

# Uwarunkowania zastosowania systemów nadzoru i diagnostyki w systemach sterowania i telekomunikacji

## Conditions for the use of supervision and diagnostic systems in control and telecommunications systems



**Janusz Dyduch**

Prof. dr hab. inż.

Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu  
Wydział Transportu,  
Elektrotechniki i Informatyki



**Radosław Zawierucha**

Mgr

PKP Informatyka Sp. z o.o.

radoz72@gmail.com

**Streszczenie:** Artykuł dotyczy istotnych uwarunkowań stosowania systemów nadzoru i diagnostyki w systemach sterowania i telekomunikacji. We wstępie omówiono czynniki wpływające na poprawne funkcjonowanie Systemów SRKI, zwrócono uwagę także na problem zakłóceń. W dalszej części scharakteryzowano problem niezawodności i bezpieczeństwa systemów sterowania, systemy raportowania awarii, a także diagnostyki technicznej. W oparciu o temat badawczy realizowany w ramach NCBiR zaprezentowano rozwiązania nowej technologii wdrożenia na liniach kolejowych oraz specyfikację struktury systemu wspomagania. Wskazano modele badań oparte na symulacjach, systemach eksperckich, statystycznych. Opisano korzyści płynące z realizacji projektu.

**Słowa kluczowe:** Systemy nadzoru; Diagnostyka; srk; Sterowanie; Telekomunikacja

**Abstract:** The article concerns the essential conditions of the use of supervision and diagnostic systems in control and telecommunications systems. In the introduction, the factors affecting the correct functioning of the SRKI Systems were discussed, attention was also paid to the problem of interference. In the following part, the problem of reliability and safety of control systems, failure reporting systems, as well as technical diagnostics is characterized. Based on the research topic carried out as part of the National Center for Research and Development, solutions for a new technology for implementation on railway lines and a specification of the structure of the support system were presented. Research models based on simulations, expert and statistical systems were indicated. The benefits of the project were indicated.

**Keywords:** Surveillance systems; Diagnostics; rm; Control; Telecommunication

### Wstęp

Działalności człowieka wprowadzone zostały sztuczne czynniki kształtujące. Na skutek powstania niezliczonych źródeł promieniowania i zakłóceń nastąpiły poważne zmiany w środowisku elektromagnetycznym. Rozwój elektrotechniki i elektroniki spowodował wprowadzenie niezliczonych sztucznych źródeł promieniowania elektromagnetycznego niejonizującego, emitujących pola w bardzo szerokim zakresie częstotliwości. Od nowoczesnych systemów sterowania i telekomunikacji wymaga się m. in. miniaturyzacji, ograniczonego poboru energii elektrycznej i dużej niezawodności działania. Wprowadzenie tych ograniczeń skutkuje tym, że poziom

sygnałów użytecznych urządzeń wykorzystywanych w Systemach SRKił (np. czujka, moduły, itd.) może być porównywalny z poziomem zakłóceń generowanych np. przez stacjonarne i ruchome źródła zakłóceń (np. stacje: bazowe, radiowe i telewizyjne TV, linie średnich i wysokich napięć, stacje transformatorowe, urządzenia elektryczne powszechnego użytku, pojazdy trakcyjne, itd.). Dlatego takim ważnym problemem jest ciągłe diagnozowanie stanu środowiska elektromagnetycznego przy wprowadzaniu nowych urządzeń i systemów, których moc znamionowa jest duża, np. zmiana mocy stacji transformatorowej, zastosowanie silników napędowych o większej mocy w pojazdach trakcyjnych, zwiększenie mocy nadaj-

ników stacji telefonii komórkowej. Problemem zakłóceń elektromagnetycznych pojawił się we wczesnym okresie rozwoju radiofonii.

Poprawne funkcjonowanie Systemów SRKił uzależnione jest od:

1. niezawodności poszczególnych części składowych tworzących system;
2. wewnętrznej struktury niezawodnościowej;
3. przyjętych do realizacji strategii eksploatacji;
4. zakłóceń oddziałujących na procesy eksploatacji.

Systemy SRKił instalowane na rozległym obszarze kolejowym i w obiektach budowlanych są narażone na oddziaływanie zakłóceń, których źródłem

są obiekty ruchome (pojazdy trakcyjne), jak i cała elektryczna i elektroniczna infrastruktura obszaru kolejowego: zasilanie trakcyjne, elektroenergetyczne stacje transformatorowe, inne systemy sterowania ruchem kolejowym i telekomunikacji. Duży poziom zakłóceń może być przyczyną wystąpienia zaburzenia w działaniu układów cyfrowych, systemów mikroprocesorowych z których zbudowane są systemy bezpieczeństwa, sterowania i telekomunikacji.

Na obszarze kolejowym występują zakłócenia o różnych częstotliwościach i amplitudach. Trakcja elektryczna i stacje transformatorowe generują zakłócenia z zakresu małych częstotliwości, natomiast urządzenia impulsowe wykorzystywane do rozruchu pojazdów trakcyjnych generują zakłócenia bardzo szerokim widmem częstotliwości. Zagadnienie odporności na zakłócenia systemów bezpieczeństwa i sterowania, a tym samym zapewnienie bezpieczeństwa ruchu kolejowego, nabiera szczególnego znaczenia przy wprowadzeniu przez operatorów do ruchu elektrowozów o dużych mocach. Problem zakłóceń pojawił się we wczesnym okresie rozwoju radiofonii. Obecnie na obszarze kolejowym wykorzystuje się urządzenia elektroniczne zarówno analogowe jak i cyfrowe, które same podczas pracy wytwarzają niezamierzone pola elektromagnetyczne i są narażone na zewnętrzne pola wytwarzane przez inne urządzenia. Szerokie zainteresowanie niekorzystnym oddziaływaniem pól elektromagnetycznych z różnych zakresów częstotliwości na organizm ludzki i pracę urządzeń elektronicznych nastąpiło z chwilą wprowadzenia przez Unię Europejską dyrektywy dotyczącej kompatybilności elektromagnetycznej. Określenie warunków dopuszczalnych wobec oddziaływania zewnętrznych pól elektromagnetycznych na pracę urządzeń elektronicznych oraz sprzętu zawierającego układy elektroniczne zdefiniowano jako kompatybilność elektromagnetyczną.

## Sieć kolejowa, zrównoważonym środkiem transportu

Transport kolejowy jest częścią polityki zrównoważonej mobilności w strukturach całej Unii Europejskiej. Globalne i całościowe podejście do wprowadzania swobodnej konkurencji w ramach określonych norm technicznych, norm bezpieczeństwa i przede wszystkim ochrony środowiska naturalnego, zapewnia ciągle próby wdrożenia nowatorskiego podejścia w celu zwiększenia dostępności linii kolejowych i zapewnienia relatywnie krótkiego czasu realizacji usługi transportowych oraz poprawę punktualności przyjazdu w miejsce docelowe. W celu zapewnienia realizacji kolejowych usług transportowych na najwyższym poziomie i umiejętne konkurowanie z transportem drogowym koniecznym staje się poprawa ciągłej wiedzy z zakresu stanu technicznego wszystkich urządzeń systemów sterowania ruchem kolejowym.

Najnowszy raport w sprawie bezpieczeństwa przygotowany przez Urząd Transportu Kolejowego [26] za 2019 rok na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., przedstawia wykaz wskaźników odnoszących się do zdarzeń mających największy wpływ na wypadki i katastrofy kolejowe. Powyższy dokument zawiera między innymi dane o stanie bezpieczeństwa na przejazdach kolejowo-drogowych, zwracając szczególną uwagę na przejazdy w kategorii D.

Budowa komputerowych centrów zarządzania siecią kolejową (TEN) [25] z całą pewnością zwiększy zakres dostarczanych usług transportu kolejowego w odniesieniu do transportu samochodowego. Obecne zastosowanie globalnych, inteligentnych systemów zarządzania ruchem kolejowym jest realizowane przez ERTMS [13], natomiast realizowane zadania nie sprowadzają się do każdego typu kolejowego punktu eksploatacyjnego.

