

## EVALUATION CRITERIA FOR TECHNICAL AND TELEINFORMATIC SOLUTIONS IN ITS SERVICES

## KRYTERIA OCENY ROZWIĄZAŃ TECHNICZNYCH I TELEINFORMATYCZNYCH USŁUG ITS

Adam Rosiński

Warsaw University of Technology. Faculty of Transport  
Politechnika Warszawska. Wydział Transportu

**Abstract:** *Transport telematics systems integrate IT with telecommunications in applications for different transport systems. Through their implementation, the use of transport infrastructure and means of transport increases, while increasing the level of safety of vehicles and facilities performing transport tasks. The implementation of modern Intelligent Transport Systems in road transport necessitates their evaluation (including reliability and operation) and the rational selection for planned criteria. The article presents the author's work on criteria and sub-criteria that will be used to evaluate technical and teleinformatic solutions for ITS services.*

**Keywords:** *ITS, reliability, exploitation process*

**Streszczenie:** *Systemy telematyki transportu integrują informatykę z telekomunikacją w zastosowaniach dla potrzeb różnych systemów transportowych. Poprzez ich wdrażanie wzrasta efektywność wykorzystania infrastruktury transportowej i środków transportu, a jednocześnie też zwiększa się poziom bezpieczeństwa pojazdów i obiektów realizujących zadania transportowe. Wdrażanie nowoczesnych rozwiązań Inteligentnych Systemów Transportowych w transporcie drogowym wymusza konieczność ich oceny (w tym także niezawodnościowo-eksploatacyjnej) i wybór racjonalnego przy założonych kryteriach. W artykule zaprezentowano autorskie opracowanie dotyczące kryteriów i subkryteriów, które zostaną wykorzystane do oceny rozwiązań technicznych i teleinformatycznych usług ITS.*

**Słowa kluczowe:** *ITS, niezawodność, proces eksploatacji*

## **1. Introduction**

Transport telematics systems integrate information technology with telecommunications in applications for the needs of various transport systems. Through their implementation, the efficiency of using the transport infrastructure [8,11] and the means of transport increases, and at the same time, the level of safety of travellers [10], vehicles and facilities implementing transport tasks [22, 25] improves. The use of specialised IT applications that make use of data obtained from the transport telematics systems allowed to create Intelligent Transport Systems (ITS). They are currently the most complex systems, the effectiveness of which depends on the amount of information received from measuring devices and algorithms used in computer programmes.

The ITS solutions have a positive effect on travelling conditions in private and public road transport means. The use of Intelligent Transport Systems is a more economical method for improving traffic conditions than the transport infrastructure expansion in its current form.

Both transport telematics systems and Intelligent Transport Systems function in varied operating conditions. Observations of their operating process in the road transport environment confirm the dependency of their correct operation on the reliability of their components, and the efficient management of their operation process [5, 17]. Therefore, a detailed analysis of operating phenomena should take into account not only the system reliability but also the efficiency of the operational management process [20]. Therefore, it is so important to improve, in the scientific studies, the representation of phenomena occurring in reality (also including electromagnetic interference [6, 16, 18]) in the research model of the intelligent transport system. Such an approach will make it possible to determine the relevant reliability and operating indicators, which will allow for assessment of the implemented ITS solutions.

Intelligent Transport Systems constitute a component of transport systems. Their proper functioning has a very significant impact on road safety. The state of unfitness of electronic devices, as well as errors in action of operators and IT applications may lead to the occurrence of states of impendency over safety [15, 23]. The theory of reliability deals with the analysis of the impact of damage on the specific reliability indicators [2]. The area of interest of the theory of safety constitutes the consequences of damage and errors, which may lead to the occurrence of states of impendency over safety (particularly important from the point of view of a transport process). Therefore, a very important issue is to correctly determine which of the states of the system can be deemed permissible or unacceptable from the perspective of safety (including partial usability states).

The increase in the level of road traffic safety can be obtained, among others, by the implementation of modern Intelligent Transport Systems. The applied systems should have specific values of indicators, which will allow to compare them between each other and choose a reasonable solution. The reliability and operation can be considered as one of the more important criteria.

The ITS reliability is affected by the reliability of components and the applied redundant structures. The first solution prevents damage, although the second one leads to the system expansion, but it allows for tolerating the occurring damage (states of partial usability). Redundancy may apply to the device components, system's modules, as well as, e.g., computers controlling the transport processes. When analysing the ITS solutions, the quality of information [26] that is obtained by systems from sensors [14] is also crucial. In some scientific studies, the authors suggest the use of fuzzy logic or artificial neural networks. The functioning of Intelligent Transport Systems is also significantly affected by oscillations [4]. It is also relevant to correctly supply the devices used in Intelligent Transport Systems [3, 12]. The implementation of modern ITS solutions in the road transport forces the necessity of their assessment (including reliability and operation) and rational selection with the assumed criteria. Therefore, it is necessary to develop indicators related to technical and ICT solutions of ITS services, which allowed to assess the impact of the designed ITS solutions on RTS (Road Traffic Safety). Such an approach was presented in this article.

## **2. Intelligent transport systems**

One of the more important elements of Intelligent Transport Systems is the information transmitted via various types of transmission media [1, 21]. The use of telecommunications and IT devices results in the situation that the ITS solutions are, in fact, ICT systems. They are susceptible to various types of risks, also including those related to the impact of electromagnetic interference.

