

KORNASZEWSKI Mieczysław

## EKSPLOATACJA SYSTEMÓW STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

### Streszczenie

Procesy starzenia i zużycia urządzeń sterowania ruchem kolejowym, odpowiedzialnych za bezpieczeństwo ruchu pociągów, wyznaczają szczególną potrzebę obserwacji eksploatacji tych obiektów. Urządzenia srk występują na zmianę w kolejno następujących po sobie procesach użytkowania i obsługi, które są zależne od siebie. Eksploatacja systemów srk polega na takim sterowaniu nimi, aby utrzymując parametry tych systemów w dopuszczalnym przedziale zmienności, zachować korzystny stosunek uzyskanych efektów (m.in. bezpieczeństwa) do ponoszonych nakładów. Treścią artykułu jest analiza stanów i zachowań systemów sterowania ruchem kolejowym podczas eksploatacji.

### WSTĘP

W czasie eksploatacji systemów sterowania ruchem kolejowym (srk) zachodzą zależne od siebie procesy zmian stanu technicznego i zmian stanów eksploatacyjnych. Wykorzystanie systemów srk zgodnie z przeznaczeniem (systemy nastawcze, blokady liniowe, systemy przejazdowe, urządzenia tor-pojazd, itp.) jest możliwe tylko w przypadku, gdy systemy te i urządzenia wchodzące w ich skład znajdują się jednocześnie w stanie zdatności i w stanie użytkowania aktywnego. Stan techniczny obiektów wchodzących w skład systemu sterowania ruchem kolejowym zależy nie tylko od czasu pracy i warunków zewnętrznych wpływających na jego poprawne funkcjonowanie, ale także od podejmowania trafnych decyzji eksploatacyjnych.



**Fot. 1.** Tragiczne skutki nieodpowiedniego zarządzania procesem eksploatacji urządzeń sterowania ruchem kolejowym [8]

## 1. EKSPLOATACJA URZĄDZEŃ STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

Wg normy wydanej jeszcze w 1982 r. pt.: „Eksploatacja obiektów technicznych. Terminologia ogólna” pojęcie eksploatacja oznacza zespół celowych działań organizacyjno-

technicznych i ekonomicznych ludzi z obiektem technicznym oraz wzajemne relacje występujące pomiędzy nimi od chwili przejścia obiektu do wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem, aż do jego likwidacji.

### 1.1. Model prakseologiczny eksploatacji urządzeń srk

Pojęcie *eksploatacja* można wyjaśnić posługując się modelem prakseologicznym<sup>1</sup>. W modelu tym istotną rolę spełnia pojęcie łańcucha działania Ł składającego się z trzech elementów (rys. 1):

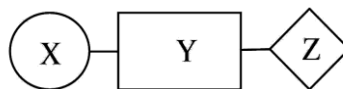
$$\text{Ł} = \langle X, Y, Z \rangle, \quad (1)$$

gdzie:

X – podmiotu (inicjatora, sprawcy) działania,

Y – pośrednika (obiekту pośredniczącego, narzędzia) działania,

Z – przedmiotu (obiekту, na którym zlokalizowano cel działania - tworzywa).



**Rys. 1.** Łańcuch działania w postaci graficznej [1, 3]

Każdy eksploatowany obiekt techniczny uczestniczy w działaniu, podejmowanym dla osiągnięcia określonego wcześniej celu. Staje się w ten sposób jednym z ogniw łańcucha działania.

W przypadku urządzeń sterowania ruchem kolejowym powyższe elementy można przyporządkować w sposób następujący: inicjatorem działania (X) mogą być np. osoby zarządzające PKP PLK S.A., pośrednikiem działania (Y) system sterowania ruchem kolejowym, natomiast przedmiotem działania (Z) – obiekt wykonawczy srk (sygnalizator kolejowy, obwód torowy, zwrotnica, przejazd kolejowy).

Gdy obiekt srk jest sprawny i może w efektywny sposób realizować funkcje, dla których wykonania został zaprojektowany i wytworzony – pełni rolę pośrednika działania. Człowiek stostując urządzenie srk (np. odcinek izolowany torowy) realizuje założony cel (np. określa stan niezajętości linii kolejowej).