## Niezawodność i bezpieczeństwo systemów sterowania ruchem kolejowym

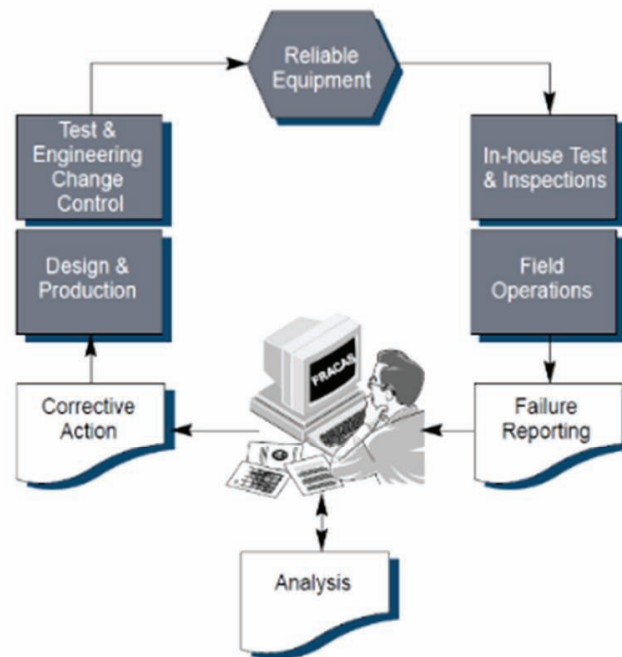
Nie ulega wątpliwości, że eksploatowane systemy sterowania ruchem kolejowym (srk), nie tylko te przeznaczone dla dużych prędkości, muszą być bezpieczne i niezawodne. Zarządzanie niezawodnością we wszelkiego rodzaju systemach technicznych zdefiniowano w serii norm PN-EN 60300 [22] od podstawowych pojęć do wytycznych stosowania procedur zarządzania niezawodnością. Natomiast wymaganiami dotyczącymi niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa (RAMS - reliability, availability, maintainability, safety) technicznych systemów kolejowych zajmują się normy PN-EN 50126, 50128, 50129 i 50159 [23]. Kolejowe dokumenty szczegółowe z zakresu RAMS odnoszą się zazwyczaj albo do RAM czyli niezawodności w jej różnych wymiarach albo do bezpieczeństwa rozumianego jako bezpieczeństwo techniczne (safety) a nie bezpieczeństwo osób i mienia (security).

Analizując niezawodność i bezpieczeństwo należy pamiętać, że cały system sterowania ruchem kolejowym definiuje się jako zbiór urządzeń, dostosowanych do struktury obszaru kolejowego, realizujących sterowanie automatyczne lub przy udziale operatorów (np. dyżurnych ruchu), które to urządzenia muszą być zbudowane zgodnie z obowiązującymi przepisami i który to podsystem obejmuje także urządzenia łączności oraz tam gdzie jest to konieczne inne urządzenia wspomagające oraz operatorów i prowadzoną przez nich dokumentację. Praktyczna definicja srk to system, który w każdych warunkach eksploatacyjnych ma zapewnić bezpieczne sterowanie ruchem kolejowym, czyli w szczególności ma nie dopuścić do zderzeń czołowych pociągów, do najechania przez pociąg na tył innego pociągu, do zderzeń pociągów na rozjazdach w tym wtargnięć pojazdów kolejowych z bocznic na tory główne,

do wykolejenia wskutek przestawienia zwrotnicy pod jadącym pociągiem, do zderzeń z pojazdami drogowymi na przejazdach kolejowo-drogowych, czy do przekroczeń prędkości i przejazdu pojazdów kolejowych poza koniec drogi, która została im udostępniona.

## Relacja pomiędzy niezawodnością i bezpieczeństwem

System sterowania ruchem kolejowym to system bezpieczeństwa aktywnego, który jako całość musi być systemem bezpiecznym. Jego bezpieczeństwo osiąga się stosując w całym okresie życia systemu dwie zasady. Zasadę fail-safe (zasadę uszkodzony-bezpieczny) i wymóg zapewnienia poziomu integralności bezpieczeństwa SIL 4. Zasadę fail-safe stosuje się w transporcie kolejowym powszechnie. Systemy i urządzenia w wyniku uszkodzenia mogą przechodzić do stanu zawodności sprawności, ale nie do stanu zawodności bezpieczeństwa. Podobnie urządzenia sterowania ruchem konstruowane są tak, aby w sytuacji awarii zamiast sygnału zielonego na sygnalizatorze świetlnym mógł zostać wyświetlony sygnał ograniczający prędkość np. pomarańczowy, czy wręcz sygnał zabraniający jazdy - sygnał STÓJ. W tworzonej specyfikacji wymagań bezpieczeństwa wyróżnia się wymagania funkcjonalne bezpieczeństwa czyli takie, w odniesieniu do których zastosowanie zasady fail-safe jest możliwe i wystarczające oraz wymagania integralności bezpieczeństwa, czyli takie, w odniesieniu do których konieczne jest przeprowadzenie szczegółowej analizy wpływu uszkodzeń losowych i uszkodzeń systematycznych na bezpieczeństwo urządzenia. Uszkodzenia losowe to uszkodzenia wynikające na przykład z wad materiałów. Uszkodzenia systematyczne to uszkodzenia wynikające z błędów ludzkich, które mogą mieć miejsce na różnych etapach życia urządzenia - na przykład błędy projektantów, wykonawców, czy personelu utrzymaniowego. W pierwszym



1. Metodologia FRACAS

przypadku definiuje się wymagania jakościowe i niezawodnościowe a w drugim różnego rodzaju wymagania proceduralne. W tym przypadku konieczne jest zastosowanie metodologii FRACAS (Failure Reporting, Analysis and Corrective Actions System. Raportowanie awarii, analiza i system działań naprawczych).

## Raportowanie awarii, analiza i system działań naprawczych

Raportowanie awarii, analiza i system działań naprawczych (FRACAS) (rys. 1) jest ścieżką sprzężenia zwrotnego w zamkniętej pętli, w której użytkownik i dostawca współpracuje w celu zbierania, rejestrowania i analizowania awarii zarówno sprzętu i oprogramowania. Użytkownik przechwytuje dane o wszystkich problemach i przekazuje dane dostawcy.

Wszystkie zdarzenia lub wyniki odbiegające od założonych wartości nominalnych, które wystąpią podczas eksploatacji i testów powinny być zgłaszane zgodnie z ustanowioną procedurą, która obejmuje zbieranie i rejestrowanie informacji dotyczących konserwacji w celach zapobiegawczych lub naprawczych oraz czas potrzebny do realizacji zadań. Dane zawarte w raportach powinny zostać

zweryfikowane i przekazywane na formularzach do odpowiedniego sprzętu lub oprogramowania.

Kolejnym procesem jest analiza, która ma za zadanie określić podstawową przyczynę niepowodzenia do zakresu, w jakim można zidentyfikować przyczynę źródłową niezgodności. Zastosowane metody w analizie przyczyn źródłowych mogą być następujące:

- Burza mózgów
- Histogram
- Analiza Pareto
- FMEA
- Analiza trendów
- Diagram drzewa błędów
- Diagram przyczynowo - skutkowy

Wyniki i wnioski są dokumentowane oraz należy podjąć działania naprawcze. Plan powinien zostać opracowany i wdrożony aby wyeliminować lub zmniejszyć liczbę powtórzeń awarii. W sytuacji wystąpienia awarii systemowych konieczne jest ponowne zaprojektowanie, prace symulacyjne i homologacja przed przekazaniem do eksploatacji. System uczy się permanentnie.

## Niezawodność systemów sterowania ruchem kolejowym

Potwierdzenie zgodności na spełnienie wymagań SIL 4, poprzez dowód bezpieczeństwa całego systemu sterowania ruchem kolejowym jest realizowany w taki sposób aby wynikające z niezawodności całego układu prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznego uszkodzenia było mniejsze od współczynnika tolerowanego zagrożenia na godzinę i na funkcję pracy układu. Dla SIL 4 wartość współczynnika określono jako mniejszą od  $10^{-8}$  ( $10E-8$ ). Oznacza to, że statystycznie uszkodzenie funkcji takie nie może występować częściej niż raz na 10 000 000 godzin ciągłej pracy. Dla spełnienia wymagań dotyczących uszkodzeń systematycznych układy takie wyposaża się w zdalne systemy diagnostyczne realizujące ciągłą kontrolę poprawności pracy układu. W przypadku części rozwiązań technicznych zdalna diagnostyka jest integralną częścią systemu.