The implementation of Intelligent Transport Systems has a beneficial impact on [20]:

- increasing the transport capacity of the road network,
- improving the road traffic safety,
- decreasing the travel time and energy consumption,
- improving the natural environment quality (reduction of exhaust emissions), and improving travelling comfort and traffic conditions for drivers, public transport travellers and pedestrians,
- reducing the road fleet management costs and those associated with maintenance and renovation of the road surface.

In order to efficiently fulfil the set objectives, a person managing the road system should have access to automatically incoming current data and obtained over an appropriate period of time. Some of the data must be available to the operator in real time (e.g. alarms, emergency connections, camera images). Other data may be sent with minor delays. A part of the data is stored in the devices and passed on at specified time intervals, in the aggregated or pre-processed form. The data collected from classic sensors include limited information resources. In order to take adequate decisions, the managing person should also have the possibility to verify the incoming data and have a view of the situation. Therefore, the visual monitoring systems are introduced more and more often. They allow for live monitoring of critical points, and documentation of events and taken actions [13].

The Intelligent Transport Systems consist of many subsystems. The tasks executed by individual subsystems make up all the functions of the Intelligent Transport System. Owing to this fact, it is possible to effectively monitor and control the traffic, to predict dangerous situations, to manage traffic incidents, as well as to maintain the roads and to execute other activities (including public safety), necessary for the proper road and motorway operation.

When designing the Intelligent Transport Systems and selecting technology, it is important to take into account many various factors. Therefore, in order to assess individual solutions, it is necessary to develop the indicators related to technical and ICT solutions of ITS services. Such an approach will allow for their assessment and rational selection at the specific preliminary assumptions.

### **3. Issue related to the assessment of technical and ICT solutions of ITS services**

By analysing in detail various types of ITS solutions and their applied technologies of the service implementation with technical and ICT devices [24], it is proposed to use the following indicators in order to assess the technical and ICT solutions of ITS services:

- group of reliability and operating indicators:
  - mean time of operation between damage,
  - readiness,
  - redundant ways of system-user information transmission,
  - percentage of the suitable infrastructure ensuring the appropriate service level,
- group of indicators characterising the services:
  - probability of the service accessibility,
  - probability of the service availability,
  - probability of the service continuity,
  - guaranteed service quality,
  - delays in information transmission,
  - losses in information transfer/transmission,
- group of indicators characterising the power supply:
  - power supply from the power grid and the backup power supply,
  - own power supply using a photovoltaic panel,
  - own power supply using a wind turbine,
- group of economic indicators:
  - operating cost,
  - cost of starting a new service/function,
  - cost of repairs,
- group of other indicators:
  - compatibility with the already used solutions,
  - resistance to interference.

The above indicators were proposed because they enable effective assessment of technical and ICT solutions of ITS services, and thus, it is possible to select technical solutions in order to improve Road Traffic Safety and traffic efficiency.

The reliability and operating indicators were adopted as one of the main criteria. They are very important because they allow to assess individual solutions, taking into account the reliability and operating values [7, 19]. The mean time of operation between damage and readiness was adopted as the most important indicator. Such an approach includes, at the same time, the values of the mean time of damage and the mean time of renovation. The redundant ways of the system-user information transmission were also adopted as an indicator. It allows to carry out the reliability assessment of the solution, in the context of providing information for use. The percentage of the suitable infrastructure ensuring the appropriate service level was adopted as the last indicator. It allows to assess a degree of redundancy of the applied infrastructure for a specified service level.

The indicators characterising the services were adopted as the next criterion. This group includes: the probability of the service accessibility, the probability of the service availability, the possibility of the service continuity and the guaranteed service quality. The mentioned indicators allow to assess the solution in the context of the provided service level, which is very important from the point of view of the end user. The delays in information transmission and losses in information transfer/transmission were assumed as the next two indicators. Owing to them, it is possible to assess, whether there is a phenomenon of transmission of information, which is outdated or incorrect, to the user.

The next criterion is power supply. Among others, the indicator, which constitutes power supply from the power grid and the backup power supply, was adopted. Only owing to the proper power supply (usually from the primary and backup power source) of electronic devices, it is possible to provide ITS services. This group also includes two indicators related to the possibility of supplying the device from renewable energy sources (i.e. photovoltaic panel and/or wind turbine).

The next criterion is a group of economic indicators. It includes three indicators: operating cost, and the cost of starting a new service/function and the cost of repairs. Owing to this fact, it is possible to compare the solutions both in terms of operating costs, repairs and the implementation of other services/functions in the future, which will increase the level of Road Traffic Safety. The economic indicators are very important because it will be possible to choose a specific solution, the operation of which will be more economically rational within a specified period.

As the last criterion, the indicators were adopted, referring to other aspects that should be considered when assessing technical and ICT solutions of ITS services. These are namely: compatibility with the already used solutions, and resistance to interference. The first indicator specifies whether the assessed solution is compatible with the already functioning systems/services.

Owing to this fact, it will be possible to implement a specific solution by using the already existing infrastructure and the indication of the possible requirements for modernisation or replacement of the infrastructure elements in order to meet specific functions at the sufficient level. The second indicator allows to assess the solution in terms of interference, which affects the system, and after exceeding the specific level, it may result in the system transition from the state of usability to the states of partial usability or the state of unfitness.

By assuming that in terms of criteria and procedures for the selection of technical solutions, in order to improve the Road Traffic Safety and the traffic efficiency, the AHP (Analytic Hierarchy Process) method will be used; it is a method included in a group of multi-criteria decision-making support [9], thus the following criteria will be adopted:

- reliability and operating criteria,
- service criteria,
- power supply criteria,
- economic criteria,
- other.

