

RESTEL Franciszek J.¹

Modelowanie niezawodności procesu przewozowego w systemie transportu szynowego

WSTĘP

System transportowy posiada złożoną strukturę. Wynika to z zadań jakie są realizowane w nim. Działania podejmowane w systemie można podzielić na dwie podstawowe grupy. Pierwszą grupę tworzą działania związane z transportem. Natomiast druga grupa to działania mające na celu utrzymanie zdadności systemu. Widoczne jest zatem, że w systemie transportu szynowego zachodzą liczne procesy, które są ze sobą powiązane. Największy poziom integracji procesów, oraz ich harmonogramowania występuje w przypadku systemu transportu szynowego.

Procesy przebiegające w systemie transportu szynowego są niezwykle złożone, podobnie jak sam system. Proces obsługi technicznej powiązany jest z procesem przewozowym. Proces przewozowy z pracą węzłów przesiadkowych i punktów handlowych. Ruch pociągów wiąże się z potrzebą zabezpieczenia węzłów styku z pieszymi i samochodami.

W tym aspekcie niezawodnym procesem przewozowym jest ten, w którym zachowana jest reguła 5R – właściwe miejsce, właściwy czas, właściwa ilość, właściwa jakość i właściwy towar. Dla potrzeb prowadzonych badań skupiono się na właściwym czasie i właściwym miejscu.

W związku z powyższym pojawia się szereg problemów związanych z teoretycznym opisem rzeczywistego systemu. W dalszej części referatu rozwinięto najbardziej istotne problemy powstające w badaniach niezawodności systemów kolejowych oraz motywację modelowania zdarzeń o małych skutkach.

1 ISTOTNOŚĆ ZDARZEŃ O POZORNIE MAŁYM ZNACZENIU

Inwentaryzując badania prowadzone nad zdarzeniami niepożądanymi należy stwierdzić, że 78% zdarzeń stanowi niewykorzystaną skarbnicę wiedzy. Są to zdarzenia skutkujące w opóźnieniach. Opóźnienie pociągu wskazuje na wystąpienie jakiegoś zdarzenia, ale również mówi o dalszych rozbieżnościach od założonego planu.

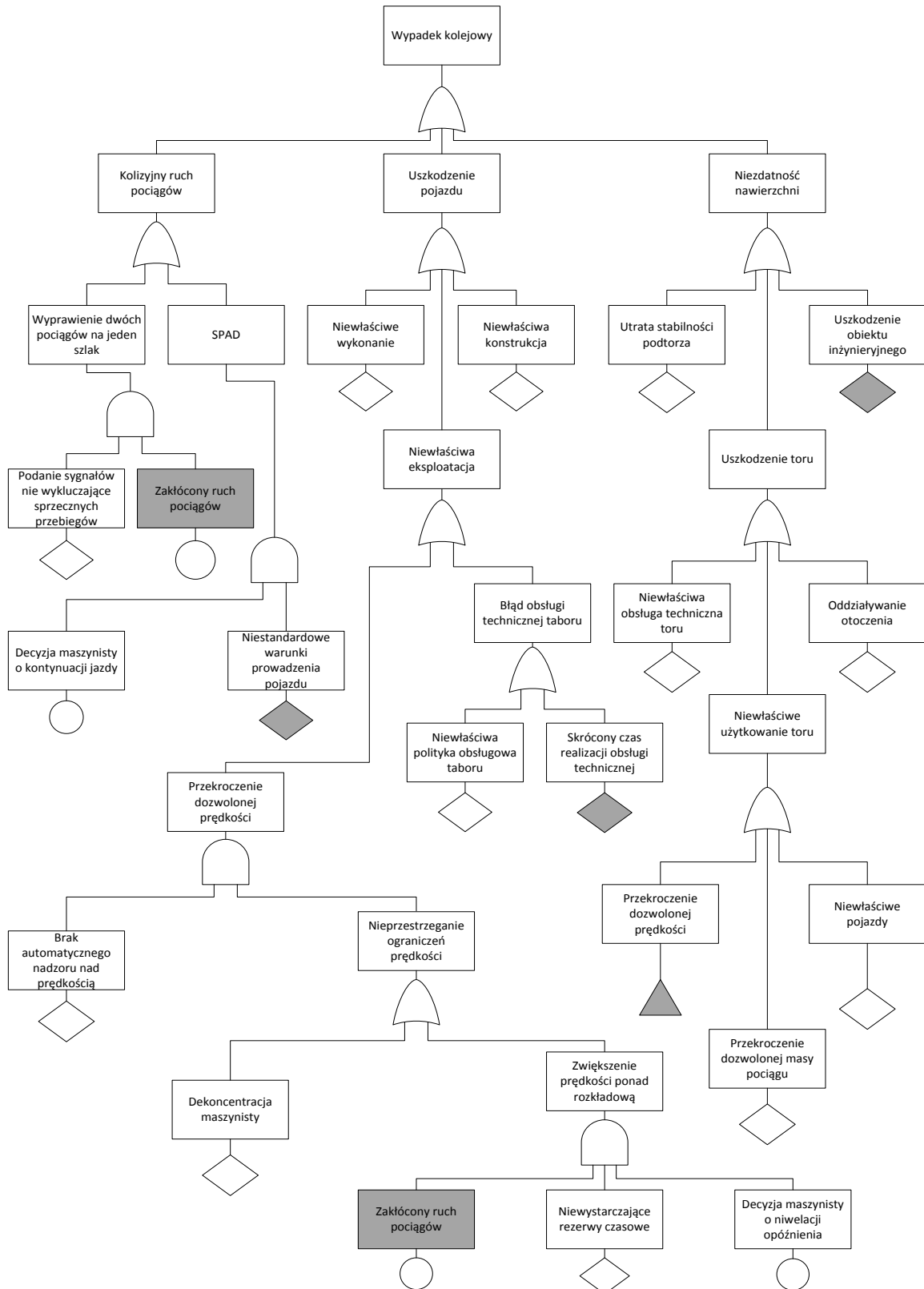
W celu udowodnienia ważkości zdarzeń o pozornie małym znaczeniu (np. spóźnienie jednego pociągu o 5 minut) i ich możliwym wpływie na powstanie katastrofy kolejowej zbudowano model wystąpienia wypadku kolejowego. Do zamodelowania procesu występowania tego zdarzenia wykorzystano analizę drzewa niezdatności.

