RELIABILITY-EXPLOITATION ANALYSIS OF HIGHWAY TRANSPORT TELEMATICS SYSTEMS

ANALIZA NIEZAWODNOŚCIOWO-EKSPLOATACYJNA AUTOSTRADOWYCH SYSTEMÓW TELEMATYKI TRANSPORTU

Mirosław Siergiejczyk¹, Adam Rosiński²,
Przemysław Dziula³, Karolina Krzykowska⁴

^{1,2,4} Politechnika Warszawska

e-mail: msi@wt.pw.edu.pl, adro@wt.pw.edu.pl, kkrzykowska@wt.pw.edu.pl

³ Akademia Morska w Gdyni

e-mail: przemyslaw.dziula@wn.am.gdynia.pl

Abstract: *This paper presents the issues connected with highway transport telematics systems. The particular attention is paid to the highway emergency communications systems. There is described their structure and functioning. It also presented the general reliability-exploitation model. It allows to determinate the probability of staying of the system in the distinguished operating states.*

Keywords: *transport telematics, highway emergency communications systems, reliability*

Streszczenie: *W publikacji przedstawiono zagadnienia związane z autostradowymi systemami telematyki transportu. Zwrócono szczególną uwagę na autostradowe systemy łączności alarmowej. Opisano ich budowę oraz funkcjonowanie. Zaprezentowano także ich ogólny model niezawodnościowo-eksploatacyjny. Umożliwia on wyznaczenie wartości prawdopodobieństw przebywania systemu w wyróżnionych stanach eksploatacyjnych.*

Słowa kluczowe: *telematyka transportu, autostradowe systemy łączności alarmowej, niezawodność*

1. Wstęp

Telematyka transportu jest dziedziną wiedzy i działalności technicznej, która integruje informatykę i telekomunikację w zastosowaniach stosowanych w systemach transportowych [18]. Dzięki temu możliwe jest projektowanie, wdrażanie, a następnie korzystanie z zintegrowanych systemów pomiarowych, telekomunikacyjnych, informatycznych, informacyjnych oraz aplikacji telematycznych (w tym m.in. usług) [11,15].

Jedną z najważniejszych funkcji systemów telematyki transportu jest operowanie informacją, czyli pozyskiwanie, przetwarzanie, dystrybucja z transmisją i wykorzystanie danych w procesach decyzyjnych [4,16]. Procesy mogą być realizowane w sposób wcześniej zdeterminowany (np. automatyczne sterowanie), lub też wynikać z zaistniałych sytuacji. Wówczas decyzje podejmują osoby upoważnione, np. dysponenci, dyspozytorzy, niezależni użytkownicy infrastruktury.

Systemy telematyki autostradowej są obecnie przedmiotem wielu opracowań i rozważań naukowych [5,17]. Jedną z przyczyn jest fakt, iż obecnie rozwój transportu drogowego (w tym w szczególności w Polsce autostradowego) jest priorytetem (zarówno na szczeblu krajowym, jak też w ramach projektów Unii Europejskiej). Gęstość ruchu na drogach osiąga już takie rozmiary, że bez intensywnych działań w kierunku budowy i rozbudowy autostrad grozi paraliż komunikacyjny. Zatem problematyka transportu autostradowego winna być w centrum zainteresowania naukowców, projektantów, instytucji rządowych.

Jednocześnie też autostrada, która nie będzie wyposażona w odpowiednie wyposażenie telematyczne dostosowane do potrzeb wynikających ze spodziewanych i istniejących parametrów ruchu, jego przebiegu terytorialnego, istniejących zagrożeń i wielu innych czynników nie będzie spełnić oczekiwań użytkowników i eksploatorów powodując, że użytkowanie takiego rozwiązania będzie mało efektywne ekonomicznie.

2. Telematyka autostradowa

Jedną z właściwości aplikacji telematycznych jest możliwość dostarczania i przetwarzania dużego zbioru informacji (pozyskanych z różnych podsystemów) adekwatnych dla danego zastosowania [14]. Aplikacje te są najczęściej dostosowane do potrzeb odbiorców – użytkowników tych informacji. Operacje informacyjne mogą być realizowane albo w sposób automatyczny, albo w wyniku przesłania żądania użytkownika na konkretną usługę. Bardzo ważną cechą aplikacji telematycznych jest zdolność efektywnego współdziałania wielu różnych podsystemów i wprowadzania ich w skoordynowany tryb funkcjonowania.

