpiecznych? Z uwagi na wielokryterialny charakter podejmowanej decyzji, oraz różne wagi ocenianych funkcji systemu, do odpowiedzi na powyższe pytanie wykorzystano popularną metodę AHP.

4. ANALIZA AHP

Z tabeli 1 wynika, że kryteria k1, k2 i k3 zostały spełnione dla wszystkich systemów (alternatyw), zatem zostały one pominięte w dalszych rozważaniach, gdyż nie mają wpływu na wynik. Dla pozostałych kryteriów (k4-k9) dokonano porównania parami, każdej z każdą, nadając im wagi preferencji według skali liczbowej Saaty'ego (od 1 do 9, gdzie 1 oznacza równe preferencje; 3 słabą preferencję jednego kryterium; 5 silną preferencję jednego kryterium; 7 bardzo silną preferencję jednego kryterium; 9 bezwzględną preferencję jednego kryterium; natomiast 2, 4, 6, 8 oznaczają międzywartości). Wagi nadawane są przez ekspertów. Efektem powyższego działania jest macierz porównania parami kryteriów (tabela 2).

Tabela 2. Macierz porównania parami kryteriów

K	k4	k5	k6	k7	k8	k9
k4	1	0,33	0,25	0,25	0,25	0,25
k5	3	1	5	4	3	2
k6	4	0,2	1	2	4	2
k7	4	0,25	0,5	1	3	2
k8	4	0,33	0,25	0,33	1	0,25
k9	4	0,5	0,5	0,5	4	1

Źródło: Opracowanie własne

Dla przykładu, kryterium k5 jest preferowane względem k4 przyjmując wartość 3 (pozycja $K_{2,1}$), kryterium k6 jest preferowane względem k8 przyjmując wartość 4 (pozycja $K_{3,5}$) itd.

Następnie, porównano parami alternatywy względem każdego kryterium. Przykładowo, macierz dla kryterium k4 przedstawiono w tabeli 3. Podobnie jak w macierzy z tabeli 2, preferencje nadano według skali Saaty'ego. Z uwagi na binarny charakter zestawienia tabeli 1, przyjęto, że alternatywa spełniająca dane kryterium, względem alternatywy nie posiadającej owego kryterium, posiada preferencję bezwzględną (wartość 9). Dla przykładu, kryterium k4 spełnione jest dla czterech systemów (alternatywy a2, a8, a12, a14), które względem systemów niespełniających danego kryterium posiadają bezwzględną preferencję, np. pozycje $A_{2,1}$, $A_{8,3}$, $A_{12,6}$, itd. Natomiast para alternatyw spełniających kryterium jest preferowana równorzędnie (wartość 1), np. pozycje $A_{2,8}$, $A_{8,12}$, $A_{14,8}$ itd.

Tabela 3. Macierz porównania parami alternatyw względem kryterium k4

A	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15
a1	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,11	1,00
a2	9,00	1,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	1,00	9,00
a3	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,11	1,00
a4	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,11	1,00
a5	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,11	1,00
a6	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,11	1,00
a7	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,11	1,00
a8	9,00	1,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	1,00	9,00
a9	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,11	1,00
a10	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,11	1,00
a11	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,11	1,00
a12	9,00	1,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	1,00	9,00
a13	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,11	1,00
a14	9,00	1,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	1,00	9,00
a15	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,11	1,00

Źródło: Opracowanie własne

W analogiczny sposób otrzymano 6 macierzy (dla każdego kryterium). Ze względu na swoje rozmiary nie zostały one przedstawione w pracy.

Kolejnym krokiem było znormalizowanie powyższych macierzy, a następnie wyznaczenie tzw. wag alternatyw wykorzystując macierz 15×6 (15 alternatyw, 6 kryteriów). Ostatecznie otrzymano kolumnowy wektor wag alternatyw (tabela 4), gdzie a_i oznacza wynik uzyskany dla danej alternatywy. Im wartość wyższa, tym lepszy stopień spełnienia preferencji.

W omawianym przykładzie okazało się, że alternatywa a3 (system Transmobil-GPS) uzyskała wynik najwyższy. Podsumowując, spośród przedstawionych komercyjnych rozwiązań do monitorowania pojazdów, wykorzystanie tego systemu zapewnia najwyższe bezpieczeństwo w transporcie materiałów niebezpiecznych.