Figure 1 presents the structure of a decision-making model (in AHP method) within the framework of the selection of technical solutions in order to improve the Road Traffic Safety and the traffic efficiency.

The conducted analysis of various types of technical and ICT solutions of ITS services allowed to distinguish five major criteria: reliability and operating, service, power supply, economic and other ones. Each of them includes specific subcriteria. Therefore, it is possible to assess all sorts of solutions and to choose the rational one.

The offered indicators for the assessment of technical and ICT solutions of ITS services can be also used in other methods for supporting the decision making within the framework of the selection of technical solutions in order to improve the Road Traffic Safety and the traffic efficiency.

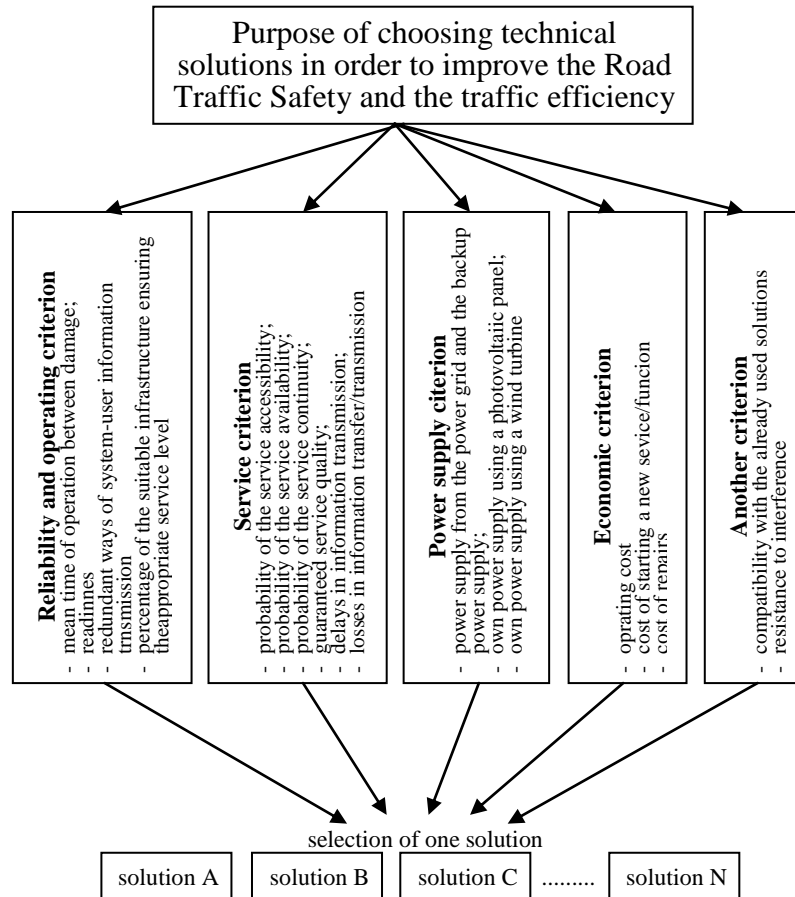


Fig. 1 The decision-making model structure (in AHP method) within the framework of the selection of technical solutions in order to improve the Road Traffic Safety and the traffic efficiency [source: own development]

#### 4. Conclusion

The article presents the original development on the criteria and subcriteria, which will be used for assessing the technical and ICT solutions of ITS services. By assuming that in terms of criteria and procedures for the selection of technical solutions, in order to improve the Road Traffic Safety and the traffic efficiency, the AHP (Analytic Hierarchy Process) method will be applied – they will make it possible to select one solution out of all the assessed ones.

In further research, it is planned to develop an IT application that makes it possible for persons responsible for the implementation of ITS solutions to use the presented criteria and subcriteria.

## **5. References**

- [1] Bednarek M., Dąbrowski T.: Diagnosing data transmission security in the industrial control system. *Przegląd Elektrotechniczny*, no 11/2015, pp. 220-224.
- [2] Będkowski L., Dąbrowski T.: Basics of exploitation, vol. II Basic of operational reliability. Military University of Technology, Warsaw 2006.
- [3] Billinton R., Allan R.N., Reliability evaluation of power systems. Plenum Press, New York, 1996.
- [4] Burdzik R., Konieczny Ł.: Research on structure, propagation and exposure to general vibration in passenger car for different damping parameters. *Journal of Vibroengineering* Vol. 15, Issue 4, 2013, pp. 1680-1688.
- [5] Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: The basis of the exploitation of transport electronic systems. Publisher Technical University of Radom, Radom 2011.
- [6] Dziubinski M., Drozd A., Adamiec M., Siemionek E.: Electromagnetic interference in electrical systems of motor vehicles. In: Scientific Conference On Automotive Vehicles And Combustion Engines (KONMOT 2016), Book Series: IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, vol. 148, 2016.
- [7] Jodejko-Pietruczuk A, Werbińska-Wojciechowska S.: Analysis of maintenance models' parameters estimation for technical systems with delay time. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2014; 16(2): 288–294.
- [8] Kalupova B., Hlavon I.: Intelligent transport systems in the management of road transportation. *Open Engineering*, vol. 6, issue: 1, 2016, pp. 492-497.
- [9] Kaszubowski D., Oskarbski J.: Simulation of the process of selecting the method for detection of traffic incidents. *Logistyka* 3/2012.
- [10] Kierzkowski A., Kisiel T.: Airport security screeners reliability analysis. In: „Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management IEEM 2015”, Singapore 2015. pp. 1158-1163.
- [11] Kłodawski M., Lewczuk K., Jacyna-Golda I., Zak J.: Decision making strategies for warehouse operations. *Archives of Transport*, vol. 41, issue 1, 2017, pp. 43-53.
- [12] Krzykowski M.: Protection of vulnerable customers of electricity and gaseous fuels – legal conditions. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, vol. 17, no 3, 2014, pp. 257–268.
- [13] Łubkowski P, Laskowski D.: Selected issues of reliable identification of object in transport systems using video monitoring services. In: „Communication in Computer and Information Science”, editor: J. Mikulski, vol. 471. Springer, Berlin Heidelberg 2015, pp. 59-68.
- [14] Paszek J., Kaniewski P.: Simulation of Random Errors of Inertial Sensors. 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, FEB 23-26, 2016, pp. 153-155.