System telematyki autostradowej obejmuje wiele podsystemów składowych, których funkcje są dedykowane do poszczególnych funkcji eksploatacyjnych. Zadania wykonywane przez poszczególne podsystemy składają się na całość funkcji systemu telematyki transportu. Dzięki temu możliwe jest efektywne nadzorowanie i sterowanie ruchem, predykcja sytuacji niebezpiecznych,

zarządzanie zdarzeniami drogowymi, utrzymanie dróg i realizacja innych czynności, niezbędnych do właściwej eksploatacji autostrady.

Telematyka autostradowa to zastosowanie różnych systemów teleinformatycznych na autostradach w celu uzyskania wielu korzyści. Można do nich zaliczyć m.in. zwiększenie bezpieczeństwa podróży i przewozów, zmniejszenie degradacji środowiska, zwiększenie sprawności procesów transportowych poprzez rozwiązania przewodnictwa drogowego, lepsze wykorzystanie infrastruktury drogowej i uzyskiwanie poprawy wyników ekonomicznych operatorów autostrady.

W skład telematyki autostradowej wchodzi następujące elementy: centrum zarządzania transportem, ruchem pasażerów, pojazdów, kierowców, towarów, sieci komputerowe, sieć telefonii komórkowej, systemy nawigacji satelitarnej, wyposażenie pojazdów i przesyłek w odpowiednie sensory. Inteligentny Telematyczny System Transportowy, podsystem zarządzania drogą, pojazdem, kierowcą, usługą transportową w oparciu o telekomunikację czasu rzeczywistego, tworzą logiczny ciąg umożliwiający panowanie i zarządzanie przemieszczaniem ludzi, pojazdów i towarów w zmiennych warunkach środowiska.

3. System autostradowej łączności alarmowej

Celem systemu autostradowej łączności alarmowej jest przekazywanie zgłoszeń (np. o awariach, kolizjach, itp.) od użytkowników znajdujących się na danym odcinku autostrady do stacji nadzoru odcinka autostrady [7,10].

W skład systemu autostradowej łączności alarmowej wchodzi kolumny alarmowe, media transmisyjne i system zarządzający znajdujący się w centrum zarządzania. Kolumny autostradowe zapewniają łączność dwukierunkową (sygnalizowanie zgłoszenia i odsłuch akustyczny) lub jednokierunkową (tylko sygnalizowanie zgłoszenia przyciskiem wzywania pomocy). Użytkownik systemu uruchamiając przycisk wzywania pomocy w kolumnie autostradowej powoduje emisję wiadomości do Centrum Nadzoru. Wysłana wiadomość zawiera adres identyfikujący kolumnę alarmową. Dzięki temu operator znajdujący się w Centrum Nadzoru ma informację o obszarze i geometrii sieci w miejscu zdarzenia. Można też wówczas szybko zawiadamiać odpowiednie służby i zdalnie uruchomić migające światło zainstalowane na kolumnach. W przypadku łączności dwukierunkowej łączy się z kolumną, z której pochodzi wywołanie alarmowe i przeprowadza rozmowę z użytkownikiem.

Jednym z rozwiązań systemu autostradowej łączności alarmowej jest system STOER (*Système de Transmission Optique pour Equipements de la Route*). Jest to rozwiązanie łączności alarmowej, które wykorzystuje do transmisji pomiędzy węzłami sieci kabel światłowodowy ułożony w ziemi wzdłuż autostrad. Zapewnia to dużą odporność na środowiskowe zakłócenia elektromagnetyczne oraz dużą przepływność bitową. Ogólną architekturę sieci łączności alarmowej przedstawiono na rysunku 1.

Światłowodowy system łączności alarmowej składa się z następujących podsystemów:

- Centrum Nadzoru, którego celem jest zarządzanie zgłoszeniami użytkowników, podtrzymanie rozmowy w przypadku wielu użytkowników, automatyczne wybierania zaprogramowanych numerów PSTN,
- urządzenia interfejsu optoelektrycznego, zwanego punktem centralnego dostępu CAP (*Central Access Point*), które umożliwia dwukierunkową transmisję danych poprzez kabel światłowodowy,
- sieci biernych sprzęgaczy optycznych podłączonych do kabla światłowodowego przeznaczonego dla światłowodowego systemu łączności alarmowej. Umożliwiają one połączenie wszystkich kolumn alarmowych na tym samym odgałęzieniu z wykorzystaniem jednego włókna optycznego na odgałęzienie.
- interfejs elektrooptyczny, tzn. optyczna skrzynka terenowa FOB (*Field Optical Box*). Jest ona przyporządkowana każdej parze kolumn alarmowych i dołączona do kolumny głównej. Połączenia między FOB i główną kolumną alarmową dokonuje się za pomocą krótkiego kabla wieloparowego, aby ułatwić przywrócenie stanu zdadności w przypadku uszkodzenia kolumny przez np. uderzenie pojazdu.
- kolumny alarmowe (główne i podrzędne), które znajdują się wzdłuż autostrady po obu stronach tworząc odgałęzienia do Centrum Nadzoru. Kolumny alarmowe główne składają się z układu elektronicznego (wzmacniacz częstotliwości akustycznej, wejście łącza, układ akustyczny z mikroprocesorem, modem i interfejs), mikrofonu, głośnika, przycisku alarmowego.