Na rysunku 1 pokazano fragment opracowanego drzewa niezdatności. Zdarzeniem szczytowym prowadzonej analizy jest wypadek kolejowy. Wypadek kolejowy rozumiany jest w tym miejscu jako poważny wypadek. Z tego powodu w drzewie niezdatności nie uwzględniono wypadków z pieszymi, wypadków z samochodami oraz innych zdarzeń, w których ryzyko dla ludzi na pokładzie pociągu lub znaczących uszkodzeń taboru jest niewielkie.

Po sporządzeniu drzewa niezdatności dokonano inwentaryzacji wszystkich zdarzeń podstawowych, które są związane z zakłóconym ruchem pociągów. Kolorem szarym oznaczono te zdarzenia. Ze względu na ograniczone miejsce nie było możliwości pokazania każdej z gałęzi, która jest zakończona zdarzeniem podstawowym „zakłócony ruch pociągów”. Z tego powodu oznaczono symbole przerywania drzewa również kolorem szarym, jeżeli w dalszej części tej gałęzi zidentyfikowano „zakłócony ruch pociągów”.

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny

W wyniku przeprowadzonej analizy drzewa niezdatności zidentyfikowano dwa obszary, w których zakłócenia ruchu pociągów wpływają na możliwość wystąpienia wypadku kolejowego. Pierwsza grupa wiąże się wprost z błędami ludzkimi. Zakłócenia w ruchu mogą prowokować zachowania pracowników, które w konsekwencji doprowadzą do wypadku.



Rys. 1. Drzewo niezdatności dla zdarzenia szczytowego „wypadek kolejowy”

Opracowany model pozwolił określić, że przekroczenie prędkości oraz błąd obsługi technicznej (jako błędy ludzkie) mogą wynikać z opóźnień pociągów. Przekroczenie dopuszczalnej prędkości przez maszynistę może być umyślnym lub nieumyślnym efektem zwiększenia prędkości (maszynista dysponuje rezerwą czasową wynikającą z rozkładu jazdy) w celu kompensacji opóźnienia.

W drugim przypadku pojazd wjeżdża opóźniony do obsługi technicznej. Opóźnienie wyczerpuje rezerwy czasowe w obsłudze technicznej, co w rezultacie doprowadza do nieumyślnych pomyłek lub świadomych zaniedbań w celu kompensacji opóźnienia.

Oprócz wyszczególnionych przypadków należy pamiętać o szerokim wpływie zakłóceń w ruchu na pracowników, który nie został odkryty, a jest możliwy – np. wpływ na dyżurnych ruchu w podejmowaniu decyzji.

Obok wpływu opóźnień na powstanie błędów człowieka jest jeszcze drugi obszar. Opóźnienia, albo ogólnie zakłócenia zmieniają strukturę procesu transportowego tak, że zaplanowany rozkład jazdy nie jest realizowany (rozbieżność w czasie i przestrzeni). Z tego wynika, że pociąg przemieszcza się z opóźnieniem i/lub po innym torze. Możliwe są też inne odstępstwa, jak np. podmiana pojazdów, co może rzutować np. na kryterium jakości.