- [15] Paś J, Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2017; 19 (3): 375–381.
- [16] Paś J., Siergiejczyk M.: Interference impact on the electronic safety system with a parallel structure. *Diagnostyka*, 2016, vol. 17, no. 1, pp. 49-55.
- [17] Paś J.: Operation of electronic transportation systems. Publishing House University of Technology and Humanities in Radom 2015.
- [18] Paś J.: Shock a disposable time in electronic security systems. *Journal of KONBiN* 2(38)2016, pp. 5-31.
- [19] Restel F.J.: The Markov reliability and safety model of the railway transportation system. *Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014*, pp. 303-311.
- [20] Rosiński A.: Modelling the maintenance process of transport telematics systems. Publishing House Warsaw University of Technology, Warsaw 2015.
- [21] Rychlicki M., Kasprzyk Z.: Increasing performance of SMS based information systems. In: „Proceedings of the Ninth International Conference Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, Vol. 286. Springer, 2014, pp. 373-382.
- [22] Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A. Reliability assessment of integrated airport surface surveillance system. In „Proceedings of the Tenth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, vol. 365. Springer 2015, pp. 435-443.
- [23] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Issue of reliability–exploitation evaluation of electronic transport systems used in the railway environment with consideration of electromagnetic interference. *IET Intelligent Transport Systems* 2016, vol. 10, issue 9, 2016, pp. 587–593.
- [24] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Modeling of process of exploitation of transport telematics systems with regard to electromagnetic interferences. In the monograph „Tools of transport telematics”, editors: Mikulski J., given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 531. Springer, 2015, pp. 99-107.
- [25] Siergiejczyk M., Rosiński A., Krzykowska K.: Reliability assessment of supporting satellite system EGNOS. In: W. Zamojski, J. Mazurkiewicz, J. Sugier, T. Walkowiak, J. Kacprzyk (eds) *New results in dependability and computer systems*, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent and soft computing”, Vol. 224. Springer, 2013, pp. 353-364.

- [26] Stawowy M., Kasprzyk Z.: Identifying and simulation of status of an ICT system using rough sets. In: New Results in Dependability and Computer Systems. Proceedings of the 8th International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX / Zamojski W. i in. (eds), Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 224, Springer, 2015, pp. 477-487.

**The article was prepared within the framework of the project RID 4D „Impact of services of Intelligent Transport Systems on the level of road safety”, funded by the National Centre for Research and Development and the Directorate for National Roads and Motorways (Contract No. DZP/RID-I-41/7/NCBR/2016).**



*Assoc. Eng. Adam Rosiński - research interests include the analysis of reliability-exploitation transport systems telematics and intelligent transport systems. The scientific output has dozens of scientific publications.*

## KRYTERIA OCENY ROZWIĄZAŃ TECHNICZNYCH I TELEINFORMATYCZNYCH USŁUG ITS

### 1. Wstęp

Systemy telematiki transportu integrują informatykę z telekomunikacją w zastosowaniach dla potrzeb różnych systemów transportowych. Poprzez ich wdrażanie wzrasta efektywność wykorzystania infrastruktury transportowej [8,11] i środków transportu, a jednocześnie też zwiększa się poziom bezpieczeństwa podróży [10], pojazdów i obiektów realizujących zadania transportowe [22,25]. Zastosowanie wyspecjalizowanych aplikacji informatycznych, które wykorzystują dane otrzymane z systemów telematiki transportu, pozwoliło na stworzenie Inteligentnych Systemów Transportowych (ITS – ang. Intelligent Transport System). Obecnie są to najbardziej rozbudowane systemy, których skuteczność zależy od liczby informacji otrzymanych z urządzeń pomiarowych oraz zastosowanych algorytmów w programach komputerowych.

Rozwiązania ITS korzystnie wpływają na warunki podróżowania w zakresie prywatnych, jak i publicznych środków transportu drogowego. Zastosowanie inteligentnych systemów transportowych jest korzystniejszą ekonomicznie metodą poprawy warunków komunikacyjnych niż rozbudowa infrastruktury transportowej w dotychczasowej formie.

Zarówno systemy telematiki transportu, jak i inteligentne systemy transportowe funkcjonują w zróżnicowanych warunkach eksploatacyjnych. Obserwacje procesu ich użytkowania w drogowym środowisku transportowym potwierdzają zależność ich poprawnego działania od niezawodności części składowych oraz efektywnego zarządzania procesem ich eksploatacji [5,17]. Zatem szczegółowa analiza zjawisk eksploatacyjnych powinna uwzględniać nie tylko niezawodność systemu, ale także efektywność procesu zarządzania eksploatacją [20]. Dlatego tak istotne jest, by doskonalić w opracowaniach naukowych odwzorowanie zjawisk zachodzących w rzeczywistości (także z uwzględnieniem zakłóceń elektromagnetycznych [6,16,18]) w modelu badawczym inteligentnego systemu transportowego. Takie podejście umożliwi określenie istotnych wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych, które umożliwią ocenę wdrażanych rozwiązań ITS.