4. Ocena niezawodnościowa systemów autostradowej łączności alarmowej

W sieci telekomunikacyjnej (w tym w sieci autostradowej łączności alarmowej) gotowość, czyli własność sieci polegająca na zdolności do zapewnienia zestawienia i utrzymania połączenia pomiędzy aktywnymi abonentami w określonym czasie i istniejących warunkach eksploatacji jest wynikiem gotowości poszczególnych jej elementów składowych oraz struktury funkcjonalno-niezawodnościowej sieci.

Gotowość sieci łączności alarmowej można mierzyć stosując różne wskaźniki, których wartości zależą głównie od:

- przebiegu procesu uszkodzeń urządzeń telekomunikacyjnych i dróg przesyłowych, które wchodzi w skład sieci łączności alarmowej,
- przebiegu procesu obsługi zgłoszeń przez kolumny alarmowe i urządzenia komputerowe w Centrum Nadzoru,
- przebiegu procesu funkcjonowania systemu obsługi.

Zgodnie z PN 93/N-50191 jakość usługi definiowana jest przez zespół właściwości usługi, które określają stopień zaspokojenia określonych potrzeb użytkownika. W przypadku systemu autostradowej łączności alarmowej na jakość usługi wpływają:

- niezawodność działania sieci,
- poprawność transmisji wiadomości alarmowej.

Systemy autostradowej łączności alarmowej pracują w zróżnicowanych warunkach eksploatacyjnych. Jako elementy biorące udział w procesie transportowym powinny zachować stan zdatności. Dlatego też tak ważne są opracowania z zakresu zapewnienia odpowiednich wartości wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych [2,6,13]. W tym celu przeprowadzane są badania z zakresu niezawodnościowo-eksploatacyjnego [8,12] tych systemów.

Ogólną strukturę systemu autostradowej łączności alarmowej przedstawiono na rys. 1. W skład wchodzi centrum nadzoru, trakt światłowodowy oraz poszczególne zespoły kolumn autostradowych (ich ogólna liczba wynosi m).

Rys. 1 System autostradowej łączności alarmowej [9]

Przeprowadzając analizę funkcjonowania systemu autostradowej łączności alarmowej, można zilustrować relacje zachodzące w tej strukturze, w aspekcie niezawodnościowo-eksploatacyjnym [1,3] tak jak przedstawia to rysunek 2. Uszkodzenie któregoś z elementów znajdujących się w gałęzi szeregowej struktury powoduje przejście systemu ze stanu pełnej zdatności S_{PZ} do stanu zawodności bezpieczeństwa S_B . Uszkodzenie któregoś z elementów znajdujących się w gałęzi równoległej struktury powoduje przejście ze stanu pełnej zdatności S_{PZ} do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB} .

Rys. 2 Relacje zachodzące w systemie autostradowej łączności alarmowej, gdzie:

- $R_O(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdolności S_{PZ} ,
- $Q_{ZB}(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB} ,
- $Q_B(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zawodności bezpieczeństwa S_B ,
- λ_B – intensywność przejść centrum nadzoru,
- λ_{ZB} – intensywność przejść poszczególnych kolumn autostradowych,
- λ_{RZB} – intensywność przejść dwu lub więcej kolumn autostradowych,
- λ_R – intensywność przejść dwu lub więcej kolumn autostradowych w przypadku zaistnienia już wcześniej uszkodzenia,
- μ – intensywność procesu odnowy

W przedstawionym grafie relacji zachodzących w systemie autostradowej łączności alarmowej uwzględniono także możliwości jednoczesnego uszkodzenia dwu lub więcej kolumn autostradowych. Taka sytuacja jest możliwa w przypadku uszkodzenia traktu światłowodowego. W takiej sytuacji zostanie wyłączona z użytkowania ta część urządzeń, która znajduje się od miejsca uszkodzenia światłowodu w kierunku ostatniego zespołu kolumn autostradowych. Na rysunku jest to oznaczone jako: λ_{RZB} – intensywność przejść dwu lub więcej kolumn autostradowych.