Rozkłady jazdy są tak projektowane, aby zapewnić bezkolizyjny ruch pociągów. W związku z tym planowy ruch pociągów teoretycznie umożliwiałby bezpieczne przemieszczanie się pociągów po sieci kolejowej bez zabezpieczania urządzeniami sterowania ruchem kolejowym. W takim ujęciu urządzenia sterowania ruchem stanowią barierę przed zajściem wypadku, natomiast wystąpienie zakłócenia powoduje sytuację zagrożenia. W ramach analizy drzewa niezdatności zidentyfikowano jedno zdarzenie bezpośrednio zależne od zakłóceń – wyprawienie dwóch pociągów na jeden szlak.

Zmiana w procesie może także wpływać pośrednio na niebezpieczne minięcie semafora (SPAD). W tym przypadku zakłócenia zmieniają proces do którego realizacji maszynista był przygotowany, sygnały zatrzymania pojawiają się wtedy quasi niespodziewanie. W [1] podano, że w 2011 roku ponad 45% wypadków powstało w wyniku minięcia semafora przez pociąg w sposób niebezpieczny (SPAD).

W [15] przedstawiono system sterowania ruchem pociągów oparty o podsystem lokalny (posterunki obsługiwane przez dyżurnych ruchu) oraz podsystem nadzorujący o zakresie regionalnym. Wniosek nasuwa się, iż przede wszystkim wpływ czynnika ludzkiego mógłby być zmniejszony poprzez system nadrzędnej weryfikacji czynności operatora. Jednak podobnie do przypadku standardowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym może zaistnieć sytuacja, w której trzeba będzie ominąć system w celu umożliwienia dalszego ruchu pociągów. W [13] zwrócono uwagę na zwiększoną liczbę zadań jakie musi wykonywać dyżurny ruchu po zaistnieniu awarii, lub po prostu zakłócenia. Wtedy zbieganie się przyrostu obciążenia behawioralnego oraz poznawczego ma wpływ na bezpieczeństwo ruchu (ponad 90% wypadków w systemie transportu szynowego powstaje po przejęciu odpowiedzialności przez człowieka [8], natomiast katastrofy w transporcie powstają w około 80% przypadków z winy człowieka [2]). Czynniki ludzki występuje w całym systemie, nie tylko w bezpośrednim prowadzeniu pociągów przez posterunki ruchu [14].

2 ŹRÓDŁA WIEDZY O SYSTEMIE TRANSPORTU SZYNOWEGO

System transportu szynowego jest bardzo złożony. Dotyczy to struktury systemu i procesów zachodzących w nim. Informacje na temat eksploatacji systemu są gromadzone w kilku miejscach. Najbardziej istotne bazy wiedzy należą obecnie do:

- Państwowych Komisji Badań Wypadków Kolejowych,
- zarządców infrastruktury,
- przewoźników.

Każda z wymienionych baz wiedzy cechuje się innym profilem, zgodnie z prowadzoną działalnością.

2.1 Państwowa Komisja Badań Wypadków Kolejowych

Podstawowymi zdarzeniami niepożądanymi badanymi przez organy zajmujące się bezpieczeństwem kolejowym to [3]:

- poważne wypadki.
- wypadki,
- incydenty.

Komisje wypadkowe dzielą się na [7]:

- komisję miejscową
- komisję zakładową
- PKBWK.

Komisja miejscowa prowadzi postępowanie przy zdarzeniach powstałych podczas prac manewrowych, najechania taboru kolejowego lub potrącenia osób przechodzących przez tory kolejowe lub wskakujących albo wyskakujących z pociągu. Komisja zakładowa bada pozostałe zdarzenia. Każde zdarzenie będące incydem, wypadkiem lub poważnym wypadkiem jest również zgłaszane Państwowej Komisji Badań Wypadków Kolejowych. PKBWK pełni nadzór nad prowadzonymi postępowaniami, bierze udział w postępowaniu lub przejmuje prowadzenie postępowania. Każde zdarzenie badane w tej procedurze w konsekwencji pozwala ustalić:

- okoliczności zdarzenia,
- przyczyny zdarzenia,
- wnioski zapobiegawcze.

Instytucje badające wypadki kolejowe dysponują największymi kompetencjami, stąd mogą opracowywać najbardziej dokładne i wnikliwe raporty. Badania prowadzone przez te jednostki mogą wносить bardzo wiele dla całego systemu transportu szynowego. W praktyce badania te zawężają się do niewielkiego ułamka wszystkich zdarzeń w systemie. Dla wybranego regionu w Polsce dla lat 2009-2011 mniej niż 0,1% zdarzeń miało charakter pozwalający na powiadomienie organów bezpieczeństwa [3, 6]. Z pośród ułamka zgłoszonych zdarzeń PKBWK badała bezpośrednio 1,4% zdarzeń, natomiast zgłoszonych do ERA zostało zaledwie 0,18% [3].