Jeśli w wyniku zużycia lub uszkodzenia obiekt srk staje się niesprawny i nie może wykonywać założonych funkcji, przestaje pełnić rolę pośrednika działania. Dla odzyskania utraconego potencjału użytkowego musi przejść do innego łańcucha działania, w którym jako przedmiot działania zostanie poddany procesowi przywracania stanu zdadności.

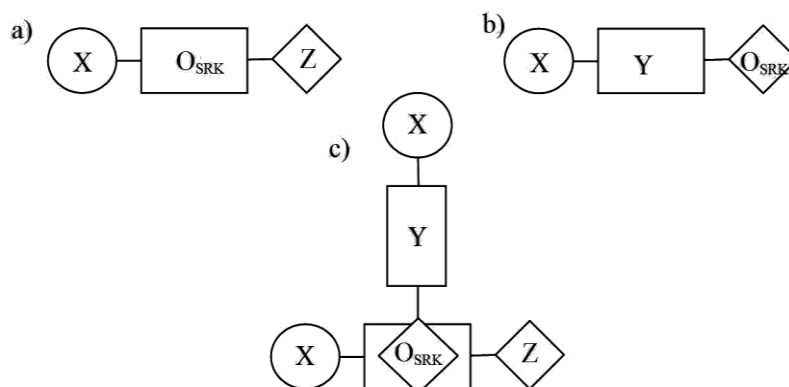
Urządzenie srk może również pełnić rolę pośrednika działania w łańcuchu, który nazywamy wtedy łańcuchem użytkowania. Odbywający się wtedy proces jest nazywany użytkowaniem, a człowiek (funkcja podmiotu) staje się użytkownikiem. Rozpatrywane urządzenie srk pełni wtedy funkcję przedmiotu w łańcuchu obsługiwanego i jest w nim poddawane procesowi obsługiwanego. Przy wystąpieniu takiej konfiguracji łańcucha działania podmiot, tzn. człowiek realizujący działania służące przywracaniu potencjału użytkowego urządzeniu srk) nazywany jest obsłownikiem [1, 3, 4].

Z powyższego wynika również, że wyróżniony obiekt srk ( $O_{SRK}$ ) w łańcuchu działania może być pośrednikiem lub przedmiotem działania (rys. 3).

Łańcuch działania, w którym urządzenie srk pełni zamiennie rolę pośrednika lub przedmiotu działania nosi nazwę łańcucha eksploatacji, a podmiot (człowiek) jest nazywany eksploatatorem urządzenia srk.

<sup>1</sup> Prakseologia - teoria sprawnego działania. Zadaniem prakseologii jest poszukiwanie najszerzych uogólnień odnoszących się do wszelkich form świadomego i celowego działania rozpatrywanego ze względu na sprawność; konstruowanie i uzasadnianie dyrektyw praktycznych, tj. nakazów i zakazów oraz zaleceń i przestróg dotyczących wzmagania sprawności i unikania niesprawności w działaniu, itd.

Zdarzenie, które powoduje utratę zdolności obiektu sterowania ruchem kolejowym do wypełniania wymaganych funkcji, związanych z bezpiecznym i sprawnym procesem przewozowym, nazywa się uszkodzeniem. Po wystąpieniu uszkodzenia obiekt srk znajduje się w stanie niezdatności. Stan niezdatności charakteryzuje się niezdolnością do wypełniania wymaganych funkcji, poza przypadkiem niezdolności występującej w czasie obsługi profilaktycznej (planowanej) lub niezdatności spowodowanej brakiem środków zewnętrznych lub innymi planowanymi działaniami.



**Rys. 2.** Przykładowe postacie obrazów graficznych łańcuchów działania eksploatacyjnego: a) użytkowanie  $L^U = \langle X, O_{SRK}, Z \rangle$ ; b) obsługiwanie  $L^O = \langle X, Y, O_{SRK} \rangle$ ; c) eksploatacja (ogólnie) [3, 4]

Urządzenie srk w trakcie eksploatacji jest użytkowane lub obsługiwane.