Inteligentne systemy transportowe są elementem składowym systemów transportowych. Ich prawidłowe funkcjonowanie ma bardzo istotny wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Stan niezdatności urządzeń elektronicznych oraz błędy w działaniu operatorów i aplikacji informatycznych mogą skutkować wystąpieniem stanów zagrożenia bezpieczeństwa [15,23]. Teoria niezawodności zajmuje się analizą wpływu uszkodzeń systemu na określone wskaźniki niezawodnościowe [2].

Obszarem zainteresowań teorii bezpieczeństwa są skutki uszkodzeń i błędów, które mogą prowadzić do zaistnienia stanów zagrożenia bezpieczeństwa (szczególnie ważnych z punktu widzenia procesu transportowego).

Zatem bardzo istotną kwestią jest prawidłowe określenie, który ze stanów systemu można uznać za dopuszczalny lub niedopuszczalny z punktu widzenia bezpieczeństwa (z uwzględnieniem stanów częściowej zdatności).

Zwiększanie poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego można uzyskać m.in. poprzez wdrażanie nowoczesnych inteligentnych systemów transportowych. Zastosowane systemy powinny cechować się określonymi wartościami wskaźników, które pozwolą porównać je pomiędzy sobą i wybrać racjonalne rozwiązanie. Jako jedne z ważniejszych kryteriów można uznać niezawodność i eksploatację. Na niezawodność ITS wpływa niezawodność elementów składowych i zastosowane struktury nadmiarowe. Pierwsze rozwiązanie zapobiega uszkodzeniom, zaś drugie prowadzi co prawda do rozbudowy systemu, ale umożliwia tolerowanie występujących uszkodzeń (stany częściowej zdatności). Nadmiarowość może dotyczyć zarówno podzespołów urządzenia, modułów systemu, jak też np. komputerów sterujących procesami transportowymi. Podczas analizy rozwiązań ITS istotna jest też jakość informacji [26], jaką otrzymują systemy z czujników [14]. W niektórych opracowaniach naukowych autorzy proponują zastosowanie logiki rozmytej lub sztucznych sieci neuronowych. Na funkcjonowanie inteligentnych systemów transportowych mają także istotny wpływ drgania [4]. Istotną kwestią jest też prawidłowe zasilanie urządzeń zastosowanych w ITS [3,12].

Wdrażanie nowoczesnych rozwiązań inteligentnych systemów transportowych w transporcie drogowym wymusza konieczność ich oceny (w tym także niezawodnościowo-eksploatacyjnej) i wyboru racjonalnego przy założonych kryteriach. Zachodzi zatem konieczność opracowania wskaźników związanych z rozwiązaniami technicznymi i teleinformatycznymi usług ITS, które pozwoliłyby ocenić wpływ projektowanych rozwiązań ITS na BRD (Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego). Takie podejście zostało zaprezentowane w niniejszym artykule.

## **2. Inteligentne systemy transportowe**

Jednym z istotniejszych elementów inteligentnych systemów transportowych jest informacja przesyłana za pomocą różnego typu mediów transmisyjnych [1,21]. Zastosowanie urządzeń telekomunikacyjnych i informatycznych powoduje, że rozwiązania ITS są w rzeczywistości systemami teleinformatycznymi. Są one podatne są na różnego rodzaju zagrożenia, w tym także te związane z oddziaływaniem zakłóceń elektromagnetycznych.

Wdrażanie systemów ITS wpływa korzystnie na [20]:

- zwiększenie przepustowości sieci ulic,
- poprawienie bezpieczeństwa w ruchu drogowym,
- zmniejszenie czas podróży i zużycie energii,
- poprawienie jakości środowiska naturalnego (redukcja emisji spalin) oraz poprawienie komfortu podróżowania i warunków ruchu kierowców, podróżujących transportem zbiorowym oraz pieszych,
- redukcja kosztów zarządzania taborem drogowym oraz związanych z utrzymaniem i renowacją nawierzchni.

Aby skutecznie realizować wymienione cele zarządzający systemem dróg powinien mieć dostęp do aktualnych danych otrzymywanych automatycznie i w określonym czasie. Niektóre z danych muszą być dostępne operatorowi w czasie rzeczywistym (np. alarmy, połączenia ratunkowe, obrazy z kamer). Inne dane mogą być przesyłane z niewielkimi opóźnieniami. Część danych jest przechowywana w urządzeniach i przekazywana dalej w określonych przedziałach czasu w postaci zagregowanej lub wstępnie przetworzonej. Dane pobierane z klasycznych czujników zawierają w sobie ograniczone zasoby informacyjne. W celu podejmowania adekwatnych decyzji zarządzający powinien mieć także możliwości weryfikacji napływających danych i podglądu sytuacji. Dlatego coraz częściej wprowadza się systemy monitoringu wizyjnego. Pozwalają one na monitorowanie newralgicznych punktów na żywo oraz dokumentowanie zdarzeń i podjętych działań [13].

Inteligentne systemy transportowe składają się z wielu podsystemów. Zadania wykonywane przez poszczególne podsystemy składają się na całość funkcji ITS. Dzięki temu możliwe jest efektywne nadzorowanie i sterowanie ruchem, predykcja sytuacji niebezpiecznych, zarządzanie zdarzeniami drogowymi, utrzymanie dróg i realizacja innych czynności (w tym z zakresu bezpieczeństwa publicznego), niezbędnych do właściwej dróg i autostrad.