Narodowa komisja badań wypadków ma największe możliwości w zakresie wprowadzania zmian podnoszących bezpieczeństwo na kolei w kraju i na świecie. Nie mniej jednak nie posiada zasobów aby móc badać wszystkie występujące zdarzenia, stąd wiele zjawisk stwarzających sytuację zagrożenia nie jest analizowanych.

2.2 Zarządca infrastruktury

Zarządca infrastruktury nadzoruje eksploatację systemu transportu szynowego. W szczególności odpowiada za podsystem infrastruktury. W kontekście infrastruktury można wymienić dwie grupy działalności:

- użytkowanie infrastruktury – prowadzenie ruchu pociągów,
- obsługa techniczna infrastruktury – utrzymanie zdolności technicznej.

Te dwie działalności dzielą zarządcę infrastruktury na dwa zasadnicze oddziały. Współpraca między tymi oddziałami zależy od uwarunkowań krajowych i regionalnych, jednakże można stwierdzić, że w ogólnym przypadku największym strumieniem informacji jest ten od obsługi technicznej do prowadzących ruch.

Dane eksploatacyjne (dotyczące ruchu pociągów) gromadzone są przez posterunki ruchu. Mogą one być położone wzdłuż linii kolejowej jako nastawnie lub w postaci scentralizowanej jako lokalne centrum sterowania (LCS). Informacje na temat położenia pociągu pozyskiwane są najczęściej ze wskazań urządzeń przytorowych.

Zdarzenie losowe, które uniemożliwia lub utrudnia prowadzenie ruchu, rejestrowane jest w posterunku za pośrednictwem:

- przytorowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym (srk),
- urządzeń energetycznych (sieć trakcyjna lub system zasilania urządzeń pomocniczych),
- drużyny pociągowej obserwującej zdarzenie,
- dyżurnego ruchu (jeżeli do zdarzenia doszło w obrębie posterunku).

Posterunek ruchu łączy się, przekazując informacje o zdarzeniu, z dyspozyturą stanowiącą element centrum zarządzania ruchem (CZR). Równolegle odbywa się komunikacja pomiędzy pociągami a właściwymi dla nich dyspozytorami. W wyniku dynamicznej interakcji pomiędzy dyspozytorami

różnych spółek dotkniętych skutkami zdarzenia możliwe jest powstanie błędów w informacjach, które trafiają do bazy danych eksploatacyjnych (ruchowych).

Podstawowym zadaniem dyspozytury jest szybka reakcja na zdarzenie, która pozwala minimalizować wtórne skutki zdarzenia dla pasażera, przewoźników itp. W związku z takim zakresem obowiązków dyspozytorzy przewoźników nie mają kompletnych danych na temat ogółu zdarzeń wpływających na niezawodność systemu.

Dane ostatecznie archiwizowane są przez centrum zarządzania ruchem zarządcy infrastruktury w postaci księgi ruchu i księgi zdarzeń, zawartych zwykle w jednym systemie informatycznym.

Dla pociągu jadącego bez zakłóceń lub z niewielkimi zakłóceniami pobierane są tylko informacje o czasie przejazdu przez dany punkt kontrolny. Natomiast w chwili wystąpienia zakłócenia powodującego opóźnienie większe niż 5 minut (czasami granica ma inną wartość) lub odstępstwo od normalnej pracy systemu, nieskutkujące w opóźnieniu, następuje procedura zbierania dodatkowych informacji. Zbiór informacji zbieranych po wystąpieniu zdarzenia pokazano w [9].

Drugim obszarem działalności zarządcy infrastruktury jest obsługa techniczna infrastruktury. Modele obsługi będą uzależnione od profilu danej jednostki organizacyjnej przedsiębiorstwa, zostały zebrane i szeroko opisane w innych publikacjach [4, 5]. W przypadku działu obsługi technicznej zarządcy infrastruktury podstawowym zadaniem jest prowadzenie prac diagnostycznych pozwalających na monitorowanie bieżącego stanu technicznego. W zależności od wyników znormalizowanych procedur pomiarowych możliwe są następujące kroki, pozwalające na zachowanie obecnego poziomu lub podniesienia poziomu bezpieczeństwa:

- brak działań,
- wprowadzenie ograniczeń prędkości,
- wprowadzenie ograniczeń w naciskach na oś,
- przeprowadzenie naprawy.

W konsekwencji dział zajmujący się prowadzeniem ruchu otrzymuje informację o aktualnych dopuszczalnych prędkościach, naciskach i pracach naprawczych wyłączających tory lub obniżających przepustowość.

