

# Niezawodność człowieka w systemie sterowania ruchem kolejowym

Witold OLPIŃSKI<sup>1</sup>

## Streszczenie

Istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa działania złożonych systemów technicznych, takich jakimi są współczesne urządzenia i systemy sterowania ruchem kolejowym, ma niezawodność człowieka będącego jednym z elementów procesów realizowanych przez te systemy. W artykule podjęto próbę określenia zakresu ewentualnego zastosowania metod oceny niezawodności człowieka do systemów stosowanych w kolejnictwie. Omówiono podstawowe elementy analizy niezawodności człowieka i przedstawiono charakterystykę wybranych metod wykorzystywanych w tym celu.

W podsumowaniu dokonano próby uzasadnienia celowości zmiany dotychczasowej zasady bezwzględnego priorytetu decyzji człowieka nad poleceniami wypracowanymi przez systemy srk. Dotyczy to szczególnie sytuacji awaryjnych.

**Słowa kluczowe:** niezawodność człowieka, sterowanie ruchem kolejowym, bezpieczeństwo

## 1. Wprowadzenie

Współczesne urządzenia i systemy sterowania ruchem kolejowym (*srk*) są najczęściej produktami wysoce zaawansowanymi technologicznie, przeważnie skomputeryzowanymi. Systemy te są jednak tradycyjnie konstruowane w taki sposób, że praktycznie zawsze niezależnie od ich stanu własnego i od bieżącej sytuacji ruchowej, umożliwiają przejęcie kontroli nad prowadzeniem ruchu pociągów przez obsługującego człowieka. Priorytet człowieka jest z reguły bezwzględny, dlatego dotyczy w szczególności także stanów usterkowych i uszkodzeń. W złożonych systemach urządzeń, tylko niektóre uszkodzenia powodują zupełną utratę ich funkcjonalności i całkowite wyłączenie z pracy. Przy występowaniu zakłóceń operacyjnych, niektórych usterek i uszkodzeń, urządzenia mogą znaleźć się w stanie umożliwiającym ich wykorzystywanie w ograniczonym zakresie, przy niepełnej funkcjonalności. Praca urządzeń *srk* w trybie z ograniczoną funkcjonalnością (ang. *degraded mode*) wymaga zazwyczaj, aby odpowiedzialność za zapewnienie bezpieczeństwa ruchu była przeniesiona z urządzeń na obsługującego je człowieka.

Bezpieczne działanie systemu mierzone dopuszczalną częstością uszkodzeń, przy których może dojść do sytuacji niebezpiecznej, zależy oczywiście od całkowitej intensywności uszkodzeń, czyli od niezawodności systemu. W zależności od umiejscowienia człowieka w systemie, a tym samym od przypisanych mu funkcji, różny jest wpływ niezawodności jego

działania na niezawodność, a stąd i na bezpieczeństwo całego systemu.

## 2. Zastosowanie oceny niezawodności człowieka w kolejnictwie

Zagadnienia związane z oceną niezawodności człowieka (HRA – ang. *Human Reliability Assessment*) mogą być analizowane dla wielu różnych systemów technicznych, w których jednym z ogniw jest człowiek spełniający określone funkcje sterujące i kontrolne w przebiegu realizowanego procesu. Ta dziedzina badań związanych z niezawodnością i bezpieczeństwem została najbardziej rozwinięta w obszarze energetyki jądrowej oraz w lotnictwie.

W kolejnictwie, opisywana problematyka dotyczy w większym stopniu przytorowych urządzeń i systemów *srk* niż urządzeń pokładowych, choć w ich przypadku również może być częściowo rozpatrywana. W warunkach normalnych, pokładowe urządzenia bezpiecznej kontroli jazdy pociągu (*bkjp*) nadzorują wykonywanie poleceń maszynisty aby pociąg nie przekroczył końca odcinka, na który ma zezwolenie na jazdę i aby nie była przekraczana dozwolona prędkość jazdy. W stanie niepełnej funkcjonalności urządzeń pokładowych (lub przytorowych), może nastąpić przeniesienie bezpośrednio na maszynistę odpowiedzialności za jedno lub te oba ograniczenia.

<sup>1</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Ośrodek Koordynacji Projektów i Współpracy Międzynarodowej; e-mail: wolpinski@ikolej.pl.

Z powodu znacznie większej liczby rodzajów i typów eksploatowanych urządzeń oraz systemów, problematyka HRA ma dużo większe zastosowanie do urządzeń przytorowych niż do urządzeń pokładowych. Przy sprawnych urządzeniach *srk* rola człowieka w większym stopniu sprowadza się do wydawania ogólnych poleceń niż do szczegółowej kontroli zależności na poziomie warstwy podstawowej urządzeń. Do zasadniczych zadań urządzeń sterowania ruchem należy sprawdzanie stanów funkcjonalnych poszczególnych elementów wykorzystywanych do realizacji poleceń, w tym uwzględnianie aktualnej sytuacji ruchowej i ich wzajemnych zależności oraz eliminacja konfliktów, które mogłyby prowadzić do zagrożenia bezpieczeństwa. Część z tych funkcji może jednak zostać wyłączona na skutek zakłóceń operacyjnych, usterek lub uszkodzeń. Ciężar odpowiedzialności za zapewnienie bezpieczeństwa ruchu przesunęła się wówczas na człowieka. Jednak chwilowe i długoterminowe predyspozycje ludzi realizujących funkcje związane z bezpiecznym prowadzeniem ruchu pociągów nie są jednakowe i stałe w czasie.

Problem różnego stopnia niezawodności poszczególnych ludzi był dostrzegany również w czasach poprzedzających stosowanie skomplikowanych systemów *srk*, gdy na osobach bezpośrednio prowadzących ruch pociągów spoczywała znacznie większa odpowiedzialność. Mówiąc nieco żartobliwie o ówczesnej praktyce kolei, osoby nie wykazujące się wymaganą sprawnością jako dyżurni ruchu, w wyniku obserwacji ich działań otrzymywały „kopniak w górę” (awans) i były przesuwane na funkcje dyspozytorskie, gdyż tam ich niesprawność mogła skutkować co najwyżej opóźnieniem pociągów, ale nie prowadzić do bezpośredniego zagrożenia bezpieczeństwa.

Niektóre czynności wykonywane przez dyżurnych ruchu mogą bowiem prowadzić do niebezpiecznej sytuacji, chociaż nawet przed erą elektronicznych urządzeń *srk*, praktycznie od chwili powstania kolei, określone funkcje bezpieczeństwa były zaszyte w urządzeniach warstwy podstawowej. Podobne relacje odpowiedzialności i skutków działań, jak np. między dyspozytorem i dyżurnym ruchu, są dzisiaj zawarte w systemach *srk* między ich operatorem a urządzeniami szczególnie wykonawczymi, na poziomie warstwy podstawowej. Oznacza to, że w normalnych warunkach osoba obsługująca urządzenia nie może, nie łamiąc zabezpieczeń zaszytych w tych urządzeniach, doprowadzić do zagrożenia bezpieczeństwa. Nie powinny pozwolić na to w szczególności urządzenia *srk* o ile są sprawne. Zadaniem operatora obsługującego urządzenia (zwykle dyżurnego ruchu) jest nadzór nad całością działania posterunku i/lub odcinka ruchu, często z uwzględnieniem optymalizacji procesów, przestrzegania reżimów czasowych, procedur i prze-

pisów, a także komunikacji z osobami uczestniczącymi w realizacji procesu przewozowego.