Przy projektowaniu systemów ITS i wyborze technologii trzeba uwzględniać wiele różnego rodzaju czynników. Dlatego też, w celu oceny poszczególnych rozwiązań, niezbędne jest opracowanie wskaźników związanych z rozwiązaniami technicznymi i teleinformatycznymi usług ITS. Takie podejście umożliwi ich ocenę i wybór racjonalnego przy określonych założeniach wstępnych.

### **3. Problematyka oceny rozwiązań technicznych i teleinformatycznych usług ITS**

Analizując szczegółowo różnego rodzaju rozwiązania inteligentnych systemów transportowych oraz zastosowane w nich technologie realizacji usługi wraz z urządzeniami technicznymi i teleinformatycznymi [24] proponuje się zastosowanie następujących wskaźników do oceny rozwiązań technicznych i teleinformatycznych usług ITS:

- grupa wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych:
  - średni czas działania między uszkodzeniami,
  - gotowość,
  - redundantne drogi transmisji informacji system – użytkownik,
  - procent zdatnej infrastruktury zapewniający odpowiedni poziom usługi,
- grupa wskaźników charakteryzujących usługi:
  - prawdopodobieństwo osiągalności usługi,
  - prawdopodobieństwo dostępności usługi,
  - prawdopodobieństwo ciągłości usługi,
  - gwarantowana jakość usługi,
  - opóźnienia w przekazywaniu informacji,
  - straty w transmisji/przekazywaniu informacji,

- grupa wskaźników charakteryzujących zasilanie:
  - zasilanie z sieci energetycznej i rezerwowego źródła zasilania,
  - zasilanie własne z zastosowaniem panelu fotowoltaicznego,
  - zasilanie własne z zastosowaniem turbiny wiatrowej,
- grupa wskaźników ekonomicznych:
  - koszt funkcjonowania,
  - koszt uruchomienia nowej usługi/funkcji,
  - kosztochłonność napraw,
- grupa wskaźników pozostałych:
  - kompatybilność z już wykorzystywanymi rozwiązaniami,
  - odporność na zakłócenia.

Powyższe wskaźniki zostały zaproponowane, ponieważ umożliwiają skuteczną ocenę rozwiązań technicznych i teleinformatycznych usług ITS, a tym samym możliwy jest dobór rozwiązań technicznych w celu poprawy BRD i efektywności ruchu.

Jako jedno z głównych kryteriów przyjęto wskaźniki niezawodnościowo-eksploatacyjne. Są one bardzo istotne, ponieważ umożliwiają ocenę poszczególnych rozwiązań z uwzględnieniem wartości niezawodnościowo-eksploatacyjnych [7,19]. Jako najistotniejsze wskaźniki przyjęto średni czas działania między uszkodzeniami i gotowość. Takie podejście uwzględnia jednocześnie wartości średniego czasu do uszkodzenia i średniego czasu do odnowy. Jako wskaźnik przyjęto także redundantne drogi transmisji informacji system – użytkownik. Pozwala to na ocenę niezawodnościową rozwiązania, w kontekście dostarczania informacji do użytkownika. Jako ostatni wskaźnik przyjęto procent zdatnej infrastruktury zapewniający odpowiedni poziom usługi. Umożliwia to ocenę stopnia nadmiarowości zastosowanej infrastruktury, przy określonym poziomie usługi.

Jako kolejne kryterium przyjęto wskaźniki charakteryzujące usługi. Do tej grupy zaliczono: prawdopodobieństwo osiągalności usługi, prawdopodobieństwo dostępności usługi, prawdopodobieństwo ciągłości usługi i gwarantowaną jakość usługi. Wymienione wskaźniki pozwalają ocenić rozwiązanie w kontekście poziomu świadczonej usługi, co jest bardzo istotne z punktu widzenia użytkownika końcowego. Jako dwa kolejne wskaźniki przyjęto opóźnienia w przekazywaniu informacji i straty w transmisji/przekazywaniu informacji.

Dzięki nim można ocenić czy nie występują zjawisko przekazania do użytkownika informacji, które są już nieaktualne lub nieprawidłowe.

Następnym kryterium jest zasilanie. Przyjęto m.in. wskaźnik, jakim jest zasilanie z sieci energetycznej i rezerwowego źródła zasilania. Tylko dzięki prawidłowemu zasilaniu (najczęściej z podstawowego i rezerwowego źródła zasilania) urządzeń elektronicznych możliwe jest świadczenie usług ITS.

Do tej grupy zaliczono także dwa wskaźniki związane z możliwością zasilania urządzenia z odnawialnych źródeł energii (tj. panelu fotowoltaicznego i/lub turbiny wiatrowej).

Kolejnym kryterium jest grupa wskaźników ekonomicznych. Zaliczono do niej trzy wskaźniki: koszt funkcjonowania, koszt uruchomienia nowej usługi/funkcji oraz kosztocłonność napraw. Dzięki temu możliwe jest porównanie rozwiązań zarówno w aspekcie kosztów eksploataowania, napraw jak i wdrażania w przyszłości kolejnych usług/funkcji, które zwiększą poziom BRD. Wskaźniki ekonomiczne są bardzo istotne, ponieważ możliwy będzie dobór określonego rozwiązania, którego eksploatacja w określonym okresie będzie bardziej racjonalna ekonomicznie.