Użytkowanie eksploatacyjne to działania związane z wykorzystaniem obiektu zgodnie z jego przeznaczeniem, natomiast obsługiwane eksploatacyjne dotyczy czynności organizacyjno-technicznych operowania obiektem oraz czynności mających na celu podtrzymanie i przywracanie obiektowi stanu zdolności użytkowej.

Obiekt srk w każdej chwili znajduje się w jednym z możliwych stanów technicznych:

- zdatności do użytkowania (gotowości technicznej),
- niezdatności do użytkowania,
- zdatności z ograniczeniem – uznaje się że zaprzestanie użytkowania obiektu następuje wskutek wystąpienia zdarzenia:
  - ujawnienie się uszkodzenia obiektu,
  - uznanie obiektu za niezdatny,
  - wyczerpanie rezerwy eksploatacyjnego (normatywnego okresu pomiędzy kolejnymi obsługami obiektu).

Na podstawie rozważań o łańcuchach działania eksploatacyjnego wynika, że w systemie eksploatacji należy rozważać zbiór tworzących go układów działania odnoszących się do obiektów technicznych, a także zbiór relacji występujących między poszczególnymi elementami. System eksploatacji jest definiowany uporządkowaną trójką [1, 2, 3, 4, 6]:

$$\langle U, P, F \rangle, \quad (2)$$

gdzie:

$U$  – oznacza zbiór układów działania (np. urządzeń),

$P$  – obiekt techniczny pełniący funkcję pośrednika lub przedmiotu działania,

$F$  – uporządkowany zbiór relacji.

Zbiór relacji  $F$  pozwala wyróżnić związki zachodzące pomiędzy elementami zbioru układów działania. Może być również w pewnych sytuacjach nazywany strukturą systemu. Rezultatem tych relacji może być np. wyróżnienie różnych rodzajów obsług lub użytków i kolejność ich realizacji.

System eksploatacji składa się z systemu użytkowania  $S^U$ , gdzie w zbiorze układów działania urządzenie spełnia rolę pośrednika działania oraz systemu obsługiwanego  $S^O$ , gdzie urządzenie może pełnić rolę przedmiotu działania  $Z$ . System eksploatacji można więc opisać zależnością:

$$SE = \langle S^U, S^O, \pi \rangle, \quad (3)$$

gdzie:

$\pi$  – relacje na zbiorach  $S^U, S^O$ .

*System użytkowania* powinien zapewniać możliwość przeprowadzenia odnowy we właściwym czasie oraz, w przypadku elementów nienaprawialnych, zapewnić wymagane parametry przez określony czas pracy. System  $S^U$  jest zbiorem użytkowników, użytków (usługi, produkcja), bazy użytkowej (np. zbiór stanowisk, w których urządzenie może przebywać w czasie użytkowania) oraz relacji pomiędzy tymi elementami.

*System obsługiwanego* ma na celu zmniejszenie intensywności procesów starzenia się i stałe odtwarzanie pierwotnych własności użytkowych. Obsługa eksploatowanego systemu polega na okresowym dokonywaniu przeglądów stanu jego elementów, przeprowadzaniu remontów okresowych i bieżących, dokonywaniu wymian prewencyjnych elementów i rozbudowaniu struktury niezawodnościowej systemu o tzw. rezerwę zimną.

System eksploatacji można opisać następującymi elementami [3, 5, 6]:

$$SE = \langle (E, B), (W, G, H) \rangle, \quad (4)$$

gdzie:

$E$  – zbiór stanów eksploatacji (tzw. repertuar eksploatacyjny),

$B$  – zbiór stanowisk eksploatacyjnych obiektu, tzw. baza eksploatacyjna,

$W$  – rozkład eksploatacyjny obiektu (relacja określona iloczynem kartezjańskim  $E \times B$ ),

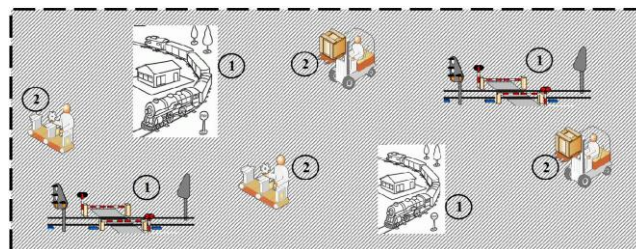
$G$  – graf eksploatacyjny (relacja określona  $E \times E$  lub  $B \times B$ ),

$H$  – porządek eksploatacyjny (relacja ustalająca następstwo w czasie poszczególnych stanów obiektu).