Analizując wpływ uszkodzeń urządzeń sterowania ruchem kolejowym na eksploatację za szczególnie pomocny parametr uznać należy opóźnienia w ruchu pociągów powodowane przez uszkodzenia. Za dane wyjściowe do takiej analizy przyjęto dane zebrane dla potrzeb analizy RAMS przez ERTMS ujęte w dokumencie definiującym wymagania w zakresie niezawodności i bezpieczeństwa europejskiego systemu zarządzania ruchem kolejowym. Zgodnie z tym dokumentem uznaje się, że pociąg jest opóźniony jeżeli opóźnienie przekracza 1 minutę na całej długości trasy pociągu, przyjmuje się, że:

- o prawdopodobieństwo opóźnienia pociągu wynosi 15%
- o prawdopodobieństwo, że przyczyną opóźnienia jest usterka techniczna wynosi 40%
- o prawdopodobieństwo, że usterka techniczna jest ustereką systemu sterowania wynosi 30%
- o prawdopodobieństwo, że w ramach systemu sterowania przyczyną jest uszkodzenie Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym wynosi 15%

Dostępne dane dotyczące uszkodzeń systemów sterowania pozwalają na przyjęcie prawdopodobieństwa, że przyczyną uszkodzenia systemu sterowania:

- o jest uszkodzenie urządzeń lub systemów kontroli niezajętości wynosi 10%
- o jest brak możliwości ustawienia zwrotnicy rozjazdu we właściwym położeniu wynosi 5%
- o jest uszkodzenie układów zależnościowych (nastawnicy, blokady) wynosi 3%
- o jest obraz na sygnalizatorze świetlnym wymagający interwencyjnego ograniczenia prędkości (np. przepalenie żarówki lub interwencyjne ograniczenie prędkości wynikające z obrazu sygnałowego wyświetlonego na tarczy ostrzegawczej przejazdowej) wynosi 65%
- o jest uszkodzenie systemu bezpiecznej kontroli jazdy (np. systemu transmisji elektronicznych zezwoleń do pojazdów) wynosi 15%
- o jest inne uszkodzenie systemu sterowania 2%

Prawdopodobieństwo opóźnienia pociągu z powodu awarii na sygnalizatorze świetlnym wynosi więc około setnej części procenta  $P_o = 0.15 * 0.4 * 0.3 * 0.65 = 0,011$  na całej długości trasy pociągu z uwzględnieniem przejazdu przez wszystkie sygnalizatory świetlne na takiej trasie.

Do głównych elementów tradycyjnego systemu sygnalizacji i sterowania należą:

- Urządzenia do wykrywania pociągów
- Obwody torowe
- Liczniki osi
- Detektory masy
- Systemy bezpieczeństwa
- Sygnalizacja w kabinie
- Interlocking
- Zasady eksploatacji
- Sygnały stałe
- Sygnały mechaniczne
- Kolorowe sygnały świetlne
- Sygnalizacja tras i prędkości
- Sygnalizacja blokowa
- Scentralizowana kontrola ruchu
- Rozkład jazdy i kolejność pociągów

Najważniejsze elementy, które należy monitorować w systemach sygnalizacji i sterowania to:

- Napędy zwrotnicowe;
- Systemy sygnalizacji;
- Obwody torowe;
- Liczniki osi;
- Przejazdy kolejowo - drogowe

## System diagnostyki urządzeń i procesów technologicznych

Podstawowym problemem zagadnień niezawodnościowo-eksploatacyjnych jest wyznaczenie wartości funkcji nie-

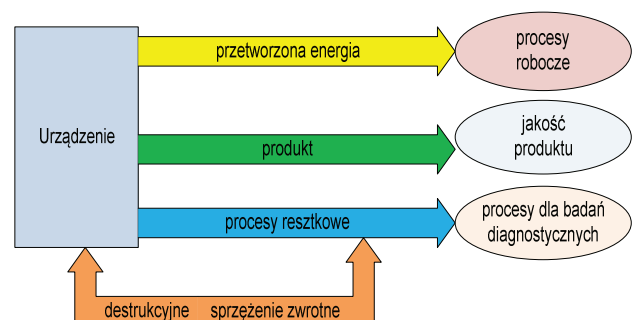
### Parametry niezawodnościowe:

- MTTF** - średni czas do uszkodzenia - dla systemów nieodnawialnych;
- MDTF** - średni dystans do uszkodzenia - dla systemów nieodnawialnych;
- MTBF** - średni czas pomiędzy uszkodzeniami - dla systemów odnawialnych;
- MDBF** - średni dystans pomiędzy uszkodzeniami - dla systemów odnawialnych.

### Ocena typu awarii oraz MTBF – niezawodność

Kategoria awarii	Typ awarii systemu	Efekt w eksploatacji	MTBF (w godz., latach lub km)
Generalna	Całkowita awaria	Eksploatacja niemożliwa	
Ważna	Awaria krytycznego elementu funkcjonalnego	Eksploatacja awaryjna 1	
Drugorzędna	Awaria niekrytycznego elementu funkcjonalnego	Eksploatacja awaryjna 2	
Pomijalna	awaria nieistotnego elementu funkcjonalnego	Normalna eksploatacja	

2. Parametry niezawodności systemu



3. Parametry wykorzystywane do oceny stanu urządzenia

zawodności  $R(t)$ . Najprostszym sposobem jest analiza przebiegu procesu eksploatacji urządzenia lub procesu technologicznego i wyszczególnienie w nim przypadków występowania awarii, ich częstotliwości i przyczyn. Na tej podstawie możliwe jest określenie odstawowych parametrów niezawodnościowych, do których zalicza się: prawdopodobieństwo działania, intensywność uszkodzeń, oczekiwany średni czas pomiędzy uszkodzeniami, średni czas napraw, itp. Parametry niezawodności systemu w zależności od podziału na systemy odnawialne i nieodnawialne oraz ocenę typu awarii pokazuje rys. 2.

W przypadku złożonych systemów technicznych problem niezawodności jest uwarunkowany wieloma czynnikami, których znaczenia i wpływu na bieżące funkcjonowanie środków technicznych nie jesteśmy w stanie do końca poznać, ani oszacować. Wynika to z braku możliwości prowadzenia dostatecznie szczegółowych analiz i modelowania tak procesu produkcyjnego, jak i zjawisk niezawodności. Dodatkowym problemem jest fakt, że dynamicznie prowadzone procesy są procesami stochastycznymi, które nie do końca pozwalają się modelować czy przewidywać i to niezależnie od przestrzegania zasad polityki niezawodności. Niezależnie więc od poziomu świadomości technicznej, ważnym składnikiem procesu utrzymania są systemy diagnostyczne urządzeń i systemów technicznych. Wykorzystywane są standardowo układy pomiaru przeciążeń napędów i dopuszczalnych temperatur pracy urządzeń i ich układów sterowania. Wyniki prowadzonej diagnostyki eksploatacyjnej pozwalają na wypracowanie informacji związanych z bieżącą obsługą urządzeń dla:

- Operatorów - informacje dotyczące stopnia sprawności maszyny, przewidywanych okresów pracy bezawaryjne,
- Służb remontowych, wskazujące miejsce awarii i jej przyczynę.

Dzięki takiemu podejściu możliwe jest realizowanie w sposób ciągły zadań

monitorowania stanów urządzeń i ich diagnostyki, co w kontekście przyjętego modelu niezawodnościowego, opisującego analizowany proces techniczny, pozwala na bezpośrednią ocenę stanu prowadzonego procesu, pozwalającymi na wykrycie i rozpoznanie stanów awaryjnych urządzeń, ustalenie ich miejsca i przyczyn. Wykrycie stanów oraz zjawisk prowadzących do powstania awarii sygnalizowane jest w tych systemach odpowiednim alarmem. Sygnał wykrycia awarii jest ponadto dostarczany dla operatora lub dyspozytora systemu. Działania takie pozwalają na ograniczenie skutków ewentualnych awarii lub umożliwiają ich uniknięcie.