Prowadząc badania nad niezawodnością systemu transportu szynowego z wykorzystaniem informacji o stanie technicznym infrastruktury należy przeanalizować czy istnieje potrzeba pozyskania szczegółowych informacji, czy nie. Szczegółowe dane kryją problem w pozyskaniu (ze względu na tajemnicę przedsiębiorstwa) oraz w późniejszym przetworzeniu. Alternatywę stanowi korzystanie z miar opisujących stan techniczny. Z punktu widzenia funkcjonowania systemu najlepszą taką miarą jest dopuszczalna prędkość w świetle prędkości konstrukcyjnej. Zalety takiej miary opisano w [11].

2.3 Przewoźnik

Przewoźnik dysponuje najbardziej wyspecjalizowaną bazą danych, która zawiera tylko informacje na temat jego działalności. Dane na temat ruchu pociągów są wtórne - pierwotnie pochodzą od zarządcy infrastruktury. Najważniejszymi informacjami jakimi dysponuje przewoźnik na temat procesu przewozowego i pojazdów to:

- rodzaj pociągu (pośpieszny, regionalny, aglomeracyjny),
- liczba wymaganych miejsc siedzących (zależna liczby pasażerów),
- zużycie energii (zależne od taboru i linii),
- rozkład jazdy:
 - o chwila rozpoczęcia realizacji zadania przewozowego,
 - o chwila zakończenia realizacji zadania przewozowego,
 - o miejsce rozpoczęcia kursu,
 - o miejsce zakończenia kursu,
 - o liczba uruchamianych pociągów,
 - o czas wymiany pasażerów,
- praca przewozowa w pociągokilometrach,
- rodzaj taboru,

- wiek taboru,
- całkowity przebieg pojazdów,
- okresy między obsługowe (zgodnie z DTR i DSU)
- pojemność (liczba miejsc),
- droga hamowania,
- moc zainstalowana,
- przyśpieszenie,
- prędkość maksymalna,
- rezerwy w taborze,
- masa pociągu brutto,
- naciski na osie,
- chwilowe położenie na sieci.

Informacje pozyskiwane od przewoźników są szczególnie ważne w przypadku badań niezawodności i bezpieczeństwa pojazdów, punktualności realizacji konkretnych przewozów itp.

3 WPLYW CECH SYSTEMU NA STRUKTURĘ MODELI NIEZAWODNOŚCIOWYCH

W artykule [11] opisano przykładowe wyniki z prowadzonych badań nad modelowaniem niezawodności systemu transportu szynowego, w zakresie wzajemnego oddziaływania wybranych parametrów systemu infrastruktury.

Badając dane eksploatacyjne zebrane w systemie transportu szynowego wykazano powiązanie częstości występowania zdarzeń niepożądanych (nawierzchni, urządzeń sterowania ruchem kolejowym, urządzeń elektro-energetycznych, a także taboru) z pracą eksploatacyjną na linii kolejowej. Wykazano, że na poziomie istotności 0,05 częstość uszkodzeń taboru nie zależy od linii kolejowej, ale od typu pojazdu, pracy eksploatacyjnej i pory roku.

Również wykazano, że typ urządzeń sterowania ruchem kolejowym ma wpływ na częstość występowania zdarzeń niepożądanych. Podobnie typ i wiek nawierzchni oraz typ i wiek urządzeń elektro-energetycznych.

Wynika z tego, że modele powinny uwzględniać możliwości występowania różnych typów taboru, różnych typów elementów infrastruktury, pracy eksploatacyjnej, pory roku, struktury ruchu itd. W przeciwnym razie budowane modele mogłyby być wyłącznie stosowane dla konkretnej linii, konkretnego rozkładu jazdy, wyłącznie w tym sezonie, dla którego zebrano dane eksploatacyjne potrzebne do parametryzacji.

4 MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA DANYCH DLA POTRZEB SYMULACYJNYCH MODELI NIEZAWODNOŚCIOWYCH

Dotychczasowe badania nad niezawodnością i bezpieczeństwem systemu transportu szynowego można podzielić na:

- transportowe,
- niezawodnościowe,
- bezpieczeństwa,
- infrastruktur krytycznych.

Zależnie od charakteru badań inny jest zakres wymaganych do parametryzacji modelu informacji, a także ograniczenia funkcjonalności. W ramach badań o charakterze transportowym analizowane są: infrastruktura w kontekście minimalizacji kosztów cyklu życia, realizacja zadań dyspozytury po wystąpieniu zakłóceń oraz ciągi przyczynowo skutkowe podczas przejścia pojedynczych elementów do stanu niezdatności.

Badania niezawodnościowe obejmują: pojazdy, pojedyncze obiekty lub podsystemy w ramach infrastruktury, niezawodność procesu, oraz punktualność. Cechą charakterystyczną tych modeli jest skupienie na małych obszarach. Mimo zaawansowania proponowanych modeli nie wykorzystują w sposób pełny wiedzy z systemu. W przypadku punktualności i niezawodności procesu zauważalne jest

stosowanie mocnych założeń, które w aspekcie funkcjonowania rzeczywistego systemu powinny prowadzić do niepoprawnych wniosków.