Jako ostatnie kryterium przyjęto wskaźniki odnosząc się do pozostałych aspektów, które należy uwzględnić podczas oceny rozwiązań technicznych i teleinformatycznych usług ITS. Są to mianowicie: kompatybilność z już wykorzystywanymi rozwiązaniami, odporność na zakłócenia. Pierwszy wskaźnik określa, czy oceniane rozwiązanie będzie kompatybilne z już funkcjonującymi systemami/usługami. Dzięki temu możliwe będzie wdrażanie określonego rozwiązania przy użyciu już istniejącej infrastruktury oraz wskazanie możliwych wymagań dotyczących modernizacji lub wymiany elementów infrastruktury by spełniały określone funkcje na wystarczającym poziomie. Drugi wskaźnik umożliwia ocenę rozwiązania w zakresie zakłóceń, które wpływają na system, a po przekroczeniu określonego poziomu mogą skutkować przejściem systemu ze stanu zdatności do stanów częściowej zdatności lub stanu niezdatności.

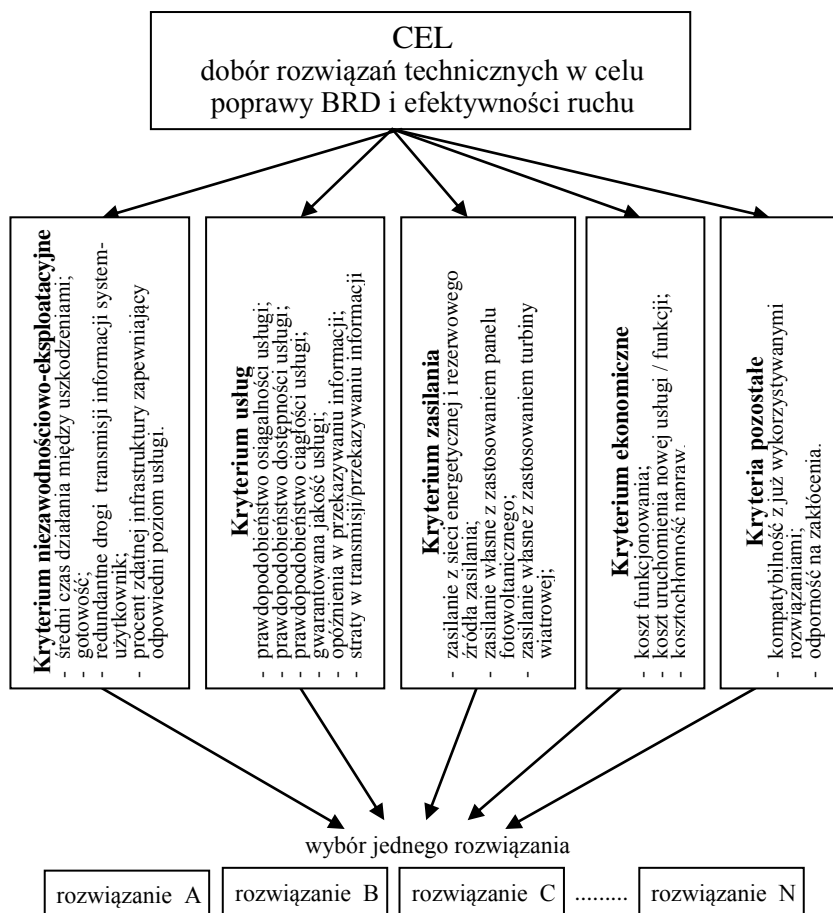
Zakładając, że w zakresie kryteriów i procedur doboru rozwiązań technicznych w celu poprawy BRD i efektywności ruchu zostanie zastosowana metoda AHP (analityczny proces hierarchiczny, ang. Analytic Hierarchy Process; jest to metoda zaliczana do grupy wielokryterialnego wspierania podejmowania decyzji [9]), to będą przyjęte wówczas następujące kryteria:

- niezawodnościowo-eksploatacyjne,
- usług,
- zasilania,
- ekonomiczne,
- pozostałe.

Na rys. 1 przedstawiono strukturę modelu decyzyjnego (w metodzie AHP) w ramach doboru rozwiązań technicznych w celu poprawy BRD i efektywności ruchu.

Przeprowadzona analiza różnego rodzaju rozwiązań technicznych i teleinformatycznych usług ITS pozwoliła na wyróżnienie pięciu głównych kryteriów: niezawodnościowo-eksploatacyjne, usług, zasilania, ekonomiczne, pozostałe. Każde z nich zawiera określone subkryteria. Dzięki temu możliwa jest ocena różnego rodzaju rozwiązań i wybór racjonalnego.

Zaproponowane wskaźniki do oceny rozwiązań technicznych i teleinformatycznych usług ITS mogą być zastosowane również w innych metodach wspomaganie podejmowania decyzji w ramach doboru rozwiązań technicznych w celu poprawy BRD i efektywności ruchu.



*Rys. 1 Struktura modelu decyzyjnego (w metodzie AHP) w ramach doboru rozwiązań technicznych w celu poprawy BRD i efektywności ruchu [źródło: opracowanie własne]*

#### 4. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano autorskie opracowanie dotyczące kryteriów i subkryteriów, które zostaną wykorzystane do oceny rozwiązań technicznych i teleinformatycznych usług ITS. Zakładając, że w zakresie kryteriów i procedur doboru rozwiązań technicznych w celu poprawy BRD i efektywności ruchu zostanie zastosowana metoda AHP (analityczny proces hierarchiczny, ang. Analytic Hierarchy Process), będą one umożliwiać wybór jednego rozwiązania spośród wszystkich ocenianych.