Wiedza o sygnałach i symptomach świadczących o stanie diagnozowanego obiektu obejmuje zarówno sygnały nieodłącznie związane z pracą obiektu, jak również sygnały np. generowane w sztucznie wymuszonym stanie. Niezbędna staje się wtedy znajomość metod generacji sygnałów, ich przetwarzania, jak i tworzenia diagnostycznie zorientowanych symptomów stanu obiektu. Zastosowanie symptomów ma szczególne znaczenie w diagnostyce technicznej. Obserwacja procesów resztkowych towarzyszących funkcjonowaniu obiektów może zostać wykorzystane wg podstawowego modelu istnienia jednoznacznej zależności między stanem technicznym a mocą procesów resztkowych, takich jak: drgania, hałas, promieniowanie cieplne, itp. Jest ona na ogół niemierzalna, stąd o stanie technicznym wnioskuje się pośrednio, na podstawie mierzalnych symptomów, powiązanych z mocą procesów resztkowych.

## Diagnostyka techniczna urządzeń

Aby urządzenia znajdowały się w stanie stałej zdadności do użycia, należy poddawać je ciągłej obserwacji. Należy obserwować i lokalizować ewentualne uszkodzenia lub zużywanie się podzespołów urządzeń, a następnie usuwać zauważone usterki. W celu odpowiedniego zaplanowania i zreali-

zowania procesów obsługi urządzenia niezbędne jest uzyskanie odpowiednich o nim informacji. Informacje te powinny być wiarygodne i przedstawiać aktualny stan urządzeń oraz przedstawiać prognozy o przyszłych ich stanach. Uzyskanie takich informacji odbywa się za pomocą metod diagnostyki technicznej.

Przeprowadzenie diagnozowania polega na ocenie stanu urządzenia w sposób pośredni, przez porównanie zmierzonych sygnałów diagnostycznych z ich wartościami nominalnymi. Wytwarzane sygnały diagnostyczne nazywamy symptomami, dzięki którym można zobaczyć zaistniałe uszkodzenie. Diagnostyka opiera się na symptomach umożliwiających ocenę stanu technicznego diagnozowanego urządzenia.

Dokonywanie oceny stanu urządzenia może odbywać się przez:

- monitorowanie sposobem ciągłym lub okresowym parametrów procesów roboczych,
- ocenę jakościową wytworzonego produktu lub efektu działania,
- obserwowanie parametrów w procesach resztkowych.

Podstawowymi zadaniami realizowanej diagnostyki technicznej jest:

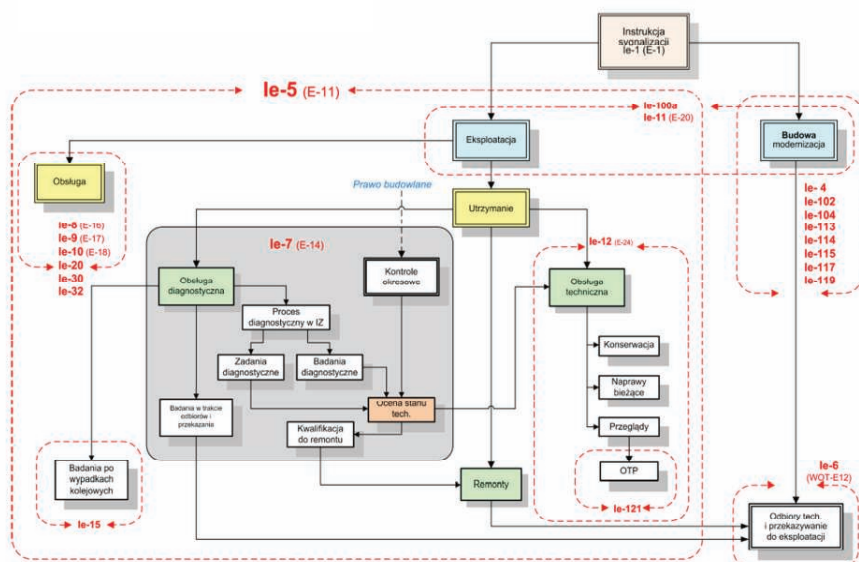
- badanie, identyfikowanie i klasyfikacja uszkodzeń, jakie się rozwijają wraz z ich symptomami,
- opracowywanie metod potrzebnych do badania i selekcjonowania symptomów diagnostycznych,
- wystawianie decyzji diagnostycznej o stanie diagnozowanego urządzenia oraz ewentualnych zaleceń profilaktycznych jakie mają być zastosowane.

Do uzyskania diagnozy konieczne jest przeprowadzenie czynności, które umożliwią rozpoznanie stanu aktualnego urządzenia oraz ocena jego stanów w przeszłości i przyszłości. W metodologii badań diagnostycznych wyróżniamy następujące etapy:

- kontrola stanu urządzenia,
- ocena tego stanu i jego konsekwencji,

- Instrukcji konserwacji i przeglądów urządzeń srk – Instrukcja le-12 [14],

Sama diagnostyka urządzeń sterowania ruchem kolejowym oparta jest na wewnętrznej instrukcji le-7 [17], wydanej przez PKP PLK SA, która opisuje proces diagnostyczny w następujących etapach: planowania, diagnozowania, analizy technicznej, formułowania diagnozy, wnioskowania dla dalszego użytkowania urządzeń srk oraz dokumentowania tego procesu (m.in. wyników badań i pomiarów) co obrazuje rys. 4.



4. Zakres merytoryczny diagnostyki urządzeń srk z Instrukcji le-7

## Diagnostyka zdalna urządzeń srk

Wraz z rozwojem technologii informatycznych i telekomunikacyjnych pojawiły się możliwości ciągłego monitorowania pracy urządzeń srk w czasie rzeczywistym z pewnych odległości (tzw. zdalnej diagnostyki). Zdalną diagnostykę z powodzeniem wykorzystuje się w Centrum Utrzymania i Diagnostyki (CUID), które mieści się w pomieszczeniu Lokalnego Centrum Sterowania (LCS). Z punktu widzenia rozwiązania informatycznego CUID składa się ze sprzętu i oprogramowania, do gromadzenia danych diagnostycznych z dowolnego systemu srk i przechowywania ich w lokalnych bazach danych. Do podstawowych zadań jakie spełnia CUID należy: ciągłe monitorowanie, zbieranie i prezentacja informacji diagnostycznych o stanie urządzeń i systemów sterowania ruchem znajdujących się w obszarze oddziaływania LCS.

Ciekawym rozwiązaniem LCS-u jest nowoczesne rozwiązanie zastosowane w Drzewicy, na odcinku Tomaszów Mazowiecki – Radom. Zakłady Automatyki KOMBUD z Radomia zbudowały tu rodzinę nowoczesnych systemów srk o nazwie MOR. Podstawowym użytym systemem srk jest system zdalnego sterowania MOR-2, który pozwala na rozszerzony obraz stanów operacyjnych, automatyczne planowanie ruchu kolejowego, kontrolę dyspozytorską, analizę biegu

- zlokalizowanie i odseparowanie powstałych uszkodzeń,
- prognozowanie przyszłych stanów urządzenia.

Po zrealizowaniu wyżej wymienionych etapów możliwe jest przeprowadzenie następujących procesów:

- diagnozowania, czyli określenia aktualnego stanu urządzenia,
- genezowania, czyli odtworzenie historii pracy urządzenia,
- prognozowania, czyli określenie możliwych stanów urządzenia w przyszłości.

## Diagnostyka techniczna urządzeń sterowania ruchem kolejowym

Podstawowym celem diagnostycznym w przypadku urządzeń sterowania ruchem kolejowym (srk) niezmiennie jest zapewnienie bezpieczeństwa oraz sprawności ruchu pociągów na szlaku kolejowym.