Badania bezpieczeństwa skupiają się wokół minimalizacji negatywnych skutków pracy systemu oraz występujących błędów.

Modele infrastruktury krytycznych mają bardzo ogólny charakter (przystosowany np. do sieci energetycznych), a zatem nie uwzględniają osobliwych cech kolei. Z tego wynika możliwość popełnienia błędów w analizach i niewłaściwego wnioskowania.

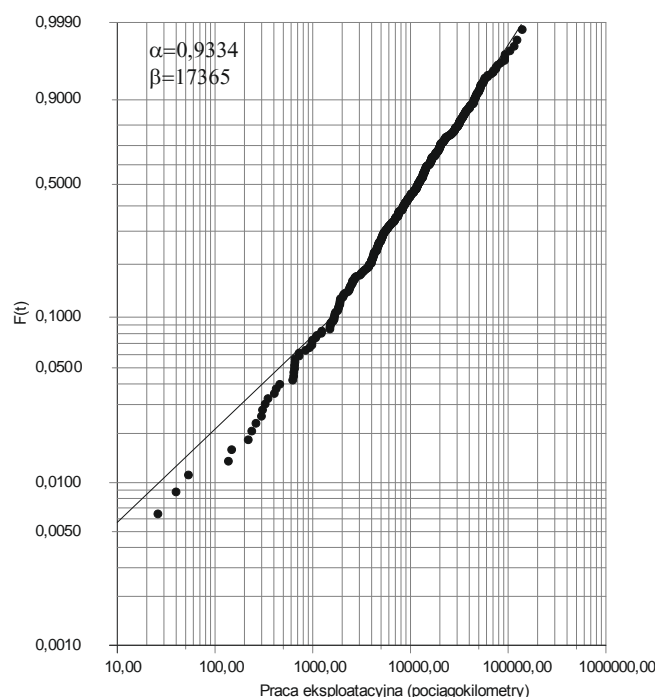
Podsumowując należy stwierdzić, że istnieje niewielka liczba modeli o pośredniej dokładności, które uwzględniałyby osobliwe cechy kolei wynikające ze struktury rozkładu jazdy oraz cech infrastrukturalnych. Czyli modeli odwzorowujących kursy pociągów i pozwalających na ocenę punktualności i niezawodności przewozów na pojedynczej linii oraz sieci.

Na kompleksowe wykorzystanie wiedzy zawartej w danych eksploatacyjnych pozwalają odpowiednio zbudowane modele symulacyjne. W [10] zaproponowano model symulacyjny punktualności pociągów na linii kolejowej. Zmiennymi losowymi w modelu są dystanse między uszkodzeniami i wartości opóźnień. Nie wprowadzono podziału na rodzaje zdarzeń.

Symulacja rozpoczyna się od określenia chwil wystąpienia zdarzeń niepożądanych, a zatem dystansów do kolejnych zdarzeń. Do tego celu losowane są dystanse między zdarzeniami, które następnie są sumowane, aby uzyskać dystans do n-tego zdarzenia.

Dla rozpatrywanego (i-tego) pociągu sprawdzane jest, dla każdego z odcinków (według kryterium skumulowanej pracy eksploatacyjnej na linii kolejowej), czy zdarzenie niepożądane wypada na danym (j-tym) odcinku. Jeżeli dystans do n-tego zdarzenia wpada w przedział pracy eksploatacyjnej, zawierający się pomiędzy wartością przed przejechaniem j-tego odcinka oraz wartością po przejechaniu tego odcinka przez i-ty pociąg, to przyjmuje się, że właśnie na tym odcinku zdarzenie opóźnia i-ty pociąg. Wtedy losowane jest opóźnienie z wykorzystaniem aproksymowanego rozkładu gęstości prawdopodobieństwa i dodawane do czasu jazdy pociągu.

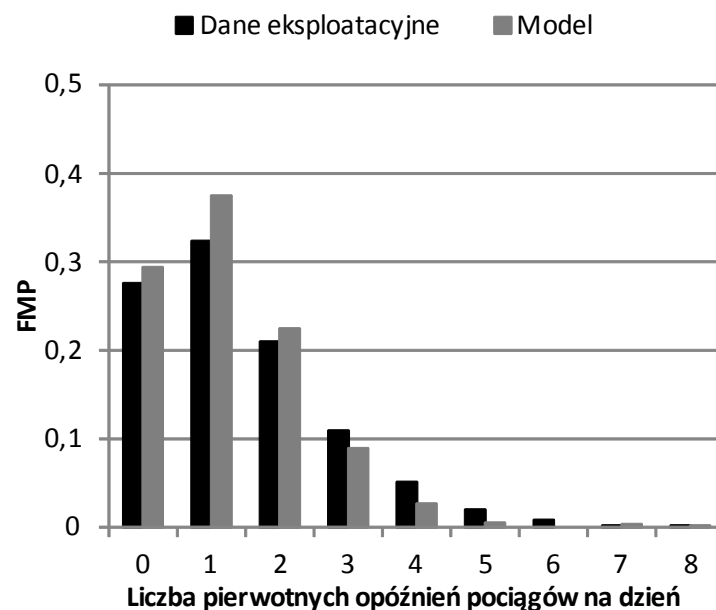
W [12] rozwinięto wcześniejszy model. Wprowadzono różne typy zdarzeń, dla których określono odrębnie charakterystyki niezawodnościowe.



