



Jakub Marciniak*  <https://orcid.org/0000-0002-2243-549X>
Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi
e-mail: jakuboslaw1@gmail.com

Maciej Puchała**  <https://orcid.org/0000-0001-7723-1913>
Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi
e-mail: m_puchala@wp.pl

Innowacyjne systemy sterowania ruchem kolejowym stosowane na sieci PKP – cz. II

https://doi.org/10.25312/2391-5129.34/2022_07mjmp

Publikacja ma na celu ukazanie funkcjonowania komputerowych systemów zależnościowych na sieci Polskich Kolei Państwowych w strukturze przedsiębiorstwa Polskich Linii Kolejowych S.A., które jest narodowym zarządcą infrastruktury kolejowej. Przedstawione zostało z technicznego punktu widzenia funkcjonowanie komputerowego systemu zależnościowego Ebilock produkcji firmy Bombardier Transportation. Omówiono także techniczny aspekt bezpieczeństwa i niezawodności urządzeń. Zaprezentowano analizę porównawczą urządzeń komputerowych i urządzeń sterowania ruchem starszych typów. W pracy znalazły się ponadto informacje na temat oceny wdrożenia urządzeń komputerowych w praktyce.

Słowa kluczowe: sterowanie ruchem kolejowym, bezpieczeństwo ruchu pociągów, interoperacyjność

* Inż. Jakub Marciniak – absolwent studiów inżynierskich na Wydziale Techniki i Informatyki Akademii Humanistyczno-Ekonomicznej w Łodzi, autor pracy dyplomowej *Analiza komputerowych systemów zależnościowych stosowanych w sterowaniu ruchem pociągów na sieci Polskich Kolei Państwowych* (Marciniak, 2022).

** Dr inż. Maciej Puchała – adiunkt w Katedrze Systemów Transportu na Wydziale Techniki i Informatyki Akademii Humanistyczno-Ekonomicznej w Łodzi, promotor pracy dyplomowej *Analiza komputerowych systemów zależnościowych stosowanych w sterowaniu ruchem pociągów na sieci Polskich Kolei Państwowych* J. Marciniaka.

Wprowadzenie

Ruch pociągów charakteryzuje się nieustanną koniecznością nadzoru nad jego bezpiecznym, punktualnym, sprawnym i efektywnym funkcjonowaniem. Zadania te realizuje zespół urządzeń, zwanych urządzeniami sterowania ruchem kolejowego, z udziałem wykwalifikowanych pracowników obsługi. Praca osób odpowiedzialnych za prowadzenie ruchu kolejowego może odbywać się w sposób tradycyjny, gdzie pracownik sam przy wykorzystaniu odpowiednich urządzeń obsługuje urządzenia sterowania ruchem kolejowym oraz przez nadzór, gdzie całość procesu realizacji dróg przebiegu dla pociągów realizuje system sterowania ruchem kolejowym. Od początków funkcjonowania kolei konieczne było wprowadzenie pewnych zasad, na których opierało się kursowanie pociągów na stacjach i szlakach kolejowych. W miarę rozwoju kolejnictwa i techniki rozwijały się systemy sterowania ruchem kolejowym, które stanowią fundament czynności związanych z prowadzeniem ruchu kolejowego.

Pierwotne systemy zabezpieczeń zawierały się w dwóch obszarach – zabezpieczeń stacyjnych i zabezpieczeń liniowych. Zadania te spełniała blokada, czyli zespół urządzeń i czynności uzależniających prowadzenie ruchu kolejowego w obrębie szlaku bądź posterunku ruchu. Mechaniczne kluczowe, mechaniczne scentralizowane i elektromechaniczne urządzenia sterowania ruchem opierały się na zasadzie współdziałania bloków elektromechanicznych pomiędzy posterunkami technicznymi w obrębie posterunku ruchu oraz pomiędzy sąsiednimi posterunkami następczymi. Umożliwiało to bezpieczne prowadzenie ruchu pociągów w myśl zasady, że na jednym torze może znajdować się jeden skład. Taki rodzaj zabezpieczeń liniowych nazywamy półsamoczynną blokadą liniową. Zwiększenie przepustowości często wielokilometrowych szlaków kolejowych spowodowało konieczność podzielenia ich na krótsze odstępy, dzięki czemu na jednym torze szlakowym mogło znajdować się tyle pociągów, ile odstępów, zazwyczaj nie więcej niż 2–3 składy.

Postępująca automatyzacja przyniosła wprowadzenie samoczynnej blokady liniowej szczególnie na liniach magistralnych i pierwszorzędnych, dzięki czemu zwiększyła się liczba odstępów, a co za tym idzie – przepustowość szlaków kolejowych. Dodatkowym atutem była, jak nazwa wskazuje, samoczynność pracy, przez co nie było konieczności zatrudniania dodatkowego personelu do obsługi poszczególnych odstępów, gdyż bieżącą obserwacją nad poprawnością działania systemu zajmowała się dotychczasowa obsługa posterunków zapowiadawczych.