Funkcje operatora urządzeń *srk* jako dyżurnego ruchu sprowadzają się natomiast do wydawania poleceń złożonych. Przykładowo, wydaje on polecenie przygotowania drogi przejazdu pociągu przez postępek z określonego toru wjazdowego na wybrany tor wyjazdowy i wyświetlenie odpowiednich sygnałów zezwalających. Za możliwość realizacji tego polecenia, prawidłowe przygotowanie i wykorzystanie niezbędnych elementów drogi przebiegu wyłącznie z zabezpieczeniem odpowiedniej ochrony bocznej oraz za wyświetlenie właściwych, odpowiadających istniejącej sytuacji ruchowej sygnałów na semaforach odpowiadają urządzenia. Analizując te relacje we współczesnych systemach *srk* pod względem niezawodności działania i bezpieczeństwa prowadzenia ruchu, dochodzi się do postawionego na wstępie pytania, czy nadal jest zasadne utrzymywanie bezwzględnego priorytetu poleceń człowieka nad poleceniami wypracowanymi przez urządzenia i systemy sterowania, zwłaszcza w stanie ograniczonej funkcjonalności. Rozważanie to należy poprzeć analizą jakościową i ilościową niezawodności człowieka jako ogniwa w procesie realizacji funkcji związanych z bezpieczeństwem ruchu pociągów.

### 3. Elementy jakościowej i ilościowej analizy niezawodności człowieka

Analiza niezawodności człowieka jako elementu realizacji zadań złożonego systemu technicznego ma za zadanie jakościowe rozpoznanie działań człowieka, które mogą wpływać na dostępność i niezawodność danego systemu oraz oszacowanie tego wpływu. Wśród nieprawidłowych działań człowieka, do których ilościowe można zaliczyć brak wykonania zadania, jego nieprawidłowe wykonanie, ale także wykonanie niewłaściwego zadania, niektóre w szczególnym przypadku mogą doprowadzić do dalszego ograniczenia lub pozbawienia możliwości realizacji przez system jego normalnych funkcji. Ta grupa nieprawidłowych działań zwykle nie jest przedmiotem analizy niezawodności człowieka. W celu przeprowadzenia HRA konieczne jest stworzenie modelu obejmującego czynniki wpływające na działanie człowieka – PSF (ang. *Performance Shaping Factors*).

Czynniki te dzielą się na zewnętrzne, związane ze środowiskiem, w którym człowiek wykonuje swoje czynności oraz na wewnętrzne, związane z predyspozycją i bieżącym stanem psychofizycznym człowieka. W przypadku urządzeń i systemów *srk* do czynników zewnętrznych można przykładowo zaliczyć konstrukcję systemu, procedury, instrukcje obsługi i przepisy,

sytuację ruchową lub warunki środowiskowe wykonywania pracy. Do czynników wewnętrznych należą cechy indywidualne osób, w tym np. ich wiedza, wykształcenie oraz stopień zaangażowania w wykonywaną pracę. Relacja między wymaganiami środowiska pracy, niewspółmiernymi z potencjałem i ograniczeniami człowieka wykonującego pracę, powoduje określone stresy psychologiczne i fizjologiczne na niego oddziałujące.

W zachowaniu się człowieka podczas realizacji zadań można wyróżnić cztery poziomy stresu zadaniowego, w tym trzy podstawowe: niski, optymalny i wysoki, odpowiadające niskiemu, normalnemu i dużemu obciążeniu zadaniami oraz bardzo wysoki, wiążący się ze stanem zagrożenia i powodowany reakcjami emocjonalnymi na zaistniałą sytuację wyjątkową. W modelowaniu PSF należy uwzględnić zależność i sprzężenie między poszczególnymi zadaniami, występujące między czynnościami jednej lub różnych osób realizujących dany proces, gdy powodzenie lub niepowodzenie wykonania jednego zadania wpływa na prawdopodobieństwo dobrego lub złego wyniku innego wykonywanego zadania.

W praktyce modelowania przyjmuje się zwykle od 3 do 5 stopni zależności między zadaniami. Istotną funkcję PSF może spełniać poziom świadomości skutków błędu. W zależności od rodzaju skutków i indywidualnych cech człowieka, ta świadomość może stanowić stres zmniejszający lub zwiększający ryzyko popełnienia błędu. Przykładem przewidywanych skutków błędu może być świadomość ryzyka spowodowania katastrofy, ale także obawa przed karą, w szczególności w postaci pieniężnej, do obciążenia skutkami spowodowanych strat włącznie. Jako dygresję można wspomnieć, że brak właściwej analizy stosowanego systemu kar finansowych nakładanych za spowodowanie opóźnienia pociągów na danym posterunku ruchu, traktowanych jako PSF, powoduje obserwowane błędne działania pracowników polegające na braku lub zbyt późnej próbie użycia systemu „Radio-stop” w sytuacji zauważonego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu, z obawy o poniesienie skutków finansowych swego działania.

W analizie niezawodności człowieka często rozpatruje się niezależnie jego działanie w dwóch grupach stanów eksploatacyjnych systemu, którymi są stany normalne oraz stany awaryjne. Wśród stanów normalnych znajduje się rozpoczęcie działania systemu (rozruch), wykorzystywanie w granicach jego zaprojektowanych cech konstrukcyjnych oraz zakończenie działania (wyłączenie). Stany awaryjne w postaci zakłóceń operacyjnych, usterek lub uszkodzeń urządzeń są powodowane albo zdarzeniami wewnętrznymi, jak utrata funkcjonalności elementów technicznych systemu, czy błędy obsługi przez człowieka (w tym przypadku traktowanego jako element wewnętrzny danego

systemu technicznego), albo zdarzeniami zewnętrznymi występującymi niezależnie od analizowanego systemu, ale wpływającymi na jego działanie. Zadaniem HRA jest modelowanie procesu realizacji zadań przez człowieka prowadzone drogą ich odpowiedniego wyboru, podziału na elementarne podzadania (kroki) oraz dokonaniu ilościowych ocen prawdopodobieństwa błędów wykonania. Zasadnicze znaczenie w działaniu większości współczesnych systemów i urządzeń *srk*, zarówno pokładowych, jak przytorowych, ma konstrukcja interfejsu człowiek – maszyna (MMI, ang. *Man – Machine Interface*, w przypadku urządzeń pokładowych DMI, ang. *Driver – Machine Interface*). Do tego interfejsu można zaliczyć:

- zasady współdziałania w postaci procedur, instrukcji i przepisów obsługi,
- przekazywanie informacji wyjściowych systemu przy użyciu wyświetlaczy, wskaźników, monitorów ekranowych, sygnalizatorów optycznych i akustycznych,
- przekazywanie informacji wejściowych (poleceń obsługi) przy użyciu przycisków, dźwigni, zaworów, klawiatur, ekranów dotykowych i innych manipulatorów włącznie z niestosowanymi w kolejnictwie czujnikami ruchu lub rozpoznawania głosu.