Rys. 2. Teoretyczna dystrybuanta pracy eksploatacyjnej między uszkodzeniami taboru z naniesionymi danymi empirycznymi

Dwuparametrycznymi rozkładami gęstości prawdopodobieństwa Weibulla opisano dystanse między uszkodzeniami taboru (rysunek 2), urządzeń sterowania ruchem, urządzeń elektroenergetycznych. Rozkładem logarymiczno-normalnym opisano pracę eksploatacyjną między uszkodzeniami nawierzchni torowej. Czas definiuje w tym modelu okresy między zdarzeniami związanymi z otoczeniem (wandalizm oraz zjawiska atmosferyczne).

Mimo dobrego odwzorowania punktualności opisane modele w pewnej części przypadków nie spełniają statystycznych testów zgodności. Rozbieżności narastają wraz z zwiększającym się udziałem pociągów towarowych na linii kolejowej. Wynika to przede wszystkim z faktu, iż te modele symulacyjne są dedykowane dla pasażerskiego ruchu kolejowego. Zestawienie danych empirycznych z wynikami modelu, dla linii kolejowej o udziale pociągów towarowych poniżej 25%, pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Funkcja masy prawdopodobieństwa dla danych empirycznych oraz wyników eksperymentu symulacyjnego, pierwotnych opóźnień pociągów w skali jednego dnia na wybranej linii kolejowej

5 PODSUMOWANIE

Niezawodność procesów transportowych realizowanych w systemie transportu szynowego jest ważkim zagadnieniem w badaniach systemów kolejowych. Opracowywanie modeli teoretycznych pozwalających na ocenę rozkładu jazdy a priori umożliwi przeprowadzenie działań optymalizacyjnych podnoszących punktualność minimalizując jednocześnie niepotrzebne rezerwy czasowe. W efekcie poprawia się atrakcyjność transportu szynowego.

Z drugiej strony wykazano, że zdarzenia o pozornie małym znaczeniu mają wpływ na powstanie poważnych wypadków kolejowych. Zakłócenia ruchu powodują odstępstwo od założonego przebiegu procesu transportowego (w czasie i/lub przestrzeni), które w konsekwencji stanowi zagrożenie mogące przy niekorzystnych warunkach przerodzić się w zdarzenie szczytowe.

Przeprowadzona inwentaryzacja źródeł informacji na temat zdarzeń niepożądanych w systemie transportu szynowego pozwoliła na podział źródeł w zależności od rodzaju analizowanego problemu. Wskazano także na potencjał danych eksploatacyjnych zbieranych już w systemie, a nie wykorzystywanych obecnie do badań.

W końcowej części artykułu zwrócono uwagę liczne zależności występujące w systemie. Wskazano opracowania, w których opisywano zależność częstości występowania zdarzeń od parametrów systemu. Następnie przedstawione zostały przykładowe modele symulacyjne wykorzystujące informacje zawarte w rozkładach jazdy oraz wiedzę niezawodnościową zawartą w

danych eksploatacyjnych. Przybliżono zalety oraz wady tych modeli. Podsumowując należy stwierdzić, że prowadzone badania są bardzo obiecujące i zmierzają obecnie do sformułowania ogólnego modelu teoretycznego oraz dalszej rozbudowy modeli symulacyjnych, np. o pociągi towarowe.

Streszczenie

Największy poziom integracji procesów, oraz ich harmonogramowania występuje w przypadku systemu transportu szynowego. Niezawodnym procesem przewozowym jest ten, w którym zachowana jest reguła 5R – właściwe miejsce, właściwy czas, właściwa ilość, właściwa jakość i właściwy towar. Dla potrzeb prowadzonych badań skupiono się na właściwym czasie i właściwym miejscu.

W związku z powyższym pojawia się szereg problemów związanych z teoretycznym opisem rzeczywistego systemu. W artykule rozwinięto najbardziej istotne problemy powstające w badaniach niezawodności systemów kolejowych oraz motywację modelowania zdarzeń o małych skutkach.