Pomijając technikę komputerową proces diagnostyczny przeprowadza-

ny jest głównie w sposób manualny przy użyciu odpowiednich przyrządów pomiarowych. Diagnostyka taka nazywana jest działalnością prewencyjną usterkowości. Urządzenia srk poddaje się badaniom diagnostycznym pozwalającym określić stopień ich zużycia, aby podjąć niezbędne działania naprawcze oraz określić warunki techniczne dla dalszej pracy urządzeń wraz z oceną poziomu ich utrzymania.

Ustalając kryteria badań diagnostycznych urządzeń sterowania ruchem kolejowym należy brać pod uwagę wymagania oraz wskazania techniczne, które zawarte są m.in. w:

- Dokumentacji Techniczno-Ruchowej urządzeń srk (DTR),
- Wytycznych technicznych budowy urządzeń sterowania ruchem kolejowym – Instrukcja le-4 [15],
- Wytycznych odbioru technicznego oraz przekazywania do eksploatacji urządzeń sterowania ruchem kolejowym – Instrukcja le-6 [16],



5. Panel operatorski w CUID w pomieszczeniu LCS, Mińsk Mazowiecki



6. Wyposażenie LCS Drzewica w nowoczesne rozwiązania prowadzenia ruchu kolejowego

pociągów z automatyczną rejestracją, elektroniczne zapowiadania pociągów i komunikację między dyżurnymi ruchu. Wszystkie elementy zamontowane w LCS Drzewica wyposażono w rozbudowane mechanizmy monitorowania pracy urządzeń, autonomicznego wykrywania usterek i zdalnej diagnostyki.

Firma Bombardier Transportation Polska wdrożyła do eksploatacji System Diagnostyki Zdalnej typu SDZ-2. System ten wykonany jest w technice komputerowej i jest przeznaczony do zbierania informacji diagnostycznych od wielu urządzeń srk jednocześnie. Informacje, które są pozyskiwane z diagnozowanych liniowych urządzeń srk są przetwarzane i wyświetlane w przejrzystej formie na monitorze panela diagnostycznego w CUiD. System SDZ-2, w zależności od obszaru i od ilości diagnozowanych obiektów, opiera się na pracy serwerów umieszczonych na jednym lub wielu komputerach.

Dzięki temu, że system SDZ-2 posiada otwartą architekturę to może jednocześnie monitorować wiele liniowych systemów srk o różnym przeznaczeniu, a bez większych problemów monitoruje systemy wyprodukowane przez Bombardier Transportation Polska, np. system samoczynnej blokady liniowej SHL 12, system samoczynnej sygnalizacji przejazdowej SPA-4 lub SPA-5, czy też system stwierdzania niezajętości odcinków torowych SOL-21.

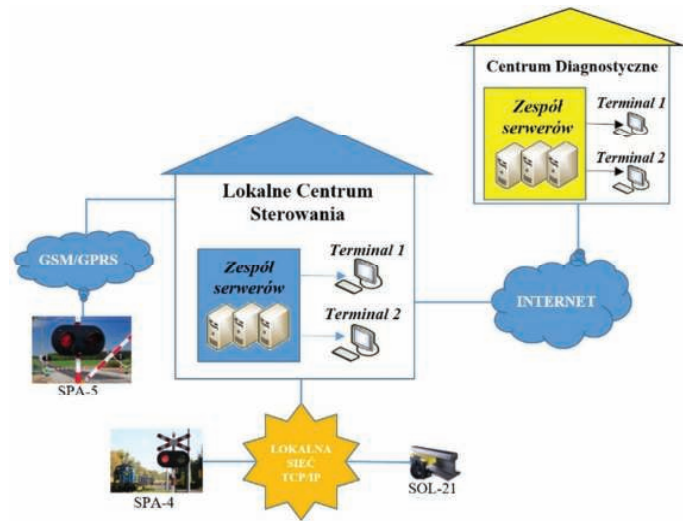
## Opis nowej technologii, gotowej do wdrożenia na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Temat badawczy realizowany w ramach NCBiR przez zespół badawczy Uniwersytetu Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu pod tytułem „System gromadzenia danych eksploatacyjnych i analizy niezawodności i bezpieczeństwa układów automatyki kolejowej”, otrzymał w 2021 roku Nagrodę Ministra Edukacji i Nauki.

## Opis rozwiązania

Realizowany przez konsorcjum projekt dotyczył fundamentalnego problemu związanego z bezpieczeństwem na kolei i obejmował problematykę badań stosowanych w zakresie niezawodności urządzeń sterowania ruchem kolejowym (srk). Badania miały na celu doskonalenie metod podejmowania decyzji eksploatacyjnych będących istotnym czynnikiem osiągnięcia wzrostu bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Działania te objęły problematykę eksploatacji urządzeń i systemów srk w zakresie metod oceny i klasyfikacji stanu technicznego, modelowania procesów realizowanych w trakcie eksploatacji oraz algorytmów podejmowania decyzji w procesie obsługi.

Informacja o stanie urządzeń technicznych i zdarzeniach zachodzących



7. Przykładowa konfiguracja Systemu Diagnostyki Zdalnej typu SDZ-2

w systemie eksploatacji i przebiegu realizacji poszczególnych procesów jest kluczowa przy podejmowaniu efektywnych decyzji eksploatacyjnych. Identyfikacja procesu zarządzania eksploatacją i obsługiwania systemów srk w PKP PLK, analiza struktury systemu obsługiwania, dokumentów wewnętrznych regulujących proces obsługiwania urządzeń oraz stosowanej strategii eksploatacji pozwoliły na sformułowanie i potwierdziły zasadność podjęcia próby rozwiązania problemów badawczych takich jak:

- opracowanie metody efektywnego wykorzystania wyników badań diagnostycznych,
- opracowanie metody rozwiązywania problemów decyzyjnych w procesie eksploatacji poprzez zaproponowanie procedur wspomagających podejmowanie decyzji.

Rozważenia wymagało także szeregu nowych zagadnień badawczych obejmujących:

- analizę procesów realizowanych w systemie eksploatacji, w tym określenie rozkładów prawdopodobieństw np. dla czasów poprawnej pracy,
- modelowanie działań i procesów realizowanych w systemie eksploatacji z wykorzystaniem adekwatnych do tych celów metod,
- opracowanie modelu procesu eksploatacji urządzeń srk jako sekwencji zdarzeń i działań powo-

dujących zmianę ich stanu technicznego.

Zdiagnozowało potrzeby PKP PLK SA, przez realizacji celów:

- gromadzeniu pozyskiwanych danych eksploatacyjnych i ich analizie z wykorzystaniem narzędzi informatycznych,
- weryfikacji przyjętych złożań i rozwiązań dla realizacji wspomagania decyzyjnego zarządzania procesem eksploatacji systemów srk w obszarze podejmowania decyzji dotyczących fizycznej realizacji wybranych procesów i działań, a w szczególności racjonalnego użytkowania urządzeń srk, podtrzymywania i odtwarzania stanu zdadności, materiałów, części zamiennych, diagnozowania stanu urządzeń oraz badania charakteru zachodzących procesów destrukcyjnych, modernizacji urządzeń, wymiany lub ewentualnej likwidacji,
- przygotowaniu i opracowaniu założeń wdrożeniowych wprowadzenia u zarządcy infrastruktury PKP PLK, Systemu Analizy Danych Eksploatacyjnych w automatyce Kolejowej (SADEK) jako jednolitej platformy programowej dla potrzeb utrzymaniowych obejmującej status urządzeń i podsystemów srk z odcinków lub węzłów sieci kolejowej.

Prace badawcze, założenia i rozwiązania projektowe dotyczyły systemów srk eksploatowanych w ramach infrastruktury kolejowej PKP PLK, tj.:

- systemów zabezpieczenia ruchu na przejazdach kolejowo-drogowych,
- systemów zależnościowych,
- urządzeń stacyjnych,
- blokad liniowych,
- urządzeń oddziaływania tor-pojazdu,
- systemów zdalnego sterowania urządzeniami warstwy podstawowej na odcinku linii.