Tabela 4. Wektor wag alternatyw

Alternatywa	Końcowy wynik
a1	0,02
a2	0,04
a3	0,14
a4	0,03
a5	0,08
a6	0,07
a7	0,03
a8	0,06
a9	0,11
a10	0,03
a11	0,06
a12	0,08
a13	0,1
a14	0,09
a15	0,06

Źródło: Opracowanie własne

5. WNIOSKI

Bezpieczeństwo podczas transportu materiałów niebezpiecznych zapewniają nie tylko respektowane akty prawne, ale również kontrola w czasie rzeczywistym środka transportowego. W tym celu wykorzystuje się rozwiązania teleinformatyczne służące do śledzenia pojazdów (systemy GPS). Porównano wybrane systemy monitoringu i nawigacji pojazdów transportowych dostępne na polskim rynku. Spośród wybranego zbioru komercyjnie dostępnych rozwiązań dokonano wielokryterialnego wyboru systemu, zapewniającego najwyższy poziom bezpieczeństwa w trakcie transportu materiałów niebezpiecznych. W tym celu wykorzystano metodę AHP. Zaproponowane podejście pozwala na podjęcie decyzji związanej z wyborem aktualnie dostępnych systemów monitorowania ładunku i pojazdów transportowych. Ponadto z przeprowadzonego przeglądu wynika, że żaden z przedstawionych systemów

nie jest stricte dedykowany dla transportu materiałów niebezpiecznych. Warto zatem wypracować narzędzie przeznaczone dla tego specyficznego rodzaju transportu.

LITERATURA

- [1] Bursztyński A., Drewek W., Zieliński M., Uwarunkowania i możliwości strategicznego transportu wojsk i techniki wojskowej, Sowa, Gdynia 2010, s. 217–218.
- [2] Drewek W., Monitorowanie ładunków niebezpiecznych w transporcie drogowym, *Logistyka* 2011, nr 5, s. 513–522.
- [3] Drewek W., Uwarunkowania prawne bezpieczeństwa transportu materiałów niebezpiecznych, „*Logistyka*”, 5/2012, s. 353–362.
- [4] Grzegorzczak K., Hancyk B., Buchcar R., Towary niebezpieczne w transporcie drogowym. AdeR, Błonie 2011.
- [5] Kopczewski M., Tobolski M., Pasek D., Bezpieczeństwo w transporcie materiałów niebezpiecznych, *Logistyka* 2013, nr 6, s. 304–314.
- [6] Korczak A., Kulińska E., Norek N., Organizacja usług transportowych materiałów niebezpiecznych – wyniki badań, *Logistyka* 2015, nr 6, s. 691–697.
- [7] Kotowski W., Warunki przewozu towarów niebezpiecznych – materiały szkoleniowe, *Prokuratura i Prawo* 2015, nr 3.
- [8] Krśák, E., Herkt, P., Technical Infrastructure for Monitoring the Transportation of Oversized and Dangerous Goods. Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems. 2012.
- [9] Młynczak M., Analiza ryzyka w transporcie i przemyśle, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
- [10] Nowacki G., Krysiuk C., Kopczewski R., Dangerous Goods Transport Problems in the European Union and Poland, “The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation”, Vol. 10, No 1, 2016.
- [11] Saaty T., Fundamentals of Decision Making and Priority Theory. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications, 2001.
- [12] Saaty T., Response to Holder’s Comments on the Analytic Hierarchy Process, *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 42, No. 10, 1991, pp. 909–914.

- [13] Specht C., System GPS, Wydawnictwo Bernardinum, 2007.
- [14] Urban J., Szylar K., Bezpieczeństwo przy transporcie materiałów niebezpiecznych, *Translogistics* 2014, s. 53–66.
- [15] Wołczański T., Rut J., Bezpieczeństwo w transporcie drogowym materiałów niebezpiecznych, *Logistyka* 2014 nr 4, s. 1456–1463.
- [16] www.cma.com.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [17] www.datasystem.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [18] www.globtrak.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [19] www.gpsguardian.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [20] www.gps.mitel.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [21] www.gpssolid.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [22] www.gps.transmobil.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [23] www.multigps.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [24] www.navifleet.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [25] www.navira.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [26] www.satisgps.com (dostęp: 1.09.2016).
- [27] www.smokgps.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [28] www.tekom.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [29] www.tronik.pl (dostęp: 1.09.2016).
- [30] www.truckonline.pl (dostęp: 1.09.2016).