W analizie uwzględniono także możliwości jednoczesnego uszkodzenia dwu lub więcej kolumn autostradowych, w przypadku kiedy wcześniej takie zdarzenie miało miejsce. Na rysunku jest to oznaczone jako λ_{Rxx} .

Autorzy w rozważaniach uwzględnili także proces odnowy, który cechuje się przywróceniem stanu zdadności w przypadku wystąpienia częściowej lub całkowitej niezdatności. Na rysunku jest to oznaczone jako μ_x .

System przedstawiony na rys. 1 może być opisany następującymi równaniami Kołmogorowa-Chapmana:

$$\begin{aligned}
 R_0'(t) &= -\lambda_B \cdot R_0(t) - \lambda_{RZB2} \cdot R_0(t) - \dots - \lambda_{RZBm-1} \cdot R_0(t) - \lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) + \\
 &+ \mu_1 \cdot Q_{ZB1}(t) + \mu_2 \cdot Q_{ZB2}(t) + \dots + \mu_{m-1} \cdot Q_{ZBm-1}(t) + \mu_m \cdot Q_B(t) \\
 Q_{ZB1}'(t) &= \lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) - \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}(t) - \dots - \lambda_{R1_m-1} \cdot Q_{ZB1}(t) - \\
 &- \lambda_{R1_B} \cdot Q_{ZB1}(t) - \mu_1 \cdot Q_{ZB1}(t) \\
 Q_{ZB2}'(t) &= \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}(t) + \lambda_{RZB2} \cdot R_0(t) - \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}(t) - \dots - \\
 &- \lambda_{R2_m-1} \cdot Q_{ZB2}(t) - \lambda_{R2_B} \cdot Q_{ZB2}(t) - \mu_2 \cdot Q_{ZB2}(t) \\
 &\dots\dots\dots \\
 Q_{ZBm-1}'(t) &= \lambda_{ZBm-1} \cdot Q_{ZBm-2}(t) + \lambda_{RZBm-1} \cdot R_0(t) - \lambda_{ZBm} \cdot Q_{ZBm-1}(t) + \\
 &+ \lambda_{R1_m-1} \cdot Q_{ZB1}(t) + \lambda_{R2_m-1} \cdot Q_{ZB2}(t) + \dots + \lambda_{Rm-2_m-1} \cdot Q_{ZBm-2}(t) - \\
 &- \mu_{m-1} \cdot Q_{ZBm-1}(t) \\
 Q_B'(t) &= \lambda_B \cdot R_0(t) + \lambda_{R1_B} \cdot Q_{ZB1}(t) + \lambda_{R2_B} \cdot Q_{ZB2}(t) + \dots + \\
 &+ \lambda_{ZBm} \cdot Q_{ZBm-1}(t) - \mu_m \cdot Q_B(t)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Przyjmując warunki początkowe:

$$\begin{aligned}
 R_0(0) &= 1 \\
 Q_{ZB1}(0) &= Q_{ZB2}(0) = \dots = Q_{ZBm-1}(0) = Q_B(0) = 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

i stosując odpowiednie przekształcenia można wyznaczyć zależności pozwalające obliczyć wartości prawdopodobieństw przebywania systemu autostradowej łączności alarmowej w wyróżnionych stanach.

5. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano zagadnienia dotyczące analizy procesu niezawodnościowo-eksploatacyjnego systemu autostradowej łączności alarmowej. Opracowano n-stanowy model z uwzględnieniem różnego rodzaju uszkodzeń, które mogą wystąpić podczas użytkowania systemu.

Jednocześnie też założono, że wyniku realizacji czynności w procesie odnowy następuje przywrócenie stanu pełnej zdadności systemowi.

W dalszych badaniach autorzy planują dokonać analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej poszczególnych podsystemów systemu autostradowej łączności alarmowej (tzn. centrum nadzoru, kolumn alarmowych). Umożliwi to porównanie różnego rodzaju rozwiązań i opracowanie propozycji kryteriów wyboru rozwiązania, które będzie racjonalne przy założonych wymaganiach wstępnych.