Projekt nowej technologii „gromadze-

nia danych eksploatacyjnych i analizie niezawodności i bezpieczeństwa układów automatyki kolejowej” realizowany w 8 etapach w zakres których wchodziło:

Przygotowanie wyposażenia, bazy sprzętowej i narzędzi badawczych. Połączone zostały następujące systemy i urządzenia srk:

- Komputerowy system urządzeń stacyjnych typu EbiLock 950 ze sterownikami obiektowymi STC,
- Stanowisko dyżurnego ruchu z komputerowym systemem EbiScreen 2,
- Komputerowa dwukierunkowa blokada liniowa typu SHL-12,
- Komputerowa samoczynna sygnalizacja przejazdowa typu SPA-5,
- Licznikowy system stwierdzenia niezajętości odcinków typu SOL-21,
- Napęd zwrotnicowy typu EAA-5,
- Sygnalizator 5-komorowy typu EHA-22,
- Sygnalizator drogowy typu EHZ-7,
- Sygnalizator ostrzegawczy maszynisty typu EHZ-5.

Przeprowadzono następujące działania:

- I. Budowę sieci światłowodowej w budynku Wydziału Transportu i Elektrotechniki, zabezpieczającej warunki pełnej integracji laborato-

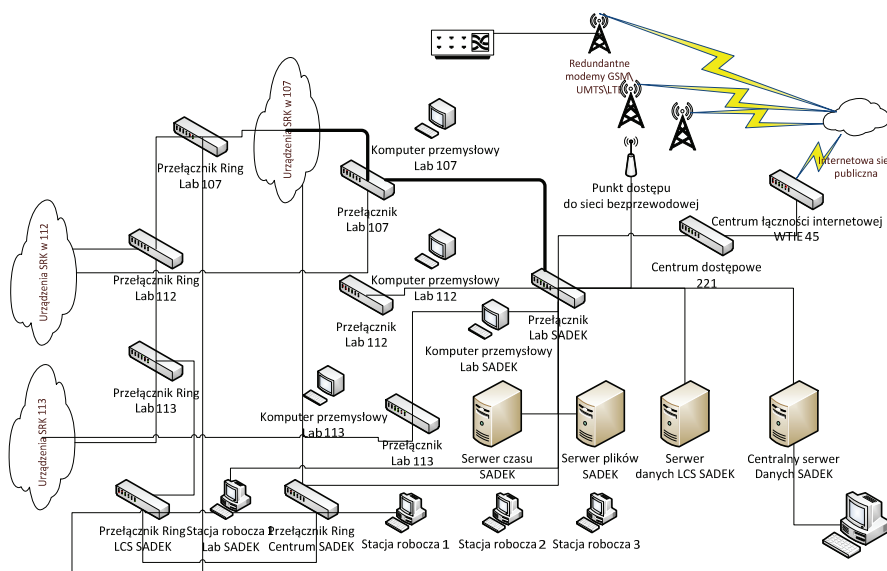
riów wykorzystywanych w projekcie oraz podłączenie do sieci MAN i testowanie połączeń w ramach realizowanych w zadaniu prototypów i protokołów transmisji.

- II. Opracowanie projektu prototypów urządzeń do zbierania danych z interfejsów cyfrowych i przesyłania telegramów w sieci ETHERNET. Metody zapewnienia zachowania bezpieczeństwa w diagnozowanych podsystemach automatyki kolejowej.

- III. Analiza protokołów bezpiecznej transmisji (szyfrowania) w systemach otwartych.

Odczytywane dane diagnostyczne pochodzą z następujących źródeł:

- a) urządzeń srk zainstalowanych w laboratorium Scheidt & Bachmann Polska Sp. z o. o. powstałego w trakcie realizacji projektu jako urządzenia SRK113 lub z urządzeń srk pochodzących z laboratorium firmy Bombardier Transportation oznaczonych jako urządzenia SRK w 112, które powstało przed realizacją tego projektu. Rejestrowane w ten sposób dane mają charakter lokalny – pochodzą z systemów zainstalowanych w laboratoriach Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu,
- b) drugim źródłem danych diagnostycznych są rejestrowane na bie-



8. Ogólna struktura sieci komputerowej i urządzeń srk w laboratoriach WTE połączonych dla potrzeb badawczych i wypracowania założeń tworzonego Systemu Analizy Danych Eksploatacyjnych w automatyce Kolejowej SADEK



żąc dane pochodzące z urządzeń srk znajdujących się na rzeczywistej linii kolejowej i pochodzących np. z Lokalnych Centrów Sterowania (LCS). Przesyłanie tych danych realizowane jest w oparciu o internetową sieć publiczną z wykorzystaniem dedykowanych do tego celu programów na przykład w postaci automatycznie generowanych e-maili zawierających dane diagnostyczne, bądź też w oparciu o technologie bezprzewodowe takie jak modemy GSM, UMTS oraz LTE,

- c) trzecim źródłem danych są informacje o uszkodzeniach i naprawach poszczególnych urządzeń srk znajdujących się na linii kolejowej rejestrowanych przez personel serwisujący powyższe urządzenia. Informacje te były do tej pory zapisywane w formie papierowej. Informacje te są gromadzone w formie elektronicznej, co pozwoli na znaczne zautomatyzowanie procesu pozyskiwania tego typu danych,
- d) czwarty rodzaj danych stanowią dane generowane przez program pozwalający na symulację uszkodzeń. Uszkodzenia są generowane na podstawie pozyskanych rozkładów uszkodzeń uzyskanych z danych rzeczywistych.

## Specyfikacja struktury systemu wspomagania eksploatacji

Wykonano analizę struktury systemów sterowania ruchem kolejowym w aspekcie określenia wymagań dotyczących złożoności systemów (liczebność urządzeń w sieci kolejowej) oraz struktury i zakresu rejestrowanych danych eksploatacyjnych. Określono specyfikację struktury systemu wspomagania eksploatacji urządzeń automatyki kolejowej. Opracowano wymagania dotyczące złożoności systemu eksploatacyjnego urządzeń automatyki kolejowej.

Założenia dla struktury funkcjonalnej dla systemu SADEK przedstawiono na rys. 9.

Dane o stanie urządzeń srk są wprowadzone do bazy zdarzeń na trzy sposoby:

- Import XLS – w systemie zaimplementowano serwer poczty i klienta do automatycznego importu plików i konwersji do formatu bazy danych,
- Internet – elektroniczna książka E 1758 z jej wszystkimi funkcjami,
- Automatycznie – z rzeczywistych urządzeń poprzez interfejsy diagnostyczne,

Informacja z bazy zdarzeń jest cyklicznie pobierana przez program nadzorujący i po wstępnej weryfikacji i

przetworzeniu przesyłana do bazy statystycznej. Informacje w bazie statystycznej są przetwarzane z wykorzystaniem Pakietu R. Opracowywane są informacje o rozkładach statystycznych i umieszczane w odpowiednich polach bazy. Zaimplementowany system ekspertowy, bazując zarówno na danych pierwotnych jak i statystykach przewiduje przyszły stan urządzeń. Służby eksploatacyjne mogą uzyskać zdalny dostęp do statystyk i wniosków z systemu ekspertowego.

## Modele do badań niezawodnościowych

Realizacja zadania nastąpiła poprzez specyfikacje:

- modeli niezawodnościowych dla systemów automatyki przejazdowej, urządzeń stacyjnych, urządzeń blokady liniowej,
- modeli eksploatacyjnych systemów automatyki kolejowej z uwzględnieniem elementów naprawialnych i nienaprawialnych, w szczególności specyfikacje badań niezawodności systemów naprawialnych i nienaprawialnych oraz specyfikacje zbioru stanów eksploatacyjnych i zakresu badań niezawodności w odniesieniu do systemu srk.

Ponadto:

- sprecyzowano zbiór parametrów niezawodności w badaniach elementów odnawialnych o skończonym czasie naprawy przydatnych dla systemów automatyki kolejowej,
- opracowano metodę oceny poprawności funkcjonowania systemów sterowania ruchem kolejowym z uwzględnieniem parametrów eksploatacyjno-niezawodnościowych na potrzeby matematycznego modelu niezawodności.

Realizacja tej części zadania objęła wykonanie analiz:

- funkcjonalna rzeczywistych urządzeń srk objętych strefą oddziaływania Lokalnego Centrum Stero-



9. Struktura funkcjonalna systemu SADEK

- wania,
- specyfikacja funkcji Lokalnego Centrum Sterowania w prowadzeniu ruchu pociągów,
- charakterystyka techniczna systemów kierowania i sterowania ruchem pociągów,
- analiza wyposażenia w systemy srk i prowadzenia ruchu kolejowego w wybranym istniejącym Lokalnym Centrum Sterowania,
- analiza struktur niezawodnościowych systemów automatyki kolejowej,
- analiza struktur niezawodnościowych systemów technicznych z możliwością adaptacji dla systemów automatyki kolejowej.

Na podstawie powyższych specyfikacji zostały opracowane modele symulacyjne systemów sterowania ruchem kolejowym przeznaczone do badań niezawodnościowych.

## Stan techniczny badanych urządzeń systemów srk

Określono bieżący stan techniczny badanych urządzeń srk na podstawie zbioru charakterystycznych dla nich cech. Założono, że większość rodzajów uszkodzeń urządzeń generuje pewne skojarzone z nimi cechy (odpowiadające pewnym mierzalnym wielkościom fizycznym), na podstawie których możliwie jest określenie rodzaju uszkodzenia bądź też jego braku. Stan każdego urządzenia opisany jest przez nadmiarową liczbę cech, których część może nie odzwierciedlać rzeczywistego stanu, wobec czego konieczne jest wyselekcjonowanie reprezentatywnej liczby cech oraz określenie ich przebiegu i zakresu. Do wyodrębnienia reprezentatywnych cech wykorzystano metodę bazującą na opracowanym modelu niezawodnościowym symulacyjnym dla poszczególnych urządzeń srk. Przedstawiono również metodę pozwalającą na wyodrębnienie cech w oparciu o dane pochodzące z rzeczywistych urządzeń srk występujących na szlaku kolejowym. Wykorzystuje ona algorytmy genetyczne oraz

klasyfikator statystyczny, a konkretnie jego implementację w postaci klasyfikatora SVM (Support Vector Machine).

## Projekt bazy danych i gromadzenie danych eksploatacyjnych

Wykonano projekt, instalacji i konfiguracji systemów serwerowych oraz bazodanowych przeznaczonych do gromadzenia danych eksploatacyjnych. Dokonano wyboru technologii opartej o metodykę firmy Microsoft SQL 2012 pracujący pod nadzorem systemu operacyjnego Microsoft Windows Server 2012R2. Wykorzystano środowisko wirtualne oparte na technologii VMWare.

Wykorzystując wyniki uzyskane w poprzednich etapach, opracowano strukturę tabel bazodanowych na potrzeby gromadzenia danych eksploatacyjnych poszczególnych systemów srk. Dodatkowo utworzono również bazę pozwalającą na przechowywanie danych pochodzących z opracowanej, jako podsystem w SADEK, wersji elektronicznej książki EP1758. Opracowano program do konwersji danych przechowywanych w wersji elektronicznej (w formacie Excel) do formatu bazy danych (SADEK).

Zaplanowane działania realizacyjne wykonane zostały w następujących krokach i objęty:

- I. Projektowanie bazy danych, instalację i konfigurację systemów serwerowych opartych na środowisku Microsoft
- II. Instalację serwera baz danych oraz niezbędnych elementów
- III. Konfigurację środowiska bazodanowego w systemie zarządzania Microsoft SQL Server
- IV. Opracowanie koncepcji struktury tabel dla poszczególnych systemów srk.
- V. Wykonanie programów do importu danych

Rejestracja i analiza danych eksploatacyjnych została zrealizowana poprzez pozyskanie danych eksploatacyjnych. Z dostępnych danych wyselekcjonowano te, które były przydatne do

badań. Opracowany i uruchomiony został program współpracujący z programem do automatycznej konwersji danych, pozwalający na automatyczne przesyłanie danych z książki elektronicznej EP1758 i ich automatyczny zapis w dedykowanej bazie danych. Następnie przeprowadzono testowanie programu do automatycznego przesyłania danych oraz współpracującego z nim programu automatycznej konwersji danych.

## Modelowanie i symulacja

Przeprowadzono analizy statystycznych danych eksploatacyjnych. Określono dla każdego z dostępnych podsystemów parametrów odpowiadających im rozkładów gęstości prawdopodobieństwa dla czasów poprawnej pracy oraz czasów naprawy. Do tego celu został napisany program w pakiecie R. Realizuje on następujące zadania:

- łączy się z dedykowaną bazą danych celem pozyskania danych eksploatacyjnych przyporządkowanych do poszczególnych podsystemów,
- na podstawie danych eksploatacyjnych określa w oparciu o metodę największej wiarygodności (ang. Maximum Likelihood - ML) parametry rozkładów dla każdego z podsystemów,
- przeprowadza test zgodności dla parametrów rozkładów uzyskanych przy pomocy metody największej wiarygodności z założonymi rodzajami rozkładów; wykorzystuje do tego dwie metody: Kołmogorowa-Smirnowa oraz Anderson-Darlinga.

## Badania statystyczne, baza reguł wnioskowania

Utworzono bazy reguł wnioskowania na potrzeby systemu ekspertowego. Do opracowania reguł użyto dane wykorzystywane do weryfikacji funkcjonalnej działania wybranego systemu srk dostarczone przez jednego z producentów. W ten sposób powstał

system ekspercki pozwalający na zautomatyzowanie procesu weryfikacji funkcjonalnej wyżej wymienionego systemu srk. Do jego realizacji wykorzystano uprzednio zdefiniowane reguły wnioskowania. Zweryfikowano również prawidłowe działanie tego systemu wykorzystując do tego dane testowe.

## System ekspercki

W ramach założeń projektowych dla systemu wspomagającego eksploatację urządzeń srk wykonano elektroniczną wersję książki E 1758 i zaproponowano ścieżkę etapowego wprowadzenia tej wersji w miejsce dokumentu E 1758 prowadzonego aktualnie w wersji papierowej.

Pozwoli to na:

- usystematyzowanie i skodyfikowanie zapisów rejestracji zakłóceń w prowadzeniu ruchu kolejowego,
- utworzenie dla personelu zarządzającego tym ruchem kanału dostępu "na odległość" do zapisów rejestrujących istotne wydarzenia w prowadzeniu ruchu kolejowego,
- uszczelnienie procedur dostępu do obsługi, obsługi technicznej, nadzoru i kontroli na posterunkach ruchu,
- zautomatyzowanie procesów analiz usterkowości, punktualności kursowania pociągów i klasyfikowania opóźnień,
- dostarczenie na posterunki ruchu narzędzia upraszczającego procesy rejestracyjne zachowań obsługowych personelu, stanu działania urządzeń oraz automatycznego "przenoszenia" zapisów do dokumentacji powiązanej,
- dostarczenie dla personelu nadzoru narzędzia do analiz charakteryzujących działanie urządzeń srk i prowadzenie ruchu kolejowego.

Pozwoli ponadto realizować:

- Syntetyczny opis lokalizacji posterunku ruchu jego wyposażenia w urządzeniu sterowania ruchem ko-

- lejewym i obszaru oddziaływania,
- Rejestr personelu utrzymania upoważnionego do prowadzenia określonych zabiegów na urządzeniach srk na danym posterunku,
- Rejestr personelu upoważnionego do prowadzenia robot przy elementach rozjazdów współpracujących z urządzeniami srk,
- Rejestrowanie:
  - o przeszkód w działaniu i uszkodzeń urządzeń sterowania ruchem kolejowym,
  - o przypadków prowadzenia ruchu pociągów na sygnały zastępcze i rozkazy pisemne,
  - o wprowadzonych i odwoływanych obostrzeń w prowadzeniu ruchu,
  - o użycia poleceń specjalnych obsługi urządzeń sterowania ruchem kolejowym,
  - o dostępu do zamykanych i plombowanych urządzeń sterowania ruchem kolejowym,
  - o prac usuwania zakłóceń w pracy urządzeń sterowania ruchem kolejowym,
  - o przyczyn występowania zakłóceń w pracy urządzeń sterowania ruchem kolejowym,
  - o informacji o wykonywanych pracach utrzymaniowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym,
  - o informacji o wprowadzonych zmianach w konfiguracji i obsłudze urządzeń sterowania ruchem kolejowym,
  - o informacji o wykonywanych sprawdzaniach urządzeń sterowania ruchem kolejowym.

Udostępniono następujące podstawowe funkcjonalności projektowanego systemu rejestracji danych:

- Opis lokalizacji posterunku ruchu i jego wyposażenia w urządzeniu srk,
- Rejestrowanie upoważnionego personelu utrzymania,
- Rejestrowanie upoważnionego personelu do prowadzenia robót w rozjazdach,
- Rejestrowanie urządzeń srk na posterunku,

- Rejestrowanie zakłóceń w pracy urządzeń srk,
- Rejestrowanie zabiegów utrzymania urządzeń srk.

## Sposób wdrożenia projektu

Pełne wykorzystanie systemu SADEK umożliwi integrację z systemami zewnętrznymi, do których należą między innymi:

- SWDR – System Wspomagania Dyżurnego Ruchu,
- SEPE – System Ewidencji Pracy Eksploatacyjnej,
- Opcjonalnie SMUE – System Monitorowania Urządzeń Elektroenergetycznych,
- Inne, które mogą być wykonane, takie jak:
  - o D831 (dziennik oględzin rozjazdów),
  - o System informacji geograficznej GIS (ang. geographic information system) z lokalizacją na mapie:
    - Układu torowego, urządzeń srk oraz miejsc niebezpiecznych,
    - Obiektów kubaturowych zawierających urządzenia takie jak nastawnie, szafy, kontenery.

Integracja powinna być zrealizowana przy użyciu serwisów sieciowych (WEB serwisów). Integracja z systemami zewnętrznymi jest wymaganiem rozwojowym. Wymagać to będzie użycia dodatkowego serwera integracyjnego, który będzie mógł obsługiwać różne aplikacje pracujące w odmiennych środowiskach programowych i systemowych.

## Wpływ projektu na poprawę bezpieczeństwa

Zasadniczym czynnikiem wzrostu bezpieczeństwa ruchu kolejowego jest stosowanie odpowiednich metod eksploatacyjnych koniecznych do utrzymania urządzeń srk w stanie zdolności oraz doskonalenie metod podejmowania decyzji eksploatacyjnych (niezawodnościowo-utrzymanio- wych) systemów sterowania ruchem kolejowym dotyczących planowania

obsługi tych systemów i metod postępowania w sytuacjach awaryjnych. Wsparcie procesu decyzyjnego i udostępnienie narzędzi informatycznych wszystkim jednostkom odpowiedzialnym w Systemie Zarządzania Bezpieczeństwem PKP PLK – Procedura SMS-PW-01 – wyciąg dotyczący OTP.

## Ocena efektywności rozwiązań systemowych

Technicznymi korzyściami realizacji projektu są:

- wzrost bezpieczeństwa eksploatowanych systemów srk,
- uzyskanie jednorodnie usystematyzowanych informacji o przebiegu procesu ruchu kolejowego z terenu całej sieci kolejowej,
- umożliwienie „zdalnej” kontroli działania i utrzymania urządzeń srk oraz postępowania personelu obsługi i utrzymania,
- udostępnienie zebranych rzeczowych danych eksploatacyjnych o urządzeniach sterowania ruchem kolejowym na posterunku ruchu dla systemu SADEK.

Biznesowymi korzyściami realizacji projektu są:

- czas dostępu do informacji z posterunków ruchu,
- oraz tworzy możliwość:
  - o szybszej reakcji z poziomu zarządczego na występujące stany zagrożenia,
  - o budowania alternatywnych rozwiązań dla ruchu kolejowego w przypadku występujących zakłóceń,
  - o efektywniejszego wykorzystanie istniejących zasobów technicznych i informacyjnych w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Dyduch J. inni: "Innowacyjne systemy sterowania ruchem" Monografia 147,WPR Radom,2010
- [2] Dyduch J. Paś J. Rosiński A.: „Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych”

WPR Radom,2011

- [3] Dyduch J. Pawlik M.: "Systemy automatycznej kontroli jazdy pociągu" Wyd.II,WPR Radom,2011
- [4] Dyduch J., Kornaszewski M.: Systemy sterowania ruchem kolejowym. Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 2003
- [5] Dyduch J., Moczarski J.: "Podstawy eksploatacji systemów SRK" Wyd. Pol. Radomskiej 2008.II wydanie
- [6] Dyduch J., Pawlik M.: Systemy automatycznej kontroli jazdy pociągu. Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 2002
- [7] Dyduch J., Rosiński A.: Proces eksploatacji systemów nadzoru. Prace naukowe „Transport” nr 1(17) Politechnika Radomska, Radom 2003
- [8] Dyduch J.: Decision process In the exploitation of the railway traffic control systems. Archives of Transport v.13, Warszawa 2001
- [9] Dyduch J.: Efektywność systemów sterowania ruchem. Tom II, KBM PAN, PWN Warszawa 1990
- [10] Dyduch J.: Model niezawodnościowo – funkcjonalny systemu sterowania ruchem kolejowym. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, z. 1-2, PWN, Warszawa 1987
- [11] Dyduch J.: Ocena funkcjonowania transportu kolejowego w 2003 r. Problemy Kolejnictwa, z. 139, Warszawa 2004
- [12] Dyduch J.: Transportation system certification with respect to EU approval Transport Engineering, XIVt, Nr. 2S Vilnius, 1999
- [13] ERTMS, European rail, Traffic Management System. System zarządzania europejskim ruchem kolejowym
- [14] Instrukcja le-12, „Instrukcja konserwacji, przeglądów oraz napraw bieżących urządzeń sterowania ruchem kolejowym”, PKP Polskie Linie Kolejowe SA, Warszawa 21.12.2017
- [15] Instrukcja le-4, „Wytyczne techniczne budowy urządzeń sterowania ruchem kolejowym”, PKP Polskie Linie Kolejowe SA, Warszawa 30.12.2019
- [16] Instrukcja le-6, „Wytyczne odbioru

technicznego oraz przekazywania do eksploatacji urządzeń sterowania ruchem kolejowym”, PKP Polskie Linie Kolejowe SA, Warszawa 19.05.2020

- [17] Instrukcja le-7, „Instrukcja diagnostyki technicznej i kontroli okresowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym”, PKP Polskie Linie Kolejowe SA, Warszawa 30.01.2018
- [18] PN-EN 50126:2002, Zastosowania kolejowe – Specyfikacja niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa
- [19] PN-EN 50128:2011, Zastosowania kolejowe – Systemy łączności, przetwarzania danych i sterowania – Oprogramowanie kolejowych systemów sterowania i zabezpieczeń
- [20] PN-EN 50129:2007, Zastosowania kolejowe – Systemy łączności, przetwarzania danych i sterowania – Elektroniczne systemy sterowania związane z bezpieczeństwem
- [21] PN-EN 50159:2011, Zastosowania kolejowe – Systemy łączności, sterowania ruchem i przetwarzania danych – Łączność bezpieczna w systemach transmisyjnych
- [22] PN-EN 60300-1:2006, Zarządzanie niezawodnością – Część 1: Systemy zarządzania niezawodnością
- [23] PN-EN 60300-2:2006, Zarządzanie niezawodnością – Część 2: Wytyczne zarządzania niezawodnością
- [24] Projekt realizowany przez UTH Radom: „System gromadzenia danych eksploatacyjnych i analizy niezawodności i bezpieczeństwa układów automatyki kolejowej”, nr PBS/A6/29/2015
- [25] TEN, Trans-European Transport Network. Transeuropejska sieć transportowa
- [26] Urząd Transportu Kolejowego „Raport w sprawie bezpieczeństwa”, Warszawa 2020