W artykule wykazano, że zdarzenia o pozornie małym znaczeniu mają wpływ na powstanie poważnych wypadków kolejowych. Zakłócenia ruchu powodują odstępstwo od założonego przebiegu procesu transportowego (w czasie i/lub przestrzeni), które w konsekwencji stanowi zagrożenie mogące przy niekorzystnych warunkach przerodzić się w zdarzenie szczytowe.

Przeprowadzona inwentaryzacja źródeł informacji na temat zdarzeń niepożądanych w systemie transportu szynowego pozwoliła na podział źródeł w zależności od rodzaju analizowanego problemu. Wskazano także na potencjał danych eksploatacyjnych zbieranych już w systemie, a nie wykorzystywanych obecnie do badań.

Podsumowując należy stwierdzić, że prowadzone badania są bardzo obiecujące i zmierzają obecnie do sformułowania ogólnego modelu teoretycznego oraz dalszej rozbudowy modeli symulacyjnych, np. o pociągi towarowe. Opracowywanie modeli teoretycznych pozwalających na ocenę rozkładu jazdy a priori umożliwi przeprowadzenie działań optymalizacyjnych podnoszących punktualność minimalizując jednocześnie niepotrzebne rezerwy czasowe. W efekcie poprawia się atrakcyjność transportu szynowego.

Słowa kluczowe: niezawodność, bezpieczeństwo, proces transportowy

Railway transportation process reliability modeling

Abstract

The highest process integration and scheduling level applies to the railway transportation system. A reliable transportation process fulfills the 5R rule - right place, right time, right quantity, right quality and right stuff. At this moment the research is focused on the right time and the right place.

Accordingly, there are a number of problems related to the theoretical description of the real system. The paper shows the most important problems arising during reliability research of railway systems. It also shows motivation for modeling of events with small effects.

The paper shows events are seemingly insignificant, but have influence on occurrence of serious rail accidents. Traffic disruption causes deviation from the assumed time table (in time and/or space), which in effect is a hazard that could at unfavorable conditions develop into a top event.

A review of information sources on unwanted events occurring in the railway transportation system was made. It has allowed to make a distribution of sources depending on the nature of analyzed problem. It was also pointed the research potential of operational data collected already in the system, but currently not widely used.

The overall conclusion is that the carried out investigation is very promising and is now moving to the formulation of a general theoretical model and further development of simulation models, towards the freight trains. The development of theoretical models for timetable assessment will allow a priori optimization activities which increase punctuality while minimizing unnecessary temporary reserves. As a result, the attractiveness of railway transportation should be improved.

Keywords: reliability, safety, transportation process

BIBLIOGRAFIA

1. European Railway Agency, Intermediate report on the development of railway safety in the European Union. France 2013.
2. Kadziński A., Wprowadzenie do zagadnień bezpieczeństwa systemów kolejowych pojazdów szynowych. XII Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe, Poznań-Rydzyna 1996.

3. Leśniowski R., Ryś T., Państwowa Komisja Badań Wypadków Kolejowych – Raport roczny 2011. Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Warszawa 2012.
4. Nowakowski T., Werbińska S., Maintenance modelling concepts - state of art. *International Journal of Materials and Structural Reliability* 2008, vol. 6, no 2: 229-254.
5. Nowakowski T., Werbińska S., On problems of multicomponent system maintenance modelling. *International Journal of Automation and Computing*, 2009, vol. 6, no 4: 364-378.
6. PKP PLK S.A., Dane na temat zdarzeń niepożądanych w wybranym regionie dla lat 2009-2011. Warszawa 2012.
7. Dziennik Ustaw nr 89 Poz. 593 (2007) - Rozporządzenie Ministra Transportu w sprawie poważnych wypadków, wypadków i incydentów na liniach kolejowych, Warszawa.
8. Renpenning F., Reliability Prediction in Railway Signalling. *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2004*.
9. Restel F.J., Measures of reliability and safety of rail transportation system. *Advances in Safety, Reliability and Risk Management - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2011*, pp. 2714-2719.
10. Restel F.J., Model zakłóceń w procesie transportowym na linii kolejowej. *XIX Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe, Targanice k. Andrychowa 2012*.
11. Restel F.J., Impact of infrastructure type on reliability of railway transportation system. *Journal of KONBiN* 2013, no 1, pp. 21-36.
12. Restel F.J., Train punctuality model for a selected part of railway transportation system. *proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2013*.
13. Sobków T., Czynniki ludzkie w bezpieczeństwie systemów kolejowych. *XIX Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe, Targanice k. Andrychowa 2010*.
14. Wilson J.R., Norris B.J., Human factors in support of a successful railway: a review. *Cognition, Technology & Work, Volume 8/no. 1, Springer 2005*.
15. Wopiński A., Z zagadnień niezawodności w systemach sterowania transportem kolejowym. *Problemy Kolejnictwa, zeszyt 68/69, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1976*.