Wprowadzenie pierwszych samoczynnych blokad liniowych na sieci Polskich Kolei Państwowych zbiegło się z wprowadzeniem urządzeń przekąźnikowych sterowania ruchem kolejowym (początek lat sześćdziesiątych XX wieku). Urządzenia te w przeciwieństwie do urządzeń mechanicznych starszego typu zmieniły charakter pracy personelu obsługi, a więc dyżurnych ruchu, nastawniczych czy zwrotniczych. Dotychczasowa obsługa urządzeń mechanicznych była dłuższa, bardziej skomplikowana i mniej przejrzysta; wymagała też użycia siły fizycznej pracowników. Obsługa

urządzeń przekaźnikowych przy wykorzystaniu pulpitu nastawczego odbywała się w większości przypadków z jednego miejsca (w zależności od złożoności i wielkości pulpitu). Dzięki temu osiągnięto mniejszy stopień czasochłonności wykonywania poleceń nastawczych.

Urządzenia przekaźnikowe były poprzednikami komputerowych systemów zależnościowych, jednak przed rozwojem tych drugich eksperymentowano z połączeniem tradycyjnych urządzeń przekaźnikowych z pulpitemi komputerowymi jako elementami wykonawczymi całości systemu sterowania ruchem kolejowym. Pomyślne testy przyniosły wdrożenie urządzeń przekaźnikowo-komputerowych, zwanych hybrydowymi, do eksploatacji na sieci Polskich Kolei Państwowych. Zastosowanie komputerowych pulpitu nastawczych dało takie korzyści, jak (Marciniak, 2022):

- poprawienie ergonomii pracy i wygody obsługi,
- umożliwienie zainstalowania dowolnej liczby awaryjnych stanowisk obsługi (pulpitów komputerowych),
- możliwość powiązania z innymi systemami informatycznymi,
- możliwość zmiany oprogramowania,
- możliwość bieżącego doskonalenia komputerowych pulpitu nastawczych na podstawie obserwacji ich eksploatacji,
- możliwość łatwej zmiany lokalizacji stanowiska operatorskiego,
- wyeliminowanie wad klasycznych pulpitu nastawczych,
- łatwość zmiany sprzętu,
- łatwy demontaż w przypadku zawieszenia pracy eksploatacyjnej.

Wprowadzenie pulpitu komputerowych w połączeniu z urządzeniami przekaźnikowymi przyniosło swego rodzaju rewolucję w sterowaniu ruchem. Praca możliwa była do wykonywania przy pomocy jednego z urządzeń peryferyjnych – myszy komputerowej bądź klawiatury. Każde polecenie mogło być wydane dzięki jednemu urządzeniu dostępnemu w zasięgu ręki.

Zastosowanie pulpitu komputerowych było krokiem milowym do zastosowania komputerowych systemów zależnościowych. Połączenie urządzeń przekaźnikowych z pulpitemi komputerowymi przyniosło duże zmiany w aspekcie wydawania poleceń nastawczych, jednak kwestia związana z systemem nadal opierała się na znanych od kilkudziesięciu lat układach przekaźników realizujących i wykluczających możliwość wydawania sprzecznych poleceń nastawczych. Dlatego kolejne lata przyniosły wdrożenie komputerowych systemów zależnościowych, które stopniowo zastępują urządzenia starszego typu.

Pojęcie zależności w sterowaniu ruchem pociągów

W obrębie posterunków ruchu przejazd pociągów oraz manewrów pociągowych realizowany jest po drogach przebiegów. Drogi przebiegów składają się z czterech podstawowych elementów:

- drogi jazdy,
- drogi ochronnej,
- ochrony bocznej,
- odcinka zbliżania i oddalania.

Droga jazdy jest to odcinek toru w obrębie posterunku ruchu, po którym porusza się pociąg, realizując przebieg. Składa się ona z rozjazdów, wykolejnic, semaforów i innych zewnętrznych urządzeń sterowania ruchem kolejowym, które umożliwiają jazdę pociągową poprzez swój stan, w jakim w danym momencie się znajdują.

Droga ochronna jest to odcinek toru za semaforem wskazującym sygnał stój, na którą może wjechać pociąg w trakcie realizacji przebiegu w wyniku warunków uniemożliwiających przeprowadzenie poprawnego hamowania składu (śliska powierzchnia główki szyn, zanieczyszczenie toru). Wynosi ona 50 metrów w przypadku prędkości eksploatacyjnej do 60 km/h oraz 100 metrów przy wyższych prędkościach. Należy nadmienić, iż hamowanie powinno być poprawnie wykonane, odpowiednio wcześniej zaczęte.

Ochrona boczna są to wszelkie rozjazdy, wykolejnice, żeberka ochronne, odcinki toru, semafony wskazujące sygnał stój, które nie wchodzą bezpośrednio w skład drogi jazdy, a jedynie pełnią funkcje ochronne przed nieplanowym przemieszczeniem się pociągów w kierunku odcinka drogi jazdy.

Odcinek zbliżania to część szlaku bezpośrednio przed posterunkiem ruchu, do którego zbliża się pociąg. Analogicznie odcinek oddalania to część szlaku bezpośrednio za posterunkiem ruchu, po którym porusza się pociąg.

Wszystkie elementy drogi przebiegu przy założeniu poprawnie działających urządzeń sterowania ruchem kolejowym umożliwiają bezpieczne prowadzenie ruchu pociągów. Istnieje ponadto typ przebiegów, które nie mogą być realizowane przy spełnieniu wszystkich zasad bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Są to przebiegi niezorganizowane, przy których nie mogą odbywać się jazdy na sygnały semaforowe. Może to być na przykład wyjazd pociągu z toru bocznego czy wyjazd na tor szlakowy lewy (w kierunku przeciwnym do zasadniczego) w przypadku jednokierunkowej blokady liniowej. Nie da się tych przebiegów utwierdzić przy pomocy istniejących zabezpieczeń, a jedynie można wspomóc się zamknięciami pomocniczymi, czyli wszelkimi środkami wspomagającymi pracę personelu obsługi w sytuacjach nadzwyczajnych.