6. Literatura

- [1] Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji, cz. II Podstawy niezawodności eksploatacyjnej, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
- [2] Dąbrowski T., Bednarek M., Fokow K., Wiśnios M.: The method of threshold-comparative diagnosing insensitive on disturbances of diagnostic signals. Przegląd Elektrotechniczny - Electrical Review, vol. 88, issue: 11A, 2012.
- [3] Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
- [4] Dziula P.: Telecommunication in transport monitoring systems, The monograph "Advances in Transport Systems Telematics", editor J. Mikulski, Faculty of Transport, Silesian University of Technology. Katowice 2006.
- [5] Kasprzyk Z.: Delivering payment services through manual toll collection system. The monograph „Telematics in the transport environment”, editors: Jerzy Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 329. The publisher: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2012.
- [6] Laskowski D., Łubkowski P., Pawlak E., Stańczyk P.: Anthropotechnical systems reliability. In the monograph „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczuk A. & Werbińska-Wojciechowska S. The publisher: CRC Press/Balkema, 2015.

- [7] Mikulski J., Dziula P.: Telematyka w zarządzaniu kryzysowym w systemach transportowych. Telekomunikacja i sterowanie ruchem – kwartalnik – nr 1/2008.
- [8] Rosiński A.: Rationalisation of the maintenance process of transport telematics system comprising two types of periodic inspections. Opublikowany w „Proceedings of the Twenty-Third International Conference on Systems Engineering” pod redakcją Henry Selvaraj, Dawid Zydek, Grzegorz Chmaj, wydana jako monograficzna seria wydawnicza – „Advances in intelligent systems and computing”, Vol. 1089, wydawca: Springer, 2015.
- [9] Siergiejczyk M., Chmiel J., Rosiński A.: Reliability analysis of highway emergency response systems. Journal Of KONBiN nr 4(24)2012, wyd. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warsaw 2012.
- [10] Siergiejczyk M., Chmiel J., Rosiński A.: Reliability-maintenance analysis of highway emergency communication systems. Opublikowany w „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014” pod redakcją Nowakowski T., Młynczak M., Jodejko-Pietruczuk A. & Werbińska-Wojciechowska S., wydawca: CRC Press/Balkema, London 2015.
- [11] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Application of closed circuit television for highway telematics. Monograph „Telematics in the transport environment”, book series: Communications in Computer and Information Science, Volume: 329, pages: 159-165, 2012.
- [12] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Evaluation of safety of highway CCTV system's maintenance process. Monografia „Telematics – support for transport” pod redakcją Jerzego Mikulskiego, wydana jako monograficzna seria wydawnicza – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 471. Wydawca: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2014.
- [13] Siergiejczyk M., Rosiński A.: Analysis of power supply maintenance in transport telematics system. „Solid State Phenomena” vol. 210 (2014).
- [14] Siergiejczyk M.: Assessing Transport Telematic Systems in Terms of Data Services Quality. Monograph „Telematics in the transport environment”, book series: Communications in Computer and Information Science, Volume: 329, pages: 356-363, 2012.
- [15] Siergiejczyk M.: Efektywność eksploatacyjna systemów telematyki transportu. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport, Nr 67, Warszawa 2009.
- [16] Stawowy M.: Model for information quality determination of teleinformation systems of transport. „Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młynczak M., Jodejko-Pietruczuk A. & Werbińska-Wojciechowska S. The publisher: CRC Press/Balkema, 2015.

- [17] Sumila M.: Selected aspects of message transmission management in ITS systems. In: the monograph „Telematics in the transport environment”, editors: Jerzy Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 329. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2012.
- [18] Wydro K.: Telematyka - znaczenia i definicje terminu. Telekomunikacja i Techniki Informacyjne. Wyd. Instytut Łączności, Warszawa 2005.

Prof. Mirosław Siergiejczyk, PhD. Eng. - scientific fields of interest of the paper co-author concern among other issues of architecture and services provided by telecommunications networks and systems, especially from perspective of their applications in transport, reliability and operation of telecommunications networks and systems, modelling, designing and organising telecommunications systems for transport.

Adam Rosiński PhD. Eng. - scientific interests (reliability, exploitation, diagnostics, projecting) are problems connected with comprehended wide electronic systems of the safety both for stationary as well as for movable objects.

Przemysław Dziula PhD. Eng. - scientific interests of the paper co-author are: transport systems telematics, modelling of information flows within transport system and their influence on its safety, reliability and efficiency, modelling of transport systems safety and reliability reflecting crisis management issues, critical infrastructure protection and safety.