W podobny sposób można się odnieść do systemu użytkowania i systemu obsługiwanego urządzeń, przy czym w systemie użytkowania znajdują się obiekty w stanie zdadności, a w systemie obsługiwanego obiekty w stanie niezdadności.

## 1.2. Model terytorialny systemu eksploatacji urządzeń srk

System eksploatacji może być również rozpatrywany jako model terytorialny (rys. 3), obejmujący elementy bazy eksploatacyjnej rozmieszczone na pewnym terytorium.



**Rys. 3.** Przykład systemu eksploatacji urządzeń sterowania ruchem kolejowym przedstawionego za pomocą modelu terytorialnego, gdzie 1 – zbiór stanowisk użytku urządzeń srk, 2 – zbiór stanowisk obsługi urządzeń srk

Źródło: [opracowanie własne]

Bazę eksploatacyjną grupy urządzeń stanowi zbiór stanowisk użytku i obsługi wszystkich urządzeń należących do tej grupy. Dlatego też można wyróżnić system eksploatacji urządzenia rozmieszczony na określonym terytorium, tzw. system terytorialny eksploatacji

(użytku, obsługi) oraz system skupiony w jednym punkcie (na małym obszarze), tzw. system lokalny eksploatacji (użytku, obsługi) urządzenia.

### 1.3. Rozkład eksploatacji urządzeń srk w czasie

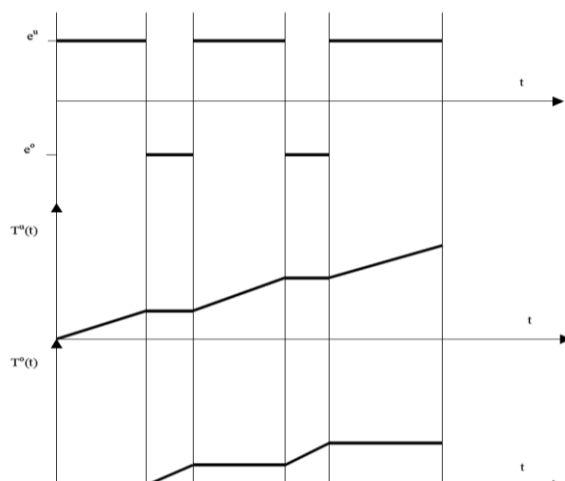
Bardzo istotną kwestią jest także rozkład eksploatacji urządzenia w czasie. Rozkład ten jest najczęściej wynikiem nałożenia na siebie harmonogramu użytku oraz harmonogramu obsługi urządzenia. Najczęściej spotykanymi rozkładami czasów eksploatacji są modele procesu dwu- i czterostanowego. Opis procesu eksploatacji jest możliwy wówczas, gdy wyróżnionym stanom eksploatacyjnym ( $e_i$ ), tzn. stanom użytkowania lub obsługiwanie przypisane są czasy ( $t_i$ ) przebywania obiektu w tych stanach (rys. 4, rys. 5) [3, 7].

Rozkład czasów eksploatacji (charakterystyka eksploatacji) musi zostać opracowany dla reprezentatywnego czasu kalendarzowego eksploatacji (np. roku, kwartału, itp.).