W warunkach normalnej eksploatacji systemu *srk* są wykonywane dwie zasadnicze grupy zadań związanych z bezpieczeństwem:

- 1) bieżące czynności sterujące i kontrolne obejmujące przyjmowanie informacji i wydawanie poleceń,
- 2) czynności związane z konserwacją, naprawą i testowaniem systemu z wyłączeniem działań podejmowanych w trakcie stanu awarii systemu.

Cechą działania w warunkach normalnej eksploatacji jest znacznie mniejsza potrzeba diagnozowania stanu systemu i podejmowania decyzji niż ma to miejsce w stanie awarii. Czynności są wykonywane według ustalonych i rutynowo realizowanych procedur obejmujących sposób działania przez wyuczone odruchy, czyli mniej lub bardziej podświadome powtarzanie zapamiętanych wzorców zachowań oraz przez wyuczone reguły, czyli świadome realizowanie zapamiętanych lub na bieżąco odczytywanych instrukcji. W stanie awaryjnym, o wiele częściej niż w stanie normalnej eksploatacji, konieczne jest stosowanie sposobu działania opartego na wiedzy, polegającego na rozpoznawaniu bieżącej sytuacji i podejmowaniu decyzji, nie zawsze ujętych w procedurach rutynowych.

Zasadniczym celem analizy niezawodności człowieka jest ocena prawdopodobieństwa popełnienia błędu oddziałującego na realizowany proces, a szczególnie na jego bezpieczeństwo. W HRA zazwyczaj stosowany jest podział błędów ludzkich w wykony-

waniu zadania na błędy jego braku oraz błędy jego przebiegu. Brak wykonania zadania może dotyczyć pominięcia realizacji całego zadania lub jego jednego bądź kilku kroków, o ile można dane zadanie podzielić na kroki. Błędy wykonania obejmują natomiast:

- nieprawidłowy wybór procedury działania lub wykorzystywanego urządzenia lub systemu,
- nieprawidłową obsługę urządzenia lub systemu, w tym nieprawidłowe wykonanie procedury lub jej kroku (kroków), o ile można je wyodrębnić, w tym w szczególności nieprawidłowe rozpoznanie stanu wejściowego lub wydanie nieprawidłowego polecenia,
- nieprawidłową kolejność wykonania zadań lub kroków danej procedury,
- nieprawidłowy czas wykonania czynności, w tym zbyt wczesne, zbyt późne, zbyt wolne, zbyt szybkie, zbyt długie lub zbyt krótkie wykonanie procedury lub jej kroku (kroków),
- nieprawidłową jakość wykonania czynności, w tym (o ile ma zastosowanie) zbyt słabe lub zbyt silne działanie, zbyt małą lub zbyt dużą liczbę powtórzeń w stosunku do wymaganej.

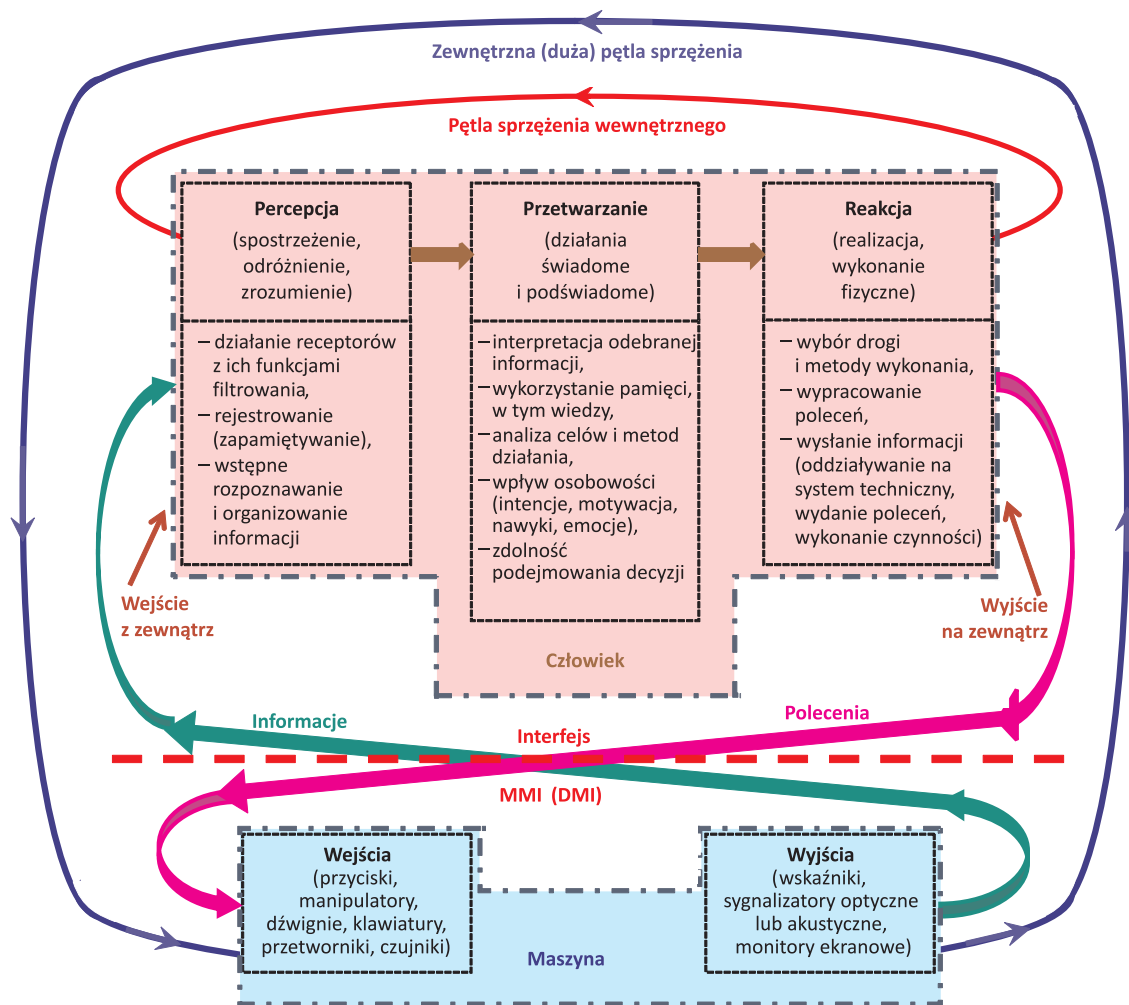
Na potrzeby HRA można stworzyć uproszczony model funkcjonalny człowieka w jego powiązaniu z systemem technicznym za pośrednictwem MMI (rys. 1). W tym modelu graficznie przedstawiono elementy kognitywnego zachowania się człowieka w procesie jego współdziałania z urządzeniami technicznymi (maszyną), tworzące złożony system techniczny. Realizacja zadań przebiega za pośrednictwem interfejsu człowiek – maszyna, przez który człowiek odbiera informacje i po ich przetworzeniu przekazuje w formie poleceń. W tym działaniu można wyróżnić wewnętrzną pętlę sprzężenia symbolizującą przebieg procesu myślowego, w którym końcowe decyzje mogą być wypracowywane drogą wielokrotnego analizowania ich skutków przed przekazaniem do wykonania w formie poleceń. Natomiast zewnętrzna, duża pętla sprzężenia obejmuje pełny cykl realizacji kroku działania, w którym informacje wejściowe, podlegające przetwarzaniu i stanowiące podstawę wydawanych poleceń, pochodzą z wyjść sterowanego urządzenia lub systemu i są aktualizowane, stanowiąc wejście następnego cyklu jako skutek wykonania przez urządzenie poleceń podanych w cyklu poprzednim. Wykorzystując przedstawiony model, można przeprowadzić ocenę niezawodności człowieka dla stanów awaryjnych, dzieląc przebieg procesu na etapy:

- 1) zajęcie zdarzenia rozpoczynającego stan awaryjny,
- 2) rozpoznanie warunków sytuacji awaryjnej drogą percepcji informacji wejściowych z wskaźników, sygnalizatorów optycznych i akustycznych, obrazów na monitorach ekranowych, w tym:
  - spostrzeżenie stanu zagrożenia i / lub sygnałów alarmowych,

- odróżnienie poszczególnych sygnałów alarmowych i ich cech charakterystycznych dla różnych stanów awaryjnych,
  - zrozumienie (interpretacja) stanu i jego zapamiętanie,
- 3) przetwarzanie informacji (diagnoza stanu awaryjnego) na podstawie informacji wejściowych oraz posiadanych i dostępnych danych, w tym działania podświadome i świadome, uzależnione od całości kształtu stanu psychofizycznego oraz motywacji, nawyków, emocji itp., a także wybór metody działania,
  - 4) reakcja, obejmująca wybór metody przekazania polecenia do obsługiwanych urządzeń oraz wykonanie fizyczne, polegające na realizacji czynności wydania poleceń.

Proces uczestnictwa człowieka w funkcjonowaniu złożonego systemu technicznego, w tym w szczególności w jego stanach awaryjnych, jest podzielony w celu ułatwienia analizy na etapy stanowiące składniki cząstkowe HRA. Etapom tym odpowiadają różne czynniki wpływające na działanie człowieka. W uproszczeniu, dla każdej z trzech grup czynności człowieka zawartych w modelu przedstawionym na rysunku 1, można zidentyfikować odpowiednie zestawy PSF. Zaprezentowany model może być wykorzystywany w różnych metodach ilościowej oceny ryzyka związanego z ewentualnymi błędami człowieka w procesie sterowania, zwłaszcza w stanach awaryjnych.

Analiza niezawodności człowieka, w tym jej ocena jakościowa i ilościowa, są względnie nowymi dyscyplinami nauki – zdecydowana większość źródeł w literaturze dotyczącej tej tematyki nie pochodzi sprzed 1980 roku. Interesującą pracą obejmującą przegląd metod HRA wykonano w brytyjskim Laboratorium Zdrowia i Bezpieczeństwa (HSL – ang. *Health and Safety Laboratory*) i przedstawiono w raporcie [1]. Pracę przeprowadzono na zlecenie HSE (ang. *Health and Safety Executive*) – brytyjskiej porządowej organizacji stojącej na straży zdrowia i bezpieczeństwa publicznego. W pracy dokonano przeglądu dostępnych w literaturze dotyczącej HRA opublikowanych przed jej zakończeniem (raport wydano w styczniu 2009 roku) oraz informacji o metodach i narzędziach stosowanych w HRA. Zidentyfikowano 72 takie informacje, z czego 37 nie odpowiadało założonym kryteriom, natomiast 35 poddano dalszej analizie. Wśród tych 35 narzędzi i metod HRA przeanalizowanych przez autorów raportu, 17 dotyczyło takich, które są na tyle uniwersalne, że mogą być wykorzystywane do innych celów niż te, dla których zostały opracowane. W raporcie HSL zawarto komentarze dotyczące pięciu elementów charakteryzujących poszczególne z tych 17 wyselekcjonowanych metod HRA. Należą do nich:



Rys. 1. Uproszczony model człowieka w powiązaniu, przez MMI, z systemem technicznym (maszyną) [opracowanie własne]

- 1) zakres metody, zastosowane podejście do zagadnienia, informacje o modelach wykorzystywanych w ramach tej metody,
- 2) zalety i wady metody rozpoznane przez autorów raportu na podstawie obiektywnych informacji dostępnych w literaturze naukowej,
- 3) komentarz dotyczący potencjalnych możliwości zastosowania metody, i o ile to możliwe, głównych obszarów ryzyka, którego analiza może być prowadzona z jej wykorzystaniem,
- 4) komentarz dotyczący przeprowadzonej walidacji metody,
- 5) informacja dotycząca zasobów wymaganych do zastosowania danej metody.

Z raportu wynika, że tylko 9 metod udostępniono do publicznego wykorzystania, natomiast pozostałe 8 metod nie jest publicznie dostępne. Metody możliwe do zastosowania należą do trzech grup:

- 1) metod tzw. pierwszej generacji, opracowanych do wspomaganie oceny ryzyka w zakresie przewidywania i oszacowania ilościowego podatno-

ści człowieka na popełnienie błędu; do tej grupy należą metody o akronimach THERP, ASEP, HEART i SPAR-H, przy czym metoda ASEP jest odmianą metody THERP przystosowaną do potrzeb Komitetu Nadzoru Atomistyki USA – USNRC (ang. *United States Nuclear Regulatory Commission*),

- 2) metod drugiej generacji, opracowywanych po 1990 roku jako próby rozważania kontekstu i błędów procesu przewidywania błędów człowieka, jednak bez informacji o wyższości tych metod nad metodami pierwszej generacji oraz bez dokonania (do czasu sporządzenia omawianego raportu) walidacji tych metod; należą do nich: ATHEANA oraz CREAM,
- 3) metod eksperckich, popularnych od 1980 roku, jednak stosowanych zwykle w mniej krytycznych zagadnieniach niż procesy o najwyższym stopniu zagrożenia bezpieczeństwa; należą do nich metody: APJ, PC oraz SLIM-MAUD, przy czym w literaturze spotyka się zróżnicowane oceny walidacji tych metod, chociaż są one nadal stosowane.

W omawianym raporcie nie dokonano analizy dwóch innych, często wykorzystywanych metod HRA, tj. metody HCR oraz TESEO. Jego autorzy stwierdzili, że twórcy metody HCR zaprzestali jej wspierania, natomiast metodę TESEO zaliczyli do grupy niedostępnych publicznie, jednak inne źródła [3, 4] uwzględniają ją w swoich rozważaniach. W dalszej części niniejszego artykułu omówiono kilka metod HRA, wybranych z racji ich lepszej od pozostałych podatności do zastosowania w innych obszarach niż w pierwotnych, dla których zostały opracowane i zastosowane przez ich twórców, co daje możliwość ich ewentualnego wykorzystania w kolejnictwie. Uzasadnieniem wyboru jest w szczególności zastosowanie pięciu z wymienionych metod do oceny wpływu postawy koordynatora morskiej akcji poszukiwawczo-ratowniczej (SAR, ang. *Search And Rescue action*) na jej efektywność [4], czyli przykład ich wykorzystania w zupełnie innej dziedzinie niż pierwotna, do tego nawet nienależącej do grupy relacji człowiek – maszyna, co świadczy o uniwersalności tych metod. Istotny wpływ na wybór dokonany na potrzeby niniejszego artykułu miała także opinia autorów przeglądu metod HRA [1] dotycząca obszaru potencjalnych zastosowań poszczególnych z nich.

## 4. Wybrane uniwersalne metody HRA oraz ich podatność w kolejnictwie

### 4.1. Metoda THERP

Metoda THERP (ang. *Technique for Human Error Rate Prediction*), której autorami są Swain i Guttman, opublikowana w 1983 roku [10] jest często stosowana do oceny jakościowej i ilościowej niezawodności człowieka, szczególnie w elektrowniach atomowych. Metoda polega na modelowaniu działań człowieka drogą analizy zadań i ich dekompozycji z wykorzystaniem podobnych drzew zdarzeń, jak stosowanych w inżynierskich metodach oceny ryzyka, służących do wyznaczania prawdopodobieństwa powodzenia wykonania danego zadania przez jednego człowieka lub przez grupę osób. Metoda pozwala na uwzględnianie czynników wpływających na wykonanie zadania (PSF) jako źródła współczynników korygujących nominalne prawdopodobieństwa przypisane elementom drzewa zdarzeń. Proces HRA z wykorzystaniem metody THERP przebiega w czterech etapach obejmujących:

- 1) określenie przedmiotu analizy, w tym ustalenie cech konstrukcyjnych i funkcjonalnych przedmiotowego systemu technicznego oraz informacji uzupełniających, pochodzących w szczególności od jego użytkowników,

- 2) analizę jakościową, obejmującą dekompozycję zadań realizowanych przez system i budowę drzew zdarzeń HRA,
- 3) analizę ilościową polegającą na wyznaczeniu nominalnych prawdopodobieństw błędu człowieka dla poszczególnych elementów drzewa, uwzględnieniu korekt na podstawie współczynników związanych z PSF oraz oceny zależności działań i wyznaczeniu końcowych wartości prawdopodobieństw,
- 4) przeprowadzenie analizy wrażliwości wyników i ich założone wykorzystanie.

Nominalne wartości prawdopodobieństw mogą być wyznaczone na podstawie bazy danych opracowanej przez autorów metody i zawartej w jej podręczniku [11], danych uzyskanych na podstawie własnych analiz wypadków i awarii, wyników prób i badań symulacyjnych oraz oceny subiektywnej, która może być, np. wynikiem dodatkowego zastosowania metody eksperckiej, takiej jak APJ (ang. *Absolute Probability Judgements*) [10], którą w 1983 roku opisali Seaver i Stillwell.

Podstawowym sposobem wykorzystywania metody THERP w energetyce jądrowej jest stosowanie danych dotyczących prawdopodobieństw i ich współczynników błędów, zasad korekt wartości wynikających z PSF oraz reguł uwzględniania zależności między błędami człowieka w ciągach zdarzeń podanych przez autorów metody. Zastosowanie tej metody w kolejnictwie wymagałoby opracowania analogicznego podręcznika jak [11], uwzględniającego specyfikę określonych systemów *srk*.

### 4.2. Metoda HEART

Metoda HEART (ang. *Human Error Assessment and Reduction Technique*), którą w 1985 roku po raz pierwszy przedstawił Williams [8, 13] jest względnie szybką i łatwą metodą ilościowej oceny ryzyka błędu ludzkiego. Metoda ta opiera się na kilku następujących założeniach:

- podstawowa niezawodność człowieka zależy od natury własnej zadania, które ma być wykonane,
- w warunkach idealnych ten poziom niezawodności jest osiągnięty przy założonej nominalnej wartości podatności w granicach prawdopodobieństwa,
- ponieważ takie warunki nominalne nie istnieją w żadnych okolicznościach, przewidywana niezawodność człowieka będzie gorsza jako wartość funkcji określającej zastosowanie zidentyfikowanych okoliczności powstawania błędów.

Twórcy metody przedstawili opracowaną przez siebie tablicę obejmującą 9 ogólnych rodzajów zadań (GTT, ang. *Generic Task Types*) z przypisanymi im no-

minalnymi wartościami prawdopodobieństwa błędu człowieka (HEP, ang. *Human Error Potential*) i związanych z nimi 38 warunkami wpływających powstanie błędu (EPC, ang. *Error Producing Conditions*) stanowiących mnożnik, o jaki musi być zwiększony HEP przy ich występowaniu. W wyniku obliczeń podaje się także wartości prawdopodobieństw dla 5 i 95 centyla.

Ogólne rodzaje zadań (GTT) i odpowiadające im wartości zawodności człowieka (HEP) według autorów metody przedstawiono w tablicy 1, natomiast w tablicy 2 przedstawiono przykładowe warunki wpływające na powstawanie błędów (EPC) i odpowiadające im wartości współczynników korekcyjnych, oszacowanej wagi wpływu (APOA, ang. *Assessed Proportion of Affect*) oraz wyliczenia wartości współczynnika wpływu.

Tablica 1  
Ogólne rodzaje zadań (GTT) i odpowiadające im wartości zawodności człowieka HEP

Rodzaj zadania (GTT)	Wartość HEP	Wartość dla 5 centyla	Wartość dla 95 centyla
Zadanie nieznanne, wykonywane w pośpiechu przy braku świadomości jego skutków	0,55	0,35	0,97
Przywrócenie stanu lub spowodowanie nowego stanu systemu bez nadzoru lub użycia procedur	0,26	0,14	0,42
Złożone zadanie wymagające skomplikowanego rozumowania lub dużej zręczności	0,16	0,12	0,28
Prostsze zadanie, ale wykonywane szybko lub z niedostateczną uwagą	0,09	0,06	0,13
Rutynowe, dobrze opanowane zadanie nie wymagające dużej zręczności	0,02	0,007	0,045
Przywrócenie lub spowodowanie nowego stanu systemu według procedur lub pod nadzorem	0,003	0,0008	0,007
Rutynowe, dobrze opanowane zadanie wykonywane przez osobę dobrze wyszkoloną	0,0004	0,00008	0,009
Reakcja na sygnał z systemu automatycznego nadzoru z dokładnym opisem stanu systemu	0,00002	0,000006	0,0009
Inne zadania wykonywane bez znajomości ich opisu	0,03	0,008	0,11

Tablica 2  
Przykładowe czynniki powodujące powstawanie błędów (EPC) i odpowiadające im współczynniki korekcyjne i wartości współczynników wpływu

Czynnik (EPC)	Wartość współczynnika korekcyjnego (mnożnik)	Względna waga wpływu EPC (APOA)	Wyliczenie wartości współczynnika wpływu
Brak doświadczenia	× 3	0,4	$(3-1) \times 0,4 + 1 = 1,8$
Niewłaściwa technologia	× 6	1,0	$(6-1) \times 1,0 + 1 = 6,0$
Złe rozpoznanie ryzyka	× 4	0,8	$(4-1) \times 0,8 + 1 = 3,4$
Sprzeczność celów działania	× 2,5	0,8	$(2,5-1) \times 0,8 + 1 = 2,2$
Niskie morale	× 1,2	0,6	$(1,2-1) \times 0,6 + 1 = 1,1$

Przenosząc na grunt kolejowy przykłady podane w [1, 3, 7] i korzystając z metody HEART, spróbujemy oszacować ryzyko niepowodzenia operacji obejścia zależności i wydania zezwolenia na przejazd pociągu przez posterunek ruchu z wykorzystaniem sygnału zastępczego. Przyjmijmy do tego założenia, że pracownik pełniący funkcję dyżurnego ruchu i wykonujący zadanie, ma niewystarczające doświadczenie w pracy na danym posterunku i zainstalowanych tam urządzeniach *srk*, nie zdaje sobie sprawy z ryzyka podejmowanych czynności, stosuje niewłaściwą technologię polegającą na pominięciu istotnych kroków odpowiedniej procedury, do tego zachodzi konflikt celów działania, gdyż z jednej strony zadaniem dyżurnego ruchu jest zapewnienie bezpieczeństwa ruchu pociągów, z drugiej strony znajduje się pod presją ryzyka otrzymania kary pieniężnej za spowodowanie opóźnienia pociągu. Zakładając także, że niedostateczny nadzór nad pracą tego dyżurnego doprowadził do obniżenia się jego morale skutkującego nienależytą starannością wykonywania czynności.

Założenia te prowadzą do wyboru ogólnego rodzaju zadania (GTT) z tablicy 1, możliwego do określenia w analizowanym przykładzie jako „spowodowanie nowego stanu systemu według procedur”, gdyż istnieją odpowiednie procedury do zrealizowania tego zadania. Wynosi ono 0,003 przy wartościach granicznych dla centyli 5 i 95, wynoszących odpowiednio 0,0008 i 0,007. Z dalszego opisu wynika, że należy zastosować wszystkie współczynniki korekcyjne, zawarte w tablicy 2, gdyż występuje brak doświadczenia pracownika, który nie zdaje sobie sprawy

z ryzyka związanego ze skutkami realizowanego zadania, pomija istotne elementy procedury, ponieważ jego obniżone morale przejawia się niestannością działania, a do tego występuje konflikt celów działania zachęcający do skrócenia czasu przejazdu pociągu przez posterunek, pomimo naruszenia tym samym celu, jakim jest zapewnienie bezpieczeństwa ruchu. Wybrane wartości prowadzą do obliczenia nominalnej wartości prawdopodobieństwa popełnienia błędu dla tego przypadku. Wynosi ono:

$$0,003 \times 1,8 \times 6,0 \times 3,4 \times 2,2 \times 1,1 = 0,27.$$

Powtórzenie obliczeń dla tego przypadku z wykorzystaniem granicznych wartości GTT daje odpowiednio wartości: 0,07 (5%) oraz 0,62 (95%). Należy przy tym zauważyć, że stosowana metoda obliczeń pozwala uzyskać wynik, którego wartość przekracza jedność. W takim przypadku przyjmuje się maksymalną możliwą wartość prawdopodobieństwa, wynoszącą 1,00. Zsumowanie wartości współczynników wpływu wybranych dla danego analizowanego przypadku (dające dla powyższego przykładu wartość 14,5) pozwala na ocenę względnego wpływu poszczególnych czynników EPC przez podzielenie wartości dla poszczególnych wpływów przez tą sumę. W przedstawionym przykładzie taki względny wpływ wynosi odpowiednio: dla braku doświadczenia – 12,4%, dla nieodpowiedniej technologii – 41,4%, dla złego rozpoznania ryzyka – 23,4%, dla konfliktu celów – 15,2% i dla obniżonego morale – 7,6%.

Zaletą metody HEART jest jej prostota i możliwość szybkiego uzyskania wyników oraz powiązanie ważniejszych czynników wpływających na błędy działania człowieka z ich szacowanym prawdopodobieństwem. Liczba wad tej metody jest dłuższa i obejmuje w szczególności:

- traktowanie zadań w oderwaniu i brak modelu uwzględniającego zależności między kolejnymi zadaniami (i błędami), co może dawać nieprawidłowe wyniki w ocenie ryzyka błędów,
- założenie pierwotne, dotyczące niezależności czynników wpływających na powstawanie błędów człowieka (EPC), co również może prowadzić do znaczących błędów uzyskiwanych wyników,
- brak udokumentowanych źródeł wartości zawodności człowieka (HEP) dla poszczególnych ogólnych rodzajów zadań (GTT) pomimo dość dobrych wyników walidacji tej metody.

Przeprowadzono natomiast empiryczną walidację metody HEART [8] wykazującą znaczącą korelację wartości wyliczonych z wartościami rzeczywistymi (doświadczalnymi).

### 4.3. Metoda TESEO

Metoda TESEO (od włoskiego *Technica Empirica Stimma Errori Operatori*, czyli Doświadczalna metoda oceny błędów operatora), którą w 1980 r. opracowali Bello i Colombari [2], jak wskazuje jej nazwa, jest metodą w pewnym stopniu empiryczną. Wykorzystywany w tej metodzie model opracowano pierwotnie do szacowania prawdopodobieństwa błędu operatora systemu. Zadaniem operatora jest wykonanie określonego zadania. Model uwzględnia pięć czynników wpływających na ryzyko popełnienia błędu przez operatora,  $K_1 \dots K_5$ . Wartości współczynników przypisanych poszczególnym czynnikom przewidzianym przez autorów systemu pobierane są z opracowanych przez nich tablic. Uwzględniono następujące czynniki wewnętrzne i zewnętrzne oddziałujące na operatora:

- $K_1$  – rodzaj realizowanego zadania,
- $K_2$  – czas dostępny na realizację zadania (nazwany tu wstępnie czynnikiem stresu),
- $K_3$  – charakterystyka człowieka spełniającego funkcję dyżurnego ruchu, w tym szczególnie jego przygotowanie do pełnienia powierzonej mu funkcji z uwzględnieniem jego wykształcenia lub nawyków,
- $K_4$  – stan emocjonalny operatora (nazwany tu czynnikiem obawy),
- $K_5$  – charakterystyki środowiska, w tym MMI (nazwany tu czynnikiem ergonomicznym).

Obliczenie prawdopodobieństwa błędu człowieka polega na przemnożeniu przez siebie wartości współczynników pobranych dla tych pięciu czynników z tablic opracowanych przez autorów metody. Wadami metody TESEO są:

- brak informacji dotyczących podstaw teoretycznych metody, w tym danych uwzględnionych przy tworzeniu modelu i uzasadnienia dla uwzględniania tylko pięciu czynników,
- brak dowodu słuszności dla założonej liniowości modelu (polegającej na prostym mnożeniu wybranych wartości dokładnie pięciu współczynników).

Metoda ma jednak niezaprzeczalne zalety, do których należy przede wszystkim jej prostota, łącznie z łatwą do przeprowadzenia analizą wrażliwości wpływu zmian wartości poszczególnych współczynników na wynikowe prawdopodobieństwo błędu człowieka. Ponadto ocena porównawcza jej wyników z wynikami uzyskanymi za pomocą innych metod pokazuje dość dużą zgodność tych wyników.

### 4.4. Metoda HCR

Metoda HCR (ang. *Human Cognitive Reliability*), którą w 1985 roku opracował Hannaman ze współpracownikami [6] nie jest tak prosta, jak metody opi-



sane w poprzednich podrozdziałach niniejszego artykułu i wymaga przeprowadzenia bardziej złożonych obliczeń. W modelu wykorzystywanym w tej metodzie uwzględnia się w szczególności:

- czas dostępny na realizację zadania,
- średnią wartość czasu wystarczającą zwykle na wykonanie zadania w warunkach normalnych,
- współczynniki korekcyjne zależne od typu czynności i biorące pod uwagę wiele czynników, jak wiedza i wykształcenie wykonawcy zadania, poziom stresu, w jakim się on znajduje podczas wykonywania czynności, warunki zewnętrzne, w tym ergonomię interfejsu MMI oraz wiele innych.

Zastosowanie wartości współczynników korekcyjnych, związanych z poszczególnymi czynnikami wpływającymi na prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka w modelu opracowanym przez autorów metody, wymaga jego kalibracji metodami symulacyjnymi, eksperckimi lub analizą statystyczną wcześniej zaistniałych i udokumentowanych zdarzeń. Zaletami metody są: jej efektywność i uwzględnianie w modelu różnorodnych czynników wpływających na niezawodność człowieka. Do wad metody HCR należą:

- ograniczony zakres jej zastosowań,
- uwzględnienie w modelu tylko jednego rodzaju błędu, tj. braku poprawnej reakcji człowieka,
- niejasne reguły podziału sposobu przetwarzania informacji przez człowieka na czynności odruchowe, wykorzystujące procedury i oparte na wiedzy,
- uwzględnienie czasu jako czynnika najbardziej znaczącego przy równoczesnym założeniu niewielkiego wpływu innych czynników,
- niezbędna kalibracja modelu przy użyciu symulatora zdarzeń lub innych równoważnych metod,
- brak uwzględnienia zależności zdarzeń (omawiane wcześniej).

#### 4.5. Zastosowanie procedury SHARP (ang. *Systematic Human Action Reliability Procedure*)

SHARP nie jest metodą HRA, lecz procedurą, którą w 1984 roku opracowali Hannaman i Sprugin. Porządkuje ona w 7 krokach działania związane z uwzględnieniem w logicznym modelu systemu technicznego zdarzeń związanych z błędami człowieka. Poniżej podano angielskie nazwy kroków postępowania i określono ich cele:

1. *Definition* – określenie problemu, mające na celu zapewnienie, że wszystkie przewidywalne rodzaje wpływu działań człowieka i ich błędów są uwzględnione w analizie.
2. *Screening* – przesiewanie, mające na celu wyodrębienie tych wpływów i błędów człowieka, które

mają istotne znaczenie dla bezpieczeństwa procesów realizowanych przez analizowany system.

3. *Breakdown* – podział, który polega na szczegółowym opisie poszczególnych oddziaływań w celu wyodrębnienia czynników istotnych w tworzonym modelu i ułatwiający tworzenie drzewa zdarzeń.
4. *Representation* – przedstawienie istotnych wpływów w postaci wybranej metody modelowania i opracowanego modelu.
5. *Impact assesment* – przeprowadzenie badania oddziaływania człowieka i błędów jego działania dla poszczególnych zdarzeń, umożliwiające zlokalizowanie ich w modelu logicznym systemu technicznego.
6. *Quantification* – ocena ilościowa oparta na wykorzystaniu modelowania oraz zasobów danych w celu określenia wartości prawdopodobieństw poszczególnych błędów oraz dokonanie analizy wrażliwości wyników i określenia przedziałów niepewności.
7. *Documentation* – odpowiednie udokumentowanie wszelkich czynności wykonanych w procesie oceny wpływu działań człowieka i jego błędów, czyli analizie jego niezawodności (HRA) w sposób pozwalający na wykorzystanie wyników oraz odtworzenie i zrozumienie przebiegu przeprowadzonej analizy.

#### 4.6. Możliwość wykorzystania opisanych metod w kolejnictwie

Praktycznie żadna z przedstawionych metod HRA nie nadaje się bezpośrednio do zastosowania w kolejnictwie. Dla większości metod konieczne byłoby sporządzenie odpowiednich tablic zawierających przystosowany do potrzeb kolejnictwa zestaw zadań ogólnych (GTT) i czynników wpływających na prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka (EPC) oraz określenie wartości współczynników powiązanych z tymi zadaniami i czynnikami, stosowanymi następnie w obliczaniu prawdopodobieństw błędów człowieka w wybranym modelu oraz metody HRA. Możliwe jest wykorzystanie do tego celu wszystkich znanych i sprawdzonych sposobów postępowania lub tylko określonych, wybranych spośród nich ze względu na ich dostępność. Do takich sposobów należą przede wszystkim wszelkie metody eksperckie, metody symulacyjne oraz analiza danych zgromadzonych w procesie eksploatacji systemów technicznych, zarówno identycznych jak i podobnych do mających być poddanych HRA.

### 5. Podsumowanie i wnioski

Wydaje się celowe rozpowszechnienie metod analizy i oceny niezawodności człowieka w kolejnictwie, szczególnie w obszarze tworzenia i stosowania złożonych systemów technicznych wykorzystywanych

w sterowaniu ruchem kolejowym. Dzisiejsze rozwiązania urządzeń i systemów *srk* opierają się na tradycyjnym podejściu do relacji pomiędzy człowiekiem a maszyną przyznając w niej bezwzględny priorytet człowiekowi. Można zadać pytanie, czy jest to podejście zapewniające największe możliwe bezpieczeństwo realizowanych procesów, w tym przypadku regulację następstwa pociągów oraz wykorzystywania dostępnych elementów ich drogi jazdy, czyli w ogólności, bezpiecznego prowadzenia ruchu pociągów. Wydaje się również nieprzypadkowe, że większość metod analizy i oceny niezawodności człowieka, jako elementu złożonego systemu technicznego, stanowiącego ogniwo w łańcuchu kroków realizowanych procesów, na początku powstało w obszarze energetyki jądrowej. Metody te są stosowane przede wszystkim we wszystkich tych dziedzinach, gdzie zasadniczą wagę przywiązuje się do zapewnienia bezpiecznych skutków wykonywanych czynności, w tym w szczególności przynależnych człowiekowi włączonemu w cykl działań. Zwłaszcza wyjątkowo duże znaczenie ma funkcjonowanie systemu w stanach awaryjnych, kiedy prawidłowe postępowanie człowieka może być dodatkowo powiązane z silnym stresem stanowiącym czynnik zwiększający prawdopodobieństwo popełnienia przez niego błędu. Metody HRA znalazły zastosowanie oprócz energetyki jądrowej w tak różnych dziedzinach, jak: przemysł chemiczny [12], badania kosmiczne, ruch lotniczy [9], narażenia infrastruktury krytycznej [14] lub prowadzenie akcji ratowniczych [4]. W dostępnej literaturze brakuje informacji o wykorzystywaniu tych metod w sektorze wojskowym, ale wydaje się prawdopodobne, że i tam znalazły już one swoje odpowiednio szerokie zastosowanie.

Wprowadzenie metod oceny niezawodności człowieka w systemach *srk* może doprowadzić do zmian w podejściu do ich konstruowania i wykorzystywania, gdyż nawet niezbyt głęboka analiza jakościowa i ilościowa prawdopodobieństwa błędów prowadzi do wniosku, że poziom bezpieczeństwa współczesnych złożonych, elektronicznych, a w większości skomputeryzowanych urządzeń i systemów *srk* cechuje niezawodność i poziom integralności bezpieczeństwa o kilka rzędów wartości lepsze niż najlepsze szacunki odnoszące się odpowiednio do działań człowieka.

Przewodzi to do konkluzji, że być może osiągnięty poziom bezpieczeństwa systemów *srk* uzasadnia już zmianę podejścia do tradycyjnych zasad ustalania relacji między urządzeniami a obsługującym je człowiekiem. Zmiana dotyczyłaby sytuacji sprzeczności decyzji człowieka z warunkami wypracowanymi przez urządzenia, gdy do tego decyzje człowieka mogłyby doprowadzić do sytuacji niebezpiecznej. W takich okolicznościach możliwe byłoby przyjęcie zasady, że wykonywane są decyzje wypracowane przez urządzenia, przy czym jednak chyba należałoby pozostawić

możliwość zmiany tych decyzji przez człowieka, jednak na tyle obwarowane proceduralnie oraz utrudnione w wykonaniu, aby operator systemu miał czas i możliwość dostatecznie głębokiego przemyślenia swoich działań. Można także wyodrębnić grupę sytuacji, w których nie byłoby możliwe wymuszenie przez człowieka działań realizowanych przez system, o ile z założenia prowadziłyby one do sytuacji bezpiecznej.

Należy zwrócić uwagę, że w odróżnieniu od urządzeń, człowiek podlega specyficznym dla niego czynnikiem wpływającym na jego działanie, w tym wszelkim okolicznościom stresogennym. Dlatego jego działania, szczególnie w sytuacji awaryjnej, są obciążone większym ryzykiem błędu niż decyzje zaszyte w algorytmach działania urządzeń. Urządzenia nie myślą, lecz beznamyślnie realizują zadane z góry czynności, opracowane z reguły przy uczestnictwie odpowiednio licznej grupy zaangażowanych w to osób, pracujących normalnie w trybie niepowodującym narażenia ich na błędy zintensyfikowane czynnikami wywołującymi stres. Dlatego szczególnie w stanach awaryjnych wydaje się celowe odebranie człowiekowi możliwości wdrożenia działań mogących prowadzić do niebezpiecznej sytuacji w prowadzeniu ruchu pociągów.

## Literatura

1. Bell J., Holroyd J.: *Review of human reliability assessment methods*, Research Report No.679, Health and Safety Executive, 2009.
2. Bello G.C., Colombari V.: *The Human Factors in Risk Analyses of Process Plants: The Control Room Operator Model (TESEO)*, Reliability Engineering, Volume 1, pp. 3–14, 1980.
3. Borysiewicz M.: *Wykorzystanie probabilistycznych analiz bezpieczeństwa (PSA) w tworzeniu wymogów bezpieczeństwa dla elektrowni jądrowych*, Warszawa, 2010.
4. Burciu Z., Soliwoda J.: *Wpływ koordynatora akcji SAR na jej efektywność*, Zeszyty Naukowe Akademia Morska w Szczecinie, nr 18(90), str. 14-19, 2009.
5. Dhillon, B. S.: *Human Reliability, Error, and Human Factors in Power Generation*, CRC Press 2009, e-Book, 2014.
6. Hannaman G.W., Spurgin A.J., Lukic Y.: *A Model for Assessing Human Cognitive Reliability in PRA Studies*, IEEE Third Conference on Human Factors in Nuclear Power Plants, Monterey, California, pp. 23–27, Czerwiec 1985.
7. Human error assessment and reduction technique, dostępny na WWW [http://en.wikipedia.org/wiki/Human\\_error\\_assessment\\_and\\_reduction\\_technique](http://en.wikipedia.org/wiki/Human_error_assessment_and_reduction_technique), [dostęp 12.08.2014].
8. Kirwan B.: *The validation of three human reliability quantification techniques*, THERP, HEART

- and JHEDI: Part 1 – technique descriptions and validation issues. *Applied ergonomics*, 27, (6), pp. 359–373, 1996; Part II – results of validation exercise. *Applied ergonomics*, 28 (1), pp. 17–25, 1997; Part III – Practical aspects of the usage of the techniques, *Applied Ergonomics*, Vol. 28, No 1, pp. 27–39, 1997.
9. Merkisz J., Galant M., Markowski J., Karpiński D.: *Ocena wybranych metod analizy niezawodności człowieka (HRA) w aspekcie ich wykorzystania w transporcie lotniczym*, *Logistyka*, nr 6, str. 7285–7292, 2014.
  10. Seaver D.A., Stillwell W.G.: *Procedures for using expert judgement to estimate human error probabilities in nuclear power plant operations*, NUREG/CR-2743, Washington, DC 20555, 1983.
  11. Swain A.D., Guttman H.E.: *Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications*, Final report, US Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-1278, Washington, DC, 1983.
  12. Szymura E., Zimoch I.: *Niezawodności operatora w szacowaniu ryzyka eksploatacji systemów przemysłowych*, *Przemysł Chemiczny*, T. 93, nr 1, str. 111-116, 2014.
  13. Williams J.C.: *HEART – A Proposed Method for Achieving High Reliability in Process Operation by Means of Human Factors Engineering Technology*, *Safety and Reliability, The Journal of Safety and Reliability Society*, Volume 35, Issue 3, 2015.
  14. Zio E.: *Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures*, *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 152, August 2016.

## Human Reliability in Railway Signalling System

### Summary

The human reliability is a factor of great importance for the safe operation of complex technical systems, such as the modern railway signalling equipment and systems, in which an individual is one of elements in processes performed by these systems. The article attempts to define the human reliability assessment possible application in railway signalling systems. The basic human reliability analysis elements and characteristics of selected methods applied for this purpose are discussed. The attempt at justification for reasonableness of the current rule change, which requires the absolute priority of the human decision over the orders worked out by the signalling system is given in the summary. Such a change would be particularly applicable to the degraded mode states.

**Keywords:** human reliability, railway signalling, safety

## Человеческая надежность в системе управления железнодорожным движением

### Резюме

Важное значение для обеспечения безопасной работы сложных технических систем, какими являются современные устройства и системы управления железнодорожным движением, имеет надежность человека, составляющего собой один из элементов процессов реализованных этими системами. В статье была принята попытка определить объем возможного употребления методов оценки надежности человека в системах употребляемых в железнодорожном транспорте. Были разработаны основные элементы анализа человеческой надежности и охарактеризованы избранные методы использованные с этой целью. В итогах была принята попытка обоснования целесообразности изменения прежнего правила безусловного приоритета человеческого решения перед командами систем управления железнодорожным движением. Это касается особенно нестандартных ситуаций.

**Ключевые слова:** надежность человека, управление железнодорожным движением, безопасность