Droga przebiegu przed jej zrealizowaniem przez jazdę pociągową ulega utwierdzeniu, czyli niemożności zmiany jej stanu w momencie jej realizacji. Zapobiega to możliwości błędnego wysterowania urządzeniami sterowania ruchem przez operatora bądź przez system zależnościowy. W stanie utwierdzenia występuje niemożność przestawienia rozjazdów, wykolejnic wchodzących w skład drogi przebiegu, a także brak możliwości realizacji jakiegokolwiek przebiegu sprzecznego wobec realizowanego przebiegu. Przebiegi spreczne to takie, które nie mogą być realizowane w tym samym czasie na posterunku ruchu ze względów bezpieczeństwa lub z powodu innych warunków miejscowych.

Zestawieniem wszystkich przebiegów, założeń ich realizacji oraz stanu i położenia urządzeń sterowania ruchem kolejowym jest tablica zależności, a także w przypadku nowszych urządzeń komputerowych – karta przebiegów.

L.p.	Sygnaly	Przebiegi	Sektory i warianty	Przebiegi pociągowe																Zwrotnice						Odcinki izolowane	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	6	torowe	zwrotnicowe
				A ₂ ¹	A ₂ ²	A ₂ ¹	A ₂ ²	B ₂ ¹	B ₂ ²	B ₂ ¹	B ₂ ²	C _{1L} ¹	C _{2L} ²	D _{1L} ¹	D _{2L} ²	D _{1L} ¹	D _{2L} ²	E _{1L} ¹	E _{2L} ²	1	2	3	4	5	6		
1	A ₂ ¹	Z Limby torem 2L na tor 4		-	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	-				A, 4	1, 4, 5			
2	A ₂ ²	" " na tor 2		+	-	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A, 2	1, 4, 5, 8			
3	A ₂ ¹	" " na tor 1		+	+	-	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A, 1	1, 2, 3, 7			
4	B ₂ ¹	torem 1L na tor 4		+	+	+	-	+	+				+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	B, 4	2, 3, 4, 5			
5	B ₂ ²	" " na tor 2		+	+	+	-	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B, 2	2, 3, 7, 8			
6	B ₂ ¹	" " na tor 2	W	+	+	+	+	-	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B, 2	2, 3, 4, 5, 8			
7	B ₂ ²	" " na tor 1		+	+	+	+	-				+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	B, 1	2, 3, 7			
8																											
9	C _{1L} ¹	Z toru 1 do Limby torem 1L					+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B	7, 3, 2			
10	C _{2L} ²	" " torem 2L		+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	A	7, 3, 2, 1			
11	D _{1L} ¹	Z toru 2 " torem 1L		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B	8, 7, 3, 2				
12	D _{2L} ²	" " torem 1L	W	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B	8, 5, 4, 3, 2				
13	D _{1L} ²	" " torem 2L		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A	8, 5, 4, 1				
14	E _{1L} ¹	Z toru 4 " torem 1L		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	B	5, 4, 3, 2				
15	E _{2L} ²	" " torem 2L		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A	5, 4, 1				
16																											

Rysunek 1. Przykład tablicy zależności

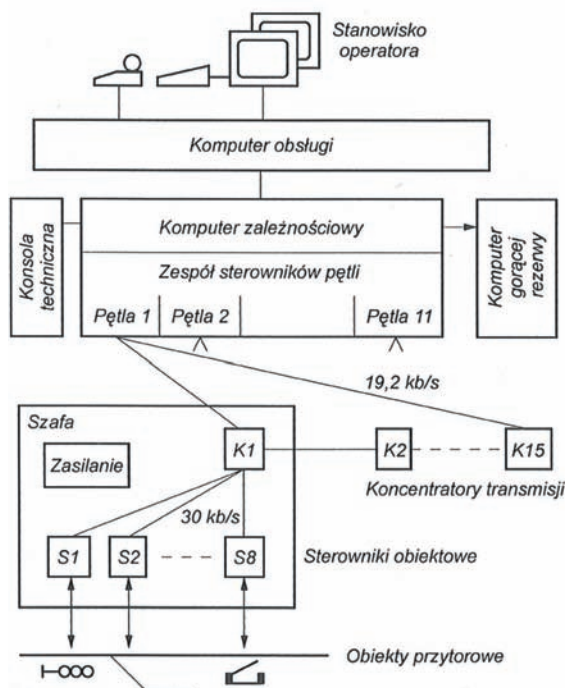
Źródło: Droga przebiegu i przebieg, 2016.