Sumaryczny czas eksploatacji  $T$  (użytku, obsługi) dla procesu dwustanowego obliczono ze wzorów (5) i (6):

$$T^u = \sum_{i=1}^{i=I} t_i^u, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (5)$$

$$T^o = \sum_{j=1}^{j=J} t_j^o, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (6)$$



**Rys. 4.** Graficzny rozkład czasów eksploatacji dla przykładowego procesu dwustanowego [3, 7]

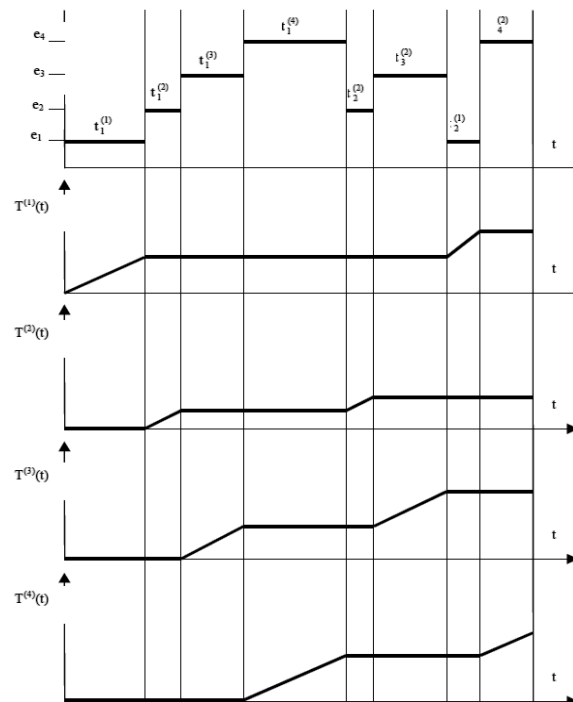
Natomiast łączny czas eksploatacji  $T$  dla procesu czterostanowego można określić korzystając ze wzorów (7), (8), (9) i (10) [3, 7]:

$$T^1(t) = \sum_i t_i^{(1)}(t) \quad (7)$$

$$T^2(t) = \sum_j t_j^{(2)}(t) \quad (8)$$

$$T^3(t) = \sum_k t_k^{(3)}(t) \quad (9)$$

$$T^4(t) = \sum_l t_l^{(4)}(t) \quad (10)$$



**Rys. 5.** Graficzny rozkład czasów eksploatacji dla przykładowych procesów dwu- i czterostanowych [3, 7]

## 2. PROCES EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ SRK

Działanie systemu sterowania ruchem kolejowym zawsze zachodzi w czasie. W każdej chwili w wyniku działania systemu srk oraz w wyniku oddziaływania otoczenia na ten system wartości jego cech mogą być inne niż w chwili poprzedniej. Mówi się wówczas o zmianach stanów systemu srk.

Oznacza to, że stan systemu srk wyznaczony zbiorem cech istotnych o liczności  $k$  można opisać za pomocą wektora  $k$ -wymiarowego, wyrażającego wartości tych cech w dowolnej, dyskretnej chwili  $t$ :

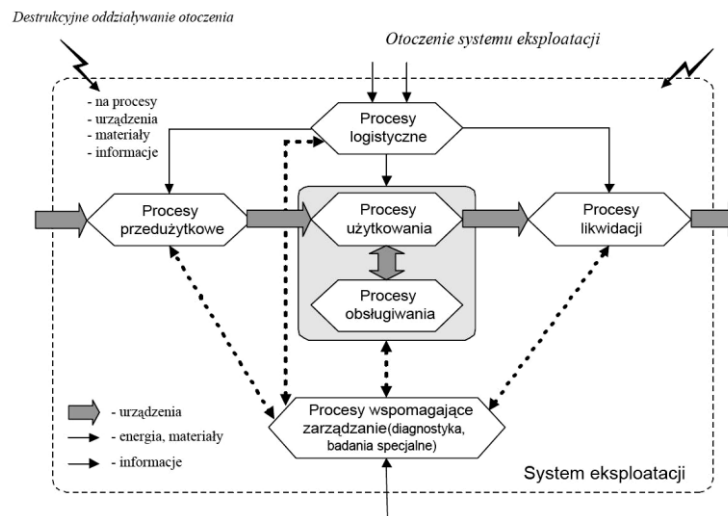
$$\overline{X}_{SRK} = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)] \quad (11)$$

Pojęcie *procesu* definiuje się jako ciąg zdarzeń opisujących działanie systemu. Ponieważ zdarzenia zachodzące w systemie wywołują realizację określonych działań (umożliwiających osiągnięcie założonego celu), można przedstawić proces jako ciąg (sekwencję) takich właśnie działań.