W dalszych badaniach planuje się opracowanie aplikacji informatycznej umożliwiającej osobom odpowiedzialnym za wdrażanie rozwiązań ITS stosowanie przedstawionych kryteriów i subkryteriów.

## 5. Literatura

- [1] Bednarek M., Dąbrowski T.: Diagnostowanie bezpieczeństwa przesyłu danych w przemysłowym systemie sterowania. *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 11/2015, s. 220-224.
- [2] Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji, cz. II Podstawy niezawodności eksploatacyjnej. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
- [3] Billinton R., Allan R.N., Reliability evaluation of power systems. Plenum Press, New York, 1996.
- [4] Burdzik R., Konieczny Ł.: Research on structure, propagation and exposure to general vibration in passenger car for different damping parameters. *Journal of Vibroengineering* Vol. 15, Issue 4, 2013, pp. 1680-1688.
- [5] Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
- [6] Dziubinski M., Drozd A., Adamiec M., Siemionek E.: Electromagnetic interference in electrical systems of motor vehicles. In: Scientific Conference On Automotive Vehicles And Combustion Engines (KONMOT 2016), Book Series: IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, vol. 148, 2016.
- [7] Jodejko-Pietruczuk A., Werbińska-Wojciechowska S.: Analysis of maintenance models' parameters estimation for technical systems with delay time. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2014; 16(2): 288–294.
- [8] Kalupova B., Hlavon I.: Intelligent transport systems in the management of road transportation. *Open Engineering*, vol. 6, issue: 1, 2016, pp. 492-497.
- [9] Kaszubowski D., Oskarbski J.: Symulacja procesu wyboru metody wykrywania zdarzeń drogowych. *Logistyka* 3/2012.
- [10] Kierzkowski A., Kisiel T.: Airport security screeners reliability analysis. In: „Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management IEEM 2015”, Singapore 2015. pp. 1158-1163.
- [11] Kłodawski M., Lewczuk K., Jacyna-Golda I., Zak J.: Decision making strategies for warehouse operations. *Archives of Transport*, vol. 41, issue 1, 2017, pp. 43-53.

- [12] Krzykowski M.: Ochrona odbiorców wrażliwych energii elektrycznej i paliw gazowych – uwarunkowania prawne. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, tom 17, zeszyt 3, 2014, str. 257–268.
- [13] Łubkowski P, Laskowski D.: Selected issues of reliable identification of object in transport systems using video monitoring services. In: „Communication in Computer and Information Science”, editor: J. Mikulski, vol. 471. Springer, Berlin Heidelberg 2015, pp. 59-68.
- [14] Paszek J., Kaniewski P.: Simulation of Random Errors of Inertial Sensors. 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, FEB 23-26, 2016, pp. 153-155.
- [15] Paś J, Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2017; 19 (3): 375–381.
- [16] Paś J., Siergiejczyk M.: Interference impact on the electronic safety system with a parallel structure. *Diagnostyka*, 2016, Vol. 17, No. 1, pp. 49-55.
- [17] Paś J.: *Eksploatacja elektronicznych systemów transportowych*. Uniwersytet Technologiczno - Humanistyczny, Radom 2015.
- [18] Paś J.: Shock a disposable time in electronic security systems. *Journal of KONBiN* 2(38)2016, pp. 5-31.
- [19] Restel F.J.: The Markov reliability and safety model of the railway transportation system. *Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014*, pp. 303-311.
- [20] Rosiński A.: *Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematiki transportu*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
- [21] Rychlicki M., Kasprzyk Z.: Increasing performance of SMS based information systems. In: „Proceedings of the Ninth International Conference Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, Vol. 286. Springer, 2014, pp. 373-382.
- [22] Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A. Reliability assessment of integrated airport surface surveillance system. In „Proceedings of the Tenth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, vol. 365. Springer 2015, pp. 435-443.

- [23] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Issue of reliability–exploitation evaluation of electronic transport systems used in the railway environment with consideration of electromagnetic interference. IET Intelligent Transport Systems 2016, vol. 10, issue 9, 2016, pp. 587–593.
- [24] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Modeling of process of exploitation of transport telematics systems with regard to electromagnetic interferences. In the monograph „Tools of transport telematics”, editors: Mikulski J., given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 531. Springer, 2015, pp. 99-107.
- [25] Siergiejczyk M., Rosiński A., Krzykowska K.: Reliability assessment of supporting satellite system EGNOS. In: W. Zamojski, J. Mazurkiewicz, J. Sugier, T. Walkowiak, J. Kacprzyk (eds) New results in dependability and computer systems, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent and soft computing”, Vol. 224. Springer, 2013, pp. 353-364.
- [26] Stawowy M., Kasprzyk Z.: Identifying and simulation of status of an ICT system using rough sets. In: New Results in Dependability and Computer Systems. Proceedings of the 8th International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX / Zamojski W. i in. (eds), Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 224, Springer, 2015, pp. 477-487.

*Artykuł opracowano w związku z realizacją projektu RID 4D pt. „Wpływ stosowania usług Inteligentnych Systemów Transportowych na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego”, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad (umowa nr DZP/RID-I-41/7/NCBR/2016).*



*Dr hab. inż. Adam Rosiński, prof. PW - zainteresowania naukowe obejmują analizę niezawodnościowo-eksploatacyjną systemów telematiki transportu oraz inteligentnych systemów transportowych. W dorobku naukowym posiada kilkadziesiąt publikacji naukowych.*