Tablica zależności stanowi integralną część regulaminu technicznego posterunku ruchu. Jest on podstawą do prowadzenia ruchu pociągów na danym posterunku i przyległych szlakach. Zawiera on informacje na temat warunków miejscowych, kilometrażu posterunku, umiejscowienia przejazdów kolejowo-drogowych, regulaminu obsługi bocznic, wykazu posterunków technicznych, długości szyn, numeracji rozjazdów czy zakresu obowiązków pracowników obsługi. Każdy posterunek ruchu ma opracowany indywidualny regulamin techniczny zgodny z Instrukcją o sporządzaniu regulaminów technicznych Ir-3 opracowaną przez krajowego zarządcę infrastruktury kolejowej PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Tablica zależności jest dokumentem w formie papierowej będącym załącznikiem do regulaminu technicznego. Może być również sporządzona w formie komputerowej przy wykorzystaniu odpowiedniego oprogramowania. Elektroniczna forma tablicy zależnościowej jest podstawą do tworzenia warstwy programowej komputerowego systemu zależnościowego. Na podstawie tablicy zależności oraz schematu posterunku ruchu tworzy się indywidualny dla każdego posterunku ruchu program, oparty na komputerowym systemie zależnościowym, dzięki któremu możliwe jest prowadzenie ruchu kolejowego w wyznaczonym obszarze sterowania.

Jednym z komputerowych systemów zależnościowych stosowanych na sieci Polskich Kolei Państwowych jest system Ebilock produkcji przedsiębiorstwa Bombardier Transportation. Oparty jest on na trzech warstwach: operatorskiej,

zależnościowej oraz sterowników obiektowych. Warstwa operatorska to podsystem Ebiscreen, czyli zwizualizowany na monitorze komputerowym obszar sterowania, bazujący na systemie operacyjnym Windows (*Urządzenia typu Ebilock 950*, 2021). Poziom zależnościowy tworzą dwa komputery zależnościowe, z których jeden na bieżąco przetwarza aktualny stan urządzeń oraz realizuje polecenia nastawcze, natomiast drugi stanowi „gorącą rezerwę”, czyli jest w stanie przejąć pracę pierwszego podstawowego komputera w momencie, gdy dojdzie do powstania usterki bądź błędu krytycznego uniemożliwiającego bezpieczne sterowanie obiektami. Warstwa sterowników obiektowych stanowi indywidualne sterowanie każdym z obiektów. Sterowniki obiektowe są umieszczone poza obiektem nastawni w szafach sterowniczych, znajdujących się bezpośrednio przy urządzeniach.



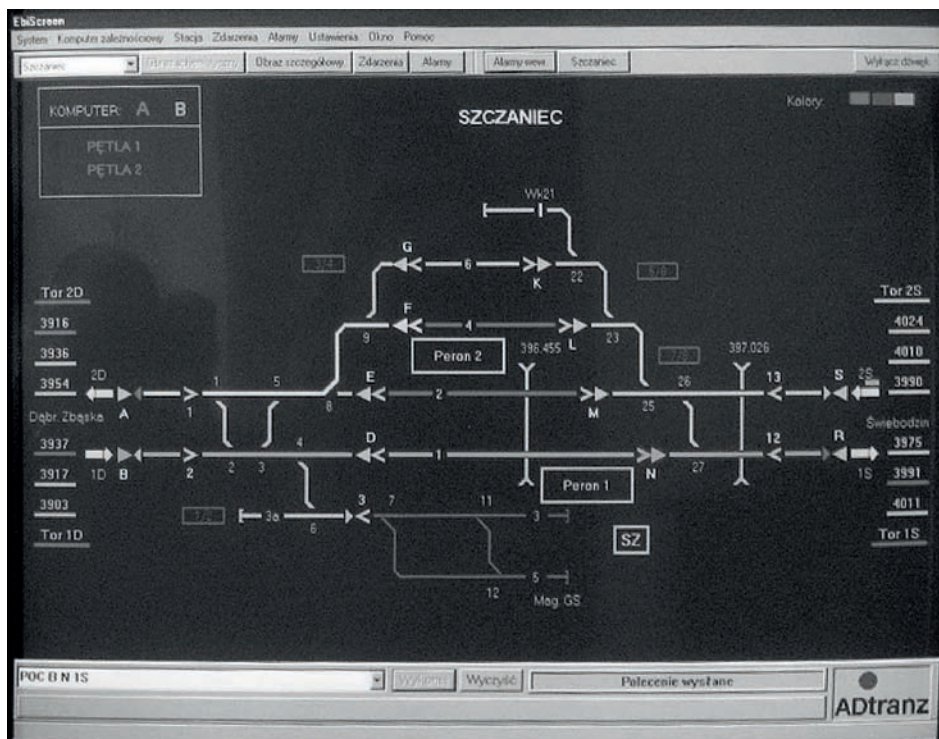
Rysunek 2. Struktura nastawnicy komputerowej systemu Ebilock, podtyp 850

Źródło: *Urządzenia typu Ebilock 950*, 2021.

Podstawowe sterowanie pulpitem nastawczym odbywa się przy pomocy urządzeń peryferyjnych w postaci myszy lub klawiatury komputerowej. Najechanie kursorem na dany obiekt zwizualizowany za pomocą pulpitu pozwala na uwidocznienie możliwych do wykonania poleceń nastawczych. Sterowanie klawiaturą może się odbywać po uprzednim przypisaniu do skrótów klawiszowych odpowiednich poleceń nastawczych.

Zasadniczy stan obiektów w systemie Ebiscreen symbolizuje kolor szary. W taki sposób mogą być ukazane niezajęte odcinki torowe, zwrotnicowe i wykolejnicowe, se-

mafory wskazujące sygnał stój, tarcze manewrowe bądź zaporowe zabraniające jazdy. Kolorem czerwonym oznaczany jest zajęty odcinek torowy zwrotnicowy, wykolejnicowy czy semafor wskazujący sygnał stój będący w utwierdzonej drodze przebiegu. Kolorem zielonym symbolizowany jest semafor wchodzący w skład drogi przebiegu, wyświetlający inny sygnał niż stój oraz odcinek torowy z utwierdzoną drogą przebiegu pociągowego przed wjazdem pociągu na ten odcinek. Przebieg manewrowy utwierdza się natomiast na żółto. Kolorem magenta oznaczany jest zastopowany semafor, rozjazd czy wykolejnica (środki pomocnicze zapobiegające zmianie stanu danego obiektu), a także przebieg będący w trakcie rozwiązywania. Brak informacji o danym obiekcie (brak kontroli) symbolizowany jest pulsującym kolorem białym.



Rysunek 3. Przykład komputerowego pulpitu nastawczego Ebiscreen współpracującego z komputerowym systemem zależnościowym Ebilock

Źródło: Urządzenia typu Ebilock 950, 2021.

Kwestia bezpieczeństwa w systemie zależnościowym Ebilock rozwiązana jest dzięki zastosowaniu dwóch programów analizujących i przetwarzających dane. Programy te napisane przez niezależne zespoły programistyczne analizują aktualne stany urządzeń oraz możliwość wykonania poleceń nastawczych. Pozwala to na wykluczenie najmniejszego błędu logicznego, gdyż w razie jakiegokolwiek sprzeczności danych system przechodzi na sterowanie z komputera zależnościowego rezerwowego.

System zależnościowy pracuje cyklicznie, przez co na bieżąco dostarcza dane o stanie obiektów operatorowi.

Ergonomia i komfort obsługi systemów komputerowych

Komputerowe systemy zależnościowe oraz komputerowe pulpity sterownicze stosowane w sterowaniu ruchem kolejowym różnią się co do sposobu pracy wykonywanej przez operatorów – dyżurnych ruchu czy nastawniczych w stosunku do urządzeń starszego typu. W przypadku urządzeń mechanicznych kluczowych (ręcznych) obsługa urządzeń zewnętrznych jak rozjazdy, wykolejnice, a w niektórych przypadkach także semaforów odbywała się poza pomieszczeniem nastawnicowni (pomieszczeniem nastawni, skąd odbywa się sterowanie ruchem kolejowym) – na gruncie. Nastawienie odpowiedniego położenia każdego rozjazdu czy wykolejnicy wymagało udania się do jego lokalizacji w obrębie posterunku ruchu. W przypadku dużych okręgów nastawczych przy dużej liczbie zaplanowanych ruchów pociągowych i manewrowych czynności z ustawieniem drogi przebiegu zajmowały dużą ilość czasu i wymagały zaangażowania większej liczby pracowników obsługi. Obsługa urządzeń zależnościowych – aparatów blokowych odbywała się w nastawnicowni. Dużym ułatwieniem było wprowadzenie urządzeń scentralizowanych, których zasada obsługi była podobna do urządzeń kluczowych, jednak wszystkie czynności obsługi mogła wykonywać w nastawni. Rozjazdy, wykolejnice, a także semafony kształtowe były połączone pędną drutową (linką stalową na załomach) z odpowiednimi dźwigniami – odpowiednio rozjazdowymi, wykolejnicowymi, ryglowymi oraz semaforowymi, które umiejscowione były na ławach nastawczych wewnątrz pomieszczenia nastawni. Przełożenie dźwigni zwrotnicowej wprawiało w ruch pędną drutową, która była połączona z napędem zwrotnicowym mającym za zadanie przełożenie zwrotnicy. Dzięki temu skrócił się czas obsługi urządzeń wykonawczych, jednak w przypadku dużych okręgów nastawczych ława nastawcza ze wszystkimi dźwigniami potrafiła zająć znaczną ilość miejsca w pomieszczeniu nastawnicowni. Nie zmieniła się jednak zasada obsługi urządzeń, gdyż pracownicy biorący udział w ułożeniu drogi przebiegu musieli użyć siły ludzkich mięśni, aby przekładać dźwignie. Szczególnie w przypadku dużej odległości rozjazdu od nastawni czy skomplikowanej budowy rozjazdu (rozjazdy krzyżowe) czynność przełożenia zwrotnicy wymagała użycia dużej siły. Obsługa aparatu blokowego uzależniającego wykonanie poszczególnych przebiegów w obrębie posterunku wymagała również przemieszczenia się pracownika w obrębie nastawni. Ponadto pracownik obsługujący, w szczególności dyżurny ruchu, musiał mieć dostęp do biurka, gdzie znajdowała się dokumentacja techniczno-ruchowa, a także rozkłady jazdy, wszelkie dokumenty i instrukcje, a w późniejszym okresie też komputery z programami wspomagającymi pracę. Z czasem dochodziło do różnych modyfikacji, jak zmiana napędów rozjazdowych z ręcznych na elektryczne, przez co można było zminimalizować czasochłonność pracy eksploatacyjnej.

Dużą zmianę przyniosło wdrażanie przekaźnikowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Odtąd sterowanie wieloma okręgami nastawczymi mogło być prowadzone z jednej nastawni, gdzie urządzenia sterowania ruchem kolejowym zajmowały stosunkowo mniej miejsca w porównaniu z urządzeniami mechanicznymi. Sterowanie urządzeniami przekaźnikowymi odbywa się przy pomocy pulpitu nastawczego; najczęściej stosowano pulpity kostkowe, zbudowane z co najmniej kilkudziesięciu kostek o wymiarach 4 na 4 centymetry, z których w zależności część może mieć szczeliny świetlne, przyciski, oznaczenia, symbole, a część może być pusta, uzupełniając całość pulpitu. Wielkość pulpitów zależała od obszaru sterowania – od małych okręgów nastawczych po duże okręgi obejmujące wiele torów i rozjazdów. Obsługa odbywa się stosunkowo „od ręki”, to znaczy wszystkie polecenia nastawcze – przestawienie zwrotnic, utwierdzenie przebiegu i tym podobne można wykonać przy pomocy jednego pulpitu bez konieczności przemieszczania się operatora. Znacząco zmniejszała się czasochłonność wykonywanych czynności. Operator mógł nadzorować bieżącą sytuację ruchową na podstawie wskazań zajętości odcinków torowych na pulpicie, co w przypadku urządzeń mechanicznych bez izolowanych odcinków torowych było niemożliwe. Obsługa pulpitu opierała się na przyciskach, z których każdy odpowiadał indywidualnie właściwemu obiektowi bądź poleceniu nastawczemu. Każdy przycisk miał określoną lokalizację, najczęściej przy zobrazowaniu obiektu, którego dotyczył.

Kolejną zmianę, choć nie tak rewolucyjną, jak wprowadzenie pulpitów przekaźnikowych, przyniosło zastosowanie komputerowych pulpitów nastawczych. Od tej pory dyżurny ruchu mógł obsługiwać wszystkie polecenia za pośrednictwem jednego narzędzia – myszy bądź klawiatury komputerowej. Zobrazowanie posterunku ma miejsce na jednym bądź większej liczbie pulpitów komputerowych w zależności od wielkości okręgu sterowania. Ponadto na monitorach komputerowych niesłużących do sterowania ruchem kolejowym mogą być wyświetlane informacje na temat stanu zasilania urządzeń. Inne monitory mogą służyć także do wyświetlania aplikacji pomocniczych dla systemu zależnościowego, takich jak przesyłanie informacji pociągowych czy elektroniczny dziennik ruchu.

Charakter pracy personelu technicznego obsługującego komputerowe urządzenia sterowania ruchem kolejowym zasadniczo nie różni się bardzo od pracy pracowników obsługujących urządzenia przekaźnikowe. Główna różnica natomiast powstaje, gdy porównujemy pracę osób obsługujących urządzenia mechaniczne z nowszymi typami urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Przede wszystkim poza sytuacjami awaryjnymi nie ma konieczności używania siły ludzkich mięśni. Stanowisko pracy przy obsłudze komputerowych pulpitów nastawczych powinno być wyposażone w biurko, dzięki któremu zapewniony jest dostęp do potrzebnej dokumentacji techniczno-ruchowej oraz innych dokumentów. Na tym samym biurku powinny znaleźć się także urządzenia peryferyjne do obsługi komputerowego pulpitu nastawczego. Ich odległość od operatora jest indywidualnie regulowana przez każdego z pracowników tak, aby zapewnić komfort pracy.

W miarę możliwości w zasięgu ręki powinny znajdować się urządzenia radiołączności oraz aparat telefoniczny (ewentualnie telefon służbowy). Monitory sterownicze

umieszcza się w miejscu dogodnym do obserwacji, powyżej biurka operatora. Zapewniona powinna być możliwość regulacji kąta nachylenia – co najmniej 20 stopni do przodu i 5 stopni do tyłu oraz możliwość obrotu wokół własnej osi w każdym kierunku o co najmniej 60 stopni (Cieślakowski, Rudzki, 2016: 133). Odległość monitorów od obsługującej je osoby to około 40 centymetrów. Komputerowe pulpity nastawcze, a także inne monitory komputerowe wspomagające pracę personelu ruchowego nastawni poza spełnianiem wyżej wymienionych funkcji regulacji ustawienia powinny posiadać regulację jasności i kontrastu ekranu. Ekran powinien być pokryte antyrefleksyjną powłoką. Obraz na ekranie musi być stabilny, to znaczy bez nadmiernego tętnienia czy przerywania transmisji obrazu. Ważną kwestią jest również dobór barw dla poszczególnych obiektów tak, aby łatwo można było rozróżnić stan, w jakim się znajdują. Pożądane jest zachowanie odpowiedniego kontrastu pomiędzy tłem a pozostałymi obiektami i informacjami. Pomieszczenie nastawnicowni komputerowej wymaga ponadto odpowiedniego oświetlenia. W przypadku braku zapewnienia dostępu światła naturalnego ważna jest możliwość regulacji natężenia jasności światła w zależności od potrzeb i warunków.

Innym aspektem związanym z pracą przy wykorzystaniu komputerowych pulpitów nastawczych jest wygoda obsługującego urządzenia. Przez większą część zmiany pracownik zachowuje postawę siedzącą. Fotel bądź krzesło powinny zapewniać swobodę ruchu oraz indywidualne dostosowanie do potrzeb użytkującego. W celu uzyskania odpowiedniego komfortu pracy wskazane jest, by plecy osoby obsługującej przylegały do oparcia fotela. Stopy powinny całą powierzchnią dotykać ziemi. Niewskazane jest długotrwałe przebywanie w innej pozycji oraz nachylenie się.

Bezpieczeństwo w komputerowych systemach sterowania ruchem pociągów

Nadrzędnym aspektem związanym z prowadzeniem ruchu pociągów na sieci kolejowej jest kwestia bezpieczeństwa. Bezpieczeństwo komputerowych systemów zależnościowych jest także czynnikiem determinującym właściwą funkcjonalność całości systemu zależnościowego.

Członkostwo Polski w Unii Europejskiej nakłada pewne obowiązki i dostosowanie się do norm i przepisów wynikających z uczestnictwa we wspólnocie. Normą regulującą kwestie eksploatacji systemowej jest norma PN-EN 50126 definiująca cykl życia systemu, który jest oparty na niezawodności, bezpieczeństwie, dostępności i gotowości. Bezpośrednio odnoszącą się do systemów zależnościowych stosowanych w sterowaniu ruchem kolejowym normą jest PN-EN 50128, która jest podstawą (niewiązącą) projektowania komputerowych systemów zależnościowych. Testowanie i odbiory reguluje norma PN-EN 50129.

Podstawowym zadaniem, jakie musi spełniać system zależnościowy w aspekcie bezpieczeństwa, jest wykluczenie powstania sytuacji niebezpiecznych przy prawi-

dłowo działających urządzeniach. Zarówno urządzenia komputerowe, jak i przełącznikowe sterowania ruchem kolejowym opierają się na zasadzie *fail-safe*. Polega to na tym, że każde pojedyncze uszkodzenie nie może być przyczyną błędnego wystereowania urządzeniami, a każde wykryte uszkodzenie powoduje zmianę stanu urządzenia na bezpieczny. System utrzymuje stan bezpieczeństwa do momentu, kiedy nie otrzyma bieżącej informacji o stanie obiektu. Przykładem takiego działania może być próba ułożenia drogi przebiegu dla pociągu w momencie usterki semafora (przepalenie żarówki). Wówczas wskazania semafora zmieniają się zgodnie z zasadą *fail-safe* – semafor albo nie wyświetli sygnału zezwalającego na jazdę, albo – jeżeli będzie taka możliwość – zezwoli na jazdę ze zmniejszoną prędkością.

Osiągnięcie wysokiego stopnia bezpieczeństwa i niezawodności jest możliwe poprzez konfigurację sprzętową. Strukturę tę stanowią przynajmniej dwa komputery zależnościowe, z których jeden pełni funkcje nadrzędne w stosunku do pozostałych. Prawidłowe działanie komputerowego systemu zależnościowego przy braku jakichkolwiek błędów nie powoduje żadnych zmian w funkcjonowaniu systemu. W zależności od konfiguracji sprzętowej jednocześnie dane przetwarzają jeden, dwa lub więcej komputerów, a dodatkowo jeden zawsze stanowi rezerwę i w każdej chwili jest gotowy do przejęcia przetwarzania danych i realizacji czynności nastawczych. Zachowana jest także niezależność programów analizujących dane bieżące. Dla zwiększenia bezpieczeństwa programy te napisane są przez różne zespoły informatyczne, całkowicie niezależne od siebie. Wynika to z faktu konieczności uniknięcia błędów tożsamyh bądź zastosowania wadliwych rozwiązań. Maksymalnie wykluczone są też błędy wynikające z czynnika ludzkiego (Zabłocki, 2014).

Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa urządzeń elektrycznych, elektronicznych oraz mechanicznych określony jest miernikiem *Safety Integrity Level* (SIL). Poziom bezpieczeństwa jest różny dla trybów pracy urządzeń – pracy ciągłej oraz pracy na żądanie. Poziom SIL określany jest miarą liczby zadziałań do wystąpienia usterki/błędu, definiowaną poprzez współczynnik tolerowanego zagrożenia (THR od ang. *tolerable hazard rate*). Wartość wskaźnika THR dla pracy ciągłej (w takim reżimie pracują urządzenia sterowania ruchem kolejowym) przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Dopuszczalne wartości THR dla pracy ciągłej w danych poziomach wskaźnika SIL

Wartość THR na godzinę	Poziom SIL
$10^{-9} \leq \text{THR} \leq 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq \text{THR} \leq 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq \text{THR} \leq 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq \text{THR} \leq 10^{-5}$	1

Źródło: Lewiński, 2012: 30.

Projektowanie komputerowych systemów sterowania ruchem kolejowym wymaga sprostania wymaganiom najwyższego poziomu SIL. Zasady związane z poziomem bezpieczeństwa są zawarte w normie europejskiej EN 50129 oraz polsko-europejskiej normie PN-EN 61508-1.

Budowa komputerowych systemów zależnościowych realizowana jest na zasadzie redundancji bezpieczeństwa, czyli nadmiarowości w stosunku do tego, co konieczne. Dlatego konfiguracja sprzętowa nie może się opierać na mniejszej liczbie komputerów zależnościowych niż dwa.

Ważnym aspektem działania systemu zależnościowego jest czas reakcji na błąd. Systemy zależnościowe opierają się na cyklicznym testowaniu, to znaczy ciągłej analizie danych oraz aktualnego stanu urządzeń i systemu. Czas wykrycia błędu i reakcji systemu wyrażony jest wzorem:

$$t_d = \frac{T}{2} + NT,$$

gdzie: T – czas okresu testowania; NT – czas reakcji.

Należy nadmienić, iż systemy sterowania ruchem kolejowym oraz sprzęt komputerowy muszą spełniać najwyższe normy bezpieczeństwa i niezawodności zawarte w przepisach i normach krajowych, europejskich i międzynarodowych.

Zakończenie i wnioski

Wprowadzenie do eksploatacji komputerowych systemów zależnościowych sterowania ruchem kolejowym umożliwiły wdrożenie niespotykanych dotąd rozwiązań z zakresu sterowania ruchem kolejowym. Pojawiła się możliwość sterowania zdalnego – z odległości. Powstały lokalne centra sterowania ruchem kolejowym (LCS), czyli nastawnie, w których z odległości można sterować posterunkami ruchu oddalonymi o wiele kilometrów. Często takie nastawnie obejmowały całą linię kolejową bądź duży jej odcinek (na przykład LCS Drzewica) albo sterowaniu podlegały całe węzły kolejowe (na przykład LCS Koluszki). Jednocześnie zachowano możliwość sterowania miejscowego poprzez zabudowanie urządzeń w istniejących wcześniej nastawniach lub w nowo powstałych kontenerach, w których zlokalizowane są urządzenia sterowania ruchem wraz ze stanowiskiem obsługi. Zmieniła się całkowicie budowa podstawy – systemu sterowania ruchem. Ponadto inne są parametry ergonomii pracy personelu ruchowego obsługującego urządzenia sterowania ruchem kolejowym. Praca dotychczas częściowo fizyczna stała się pracą typowo umysłową. Dostęp do pulpitu komputerowego jest możliwy z pozycji siedzącej przy biurku, a więc skrócił się czas realizacji czynności nastawczych.

Wdrożenie komputerowych systemów zależnościowych ukazało jeszcze jeden ważny aspekt prowadzenia ruchu kolejowego, który obecnie nie jest wykorzystywany na szeroką skalę na sieci Polskich Kolei Państwowych. Możliwość ustawienia przebiegów pociągowych zgodnie z rozkładem jazdy sprzyja odciążeniu pracy per-

sonelu technicznego, ponieważ nie pełni on bezpośrednio roli realizatora przebiegów, a jedynie obserwatora poprawności wykonywania poleceń nastawczych. Taka osoba przejmuje zadania systemu w momencie jakiegokolwiek usterki czy w razie potrzeby. Automatyczne układanie dróg przebiegu zwiększa przepustowość szlaku i stacji, a także eliminuje błędy ludzkie, jak skierowanie pociągu na niewłaściwy tor.

W najbliższych latach należy spodziewać się dużego rozwoju i modernizacji infrastruktury kolejowej. Oprócz zwiększenia przepustowości szlaków czy podwyższenia prędkości eksploatacyjnej przebudowie będą podlegały urządzenia sterowania ruchem starszego typu, które zostaną zastąpione komputerowymi systemami zależnościowymi. Pozwoli to na powstawanie kolejnych lokalnych centrów sterowania ruchem kolejowym oraz na stopniowy wzrost kompatybilności urządzeń różnych producentów. Jednocześnie będzie możliwe coraz większe ujednoczenie rodzajów urządzeń, a co za tym idzie – zmniejszą się nakłady na utrzymanie przestarzałych urządzeń mechanicznych.

Bibliografia

- Cieślakowski S., Rudzki P. (2016), *Wybrane zagadnienia ergonomii nowoczesnych systemów informacji pasażerskiej i sterowania ruchem*, „Autobusy. Technika. Eksploatacja. Systemy Transportowe”, nr 6.
- Dąbrowa-Bajon M. (2014), *Podstawy sterowania ruchem kolejowym. Funkcje, wymagania, zarys techniki*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Droga przebiegu i przebieg* (2016), https://www.bsk.isdr.pl/usrk_przebiegi.php [dostęp: 18.12.2021].
- Lewiński A. (2012), *Obecne i przyszłościowe systemy sterowania ruchem kolejowym*, „Technika Transportu Szynowego”, nr 2/3.
- Lewiński A., Perzyński T. (2016), *Nowoczesne systemy sterowania ruchem kolejowym*, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Radom.
- Marciniak J. (2022), *Analiza komputerowych systemów zależnościowych stosowanych w sterowaniu ruchem pociągów na sieci Polskich Kolei Państwowych*, inżynierska praca dyplomowa, Wydział Techniki i Informatyki, Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi, Łódź (maszynopis niepublikowany).
- Urządzenia typu Ebilock 950* (2021), https://www.bsk.isdr.pl/srk_ebilock.php [dostęp: 18.12.2021].
- Wontorski P., Kochan A. (2020), *Komputerowe systemy kierowania i sterowania ruchem kolejowym. Część I: Funkcje, elementy i układy*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Zabłocki W. (2014), *Zagadnienie sprzeczności i wykluczeń specjalnych w technice SRK*, „Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie”, nr 2(104).

Summary**Innovative railway traffic control systems used on the PKP network, part II**

This article aims to show the functioning of computer dependency systems on the Polish State Railways network in the structure of Polskie Linie Kolejowe S.A., which is the national railway infrastructure manager.

The functioning of the Ebilock computer dependency system produced by Bombardier Transportation is presented from a technical point of view. The technical aspect of the safety and reliability of equipment was also indicated. A comparative analysis of computerised equipment with older types of traffic control devices is presented. The paper also provides information on the evaluation of the implementation of computerised equipment in practice

Keywords: railway traffic control, train traffic safety, interoperability