Proces eksploatacji jest realizowany w fazie eksploatacji urządzenia. W procesie tym wyróżnia się zbiór podprocesów i działań cząstkowych, wśród których można wskazać (rys. 6) [1, 2, 4]:

- procesy przedużytkowe (przygotowania do użytkowania) obejmujące: przechowywanie, transportowanie, instalowanie w miejscu użytkowania, docieranie, próby technologiczne itp.,
- procesy użytkowania umożliwiające realizację funkcji, dla których urządzenie zostało zaprojektowane i wykonane,
- procesy obsługiwanie obejmujące przeglądy, konserwacje, regulacje, naprawy, wymiany, modernizacje, itp.,
- procesy logistyczne, dotyczące zasilania w materiały, energię, pracowników, informacje, itp.,

- procesy likwidacji urządzeń i ich elementów drogą sprzedaży, recykulacji, utylizacji lub składowania w formie odpadów,
- procesy wspomagające zarządzanie procesem eksploatacji, obejmujące działalność diagnostyczną i badawczą.



Rys. 6. Struktura procesowa systemu eksploatacji [1]

Proces eksploatacji urządzeń sterowania ruchem kolejowym można odnieść do podstawowej spółki wchodzącej w skład Polskich Kolei Państwowych, jaką są Polskie Linie Kolejowe S.A., a zawężając obszar oddziaływania – do Zakładów Linii Kolejowych. Są to jednostki, które są bezpośrednio zainteresowane eksploatacją różnych obiektów srk. Ich przeznaczeniem jest m.in. utrzymanie, modernizacja oraz udostępnianie urządzeń sterowania ruchem kolejowym innym przewoźnikom kolejowym. Celem eksploatacyjnym Zakładu Linii Kolejowych jest więc wykorzystanie własnego potencjału operacyjnego urządzeń srk do przynoszenia określonych korzyści (opłat za udostępnianie stacji, linii kolejowych, itp.) PKP PLK S.A., przy zachowaniu bezpiecznego i sprawnego procesu przewozowego [4].

Obiekt srk występuje na zmianę w kolejno następujących po sobie procesach użytkowania i obsługi, które są zależne od siebie. Wynik użytkowania urządzenia srk zależy w dużym stopniu od wyniku przeprowadzonych prac obsługowych. Z kolei zakres i koszt obsługi zależy od przebiegu poprzedzającego je użytkowania urządzenia srk oraz pożądanej efektywności użytkowania po wykonaniu obsługi.

W stanie zdatności wartości parametrów urządzenia nie przekraczają przedziału granicznego. Natomiast stan niezdatności oznacza, że graniczne wartości parametrów zostały przekroczone i urządzenie nie może być użytkowane.

Poprzez *obsługę* obiektów srk rozumiemy głównie czynności mające na celu podtrzymywanie lub przywracanie obiektowi srk stanu zdatności użytkowej.

Zwykle obsługiwane urządzenia sterowania ruchem kolejowym wymaga jego wyłączenia z użytkowania i odwrotnie. Zachodzi więc sprzeczność interesów użytkownika i obsługownika, co powoduje, że powstaje konflikt zwany konfliktem eksploatacyjnym.

Urządzenie srk w charakterze obiektu obsługi generuje wiele różnych procesów obsługowych (obsług).

Wśród zbioru usług urządzeń sterowania ruchem kolejowym można m.in. wyróżnić obsługi techniczne, gdy urządzenie srk staje się obiektem obsługi ze względu jego stan techniczny. Obsługa techniczna ma na celu podtrzymanie lub odtworzenie stanu zdatności urządzenia srk do przewidywanych zadań (np. obsługa bieżąca, przegląd techniczny, konserwacja, naprawa). Obsługa organizacyjna ma na celu stworzenie warunków

organizacyjnych do wykorzystania urządzenia srk zgodnie z jego przeznaczeniem (np. przechowywanie i przewożenie urządzeń). Potrzeba tego ostatniego rodzaju usług wynika ze względów organizacyjnych, ponieważ albo urządzenie srk w danej chwili nie jest użytkownikowi potrzebne (należy go przechowywać do chwili późniejszej), albo też urządzenie srk nie jest użytkownikowi potrzebne w danym miejscu (należy go przewieźć w inne miejsce) [7].

Wycofanie urządzenia srk z eksploatacji i jego likwidacja odbywają się na podstawie oceny stanu technicznego oraz ekonomicznej analizy opłacalności dalszego użytkowania.

## PODSUMOWANIE

Pojęcie eksploatacja w stosunku do urządzeń srk obejmuje trzy podstawowe zadania:

- zapewnienie bezpieczeństwa ruchu pociągów,
- utrzymanie urządzeń srk w gotowości do pracy (funkcjonowanie bezawaryjne, bez zakłóceń),
- utrzymanie stanu technicznego urządzenia srk.

Problem eksploatacji urządzeń sterowania ruchem kolejowym można sformułować na różnym poziomie ogólności, przy czym dla każdego problemu należy dobrać skalę uogólniania tak, aby nie ulec dwóm skrajnościom (bardzo ogólnie lub bardzo szczegółowo). Uogólnianie problemów pozwala na budowanie dla danej klasy zjawisk eksploatacyjnych tzw. modelu matematycznego. Na podstawie takiego modelu można przewidywać przebieg pewnych zjawisk. Przy znajomości zachowania się urządzeń srk (przewidywanie wynikające z modelowania), istnieje możliwość uzupełnienia informacji wspomagających podejmowanie decyzji eksploatacyjnych w zakresie problematyki sterowania ruchem kolejowym.

Kolejną bardzo ważną kwestią jest sterowanie eksploatacją urządzeń srk. Sterowanie systemu eksploatacji wymaga istnienia systemu zbierania i przetwarzania informacji eksploatacyjnych. Informacje zawarte w tych dokumentach są przetwarzane na poszczególnych poziomach sterowania i na ich podstawie powstają decyzje sterujące. Pojawia się jednak problem optymalnej organizacji systemu zbierania i przetwarzania informacji eksploatacyjnych, nawet w dobie komputeryzacji archiwów i centrów przetwarzania danych. Prawidłowe funkcjonowanie systemów srk jest więc uzależnione nie tylko od niezawodności poszczególnych obiektów srk, ale także od racjonalnego sterowania i zarządzania ich procesem eksploatacji.

## BIBLIOGRAFIA

1. Dyduch J., Moczarski J.: *Podstawy eksploatacji systemów sterowania ruchem kolejowym*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2008.
2. Dyduch J.: *Model eksploatacji systemu srk*. Automatyka Kolejowa 1983, nr 9.
3. Konieczny J.: *Sterowanie procesem eksploatacji*. PWN, Warszawa 1975.
4. Kornaszewski M.: *Modelowanie odnowy systemów sterowania ruchem kolejowym w procesie eksploatacji*. Wydawnictwo UTH Radom, Radom 2013.
5. Kornaszewski M.: *Model procesu eksploatacyjnego systemu automatyki przejazdowej*. Konferencja MET'99 pt.: Współczesne systemy zasilania i napędu pojazdów trakcyjnych w zintegrowanej Europie XXI wieku. Warszawa 1999.
6. Koźniewska I., Włodarczyk M.: *Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi*. PWN, Warszawa 1978.
7. Ważyńska-Fiok K.: *Podstawy teorii eksploatacji i niezawodności systemów transportowych*. WPW, Warszawa 1993.
8. <http://fakty.interia.pl/raport-katastrofa-kolejowa/aktualnosci/news-dyzurny-ruchu-wiedzial-o-awarii,nId,913256>



# EXPLOITATION OF RAIL TRAFFIC CONTROL SYSTEMS

## *Abstract*

*The processes of aging and usage of rail signaling devices, which are responsible for the safety of train movements, designate the particular need for an observation of the operation of those objects. Devices of rail traffic control occurs to change in successive processes of use and handling, which are dependent on each other. Exploitation of rail signaling systems is based on keeping the parameters of these systems within the acceptable range of variation, keeping the ratio obtained effects (for example safety) to the incurred expenditure. The content of the article is analysis of states and the rail signaling systems behavior during their operation.*

## ***Autor:***

dr inż. **Mieczysław Kornaszewski** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu