

Andrzej BIAŁOŃ<sup>1</sup>  
Paweł GRADOWSKI<sup>2</sup>  
Marta GRYGLAS<sup>3</sup>

## **WPLYW WDROŻONEGO POZIOMU ETCS NA WZROST PRZEPUSTOWOŚCI LINII KOLEJOWYCH**

*Każda linia kolejowa posiada ograniczoną przepustowość. W celu jej określenia stosowane są powszechnie znane metody obliczeniowe. Jednakże wraz z rozwojem wyposażenia urządzeń sterowania ruchem i rozwojem technologicznym pojawia się problem zwiększenia przepustowości linii kolejowych. W referacie zaprezentowano wpływ zastosowania różnych konfiguracji aplikacji ETCS na przepustowość różnych kategorii linii kolejowych. Takie analizy należy wykonywać oddzielnie dla każdego przypadku.*

## **INFLUENCE OF INITIATED LEVEL ETCS ON GROWTH OF CAPACITY RAILWAY LINES**

*Every railway line owns limited capacity. In aim well-known analytical methods her qualifications are applied universally. Yet together with development of equipment of devices the control-command and the technological development, the problem of enlargement of capacity of railway lines appears. The influence of use of different configurations application in report was presented the ETCS on capacity the different categories of railway lines. One should execute for every case separately such analyses.*

### **1. WSTĘP**

#### **1.1 Wpływ infrastruktury kolejowej i ETCS na zachowanie przepustowości**

ETCS został zaprojektowany do stosowania na wszystkich kategoriach infrastruktury obejmującej ruch pasażerski i towarowy, odcinki linii dużych prędkości, obsługę pociągu na liniach konwencjonalnych i regionalnych, węzły, stacje i stacje rozrządowe. Warunkiem o wysokim priorytecie jest osiągnięcie przepustowości dla każdej aplikacji ETCS,

---

<sup>1</sup>Institut Kolejnictwa, Polska, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa,  
tel. +48 22 47-31-453 fax. +48 22 47-31-036, e-mail: [abialon@ikolej.pl](mailto:abialon@ikolej.pl)  
Politechnika Śląska, Wydział Transportu Zespół Automatyki w Transporcie, Polska, ul. Krasińskiego 8,  
40-019 Katowice, tel. +48 32 71-01-708 e-mail: [andrzej.bialon@polsl.pl](mailto:andrzej.bialon@polsl.pl)

<sup>2</sup>Institut Kolejnictwa, Polska, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa,  
tel. +48 22 47-31-050 fax. +48 22 47-31-036, e-mail: [pgradowski@ikolej.pl](mailto:pgradowski@ikolej.pl)

<sup>3</sup>Institut Kolejnictwa, Polska, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa,  
tel. +48 22 47-31-416 fax. +48 22 47-31-036, e-mail: [mgryglas@ikolej.pl](mailto:mgryglas@ikolej.pl)

stosowanej na liniach lub w węzłach kolejowych. W celu oszacowania i spełnienia warunków przepustowości linii należy rozważyć następujące parametry: cechy charakterystyczne infrastruktury, plany transportowe i poziom punktualności.

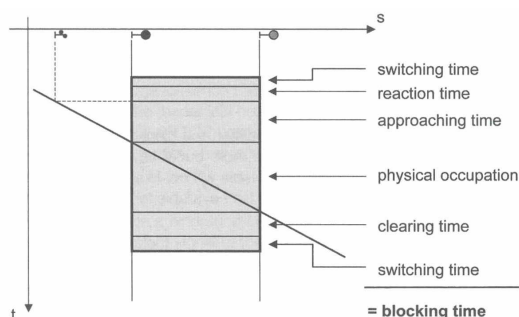
Sposób osiągnięcia przepustowości linii został zdefiniowany w fiszce UIC 406 *Przepustowość*, która jest podstawą wspólnego porozumienia w sprawach obciążenia i zawiera uzgodnioną metodę do obliczania osiągnięcia przepustowości. Ponieważ fiszka UIC 406 opisuje jedynie ocenę dla linii z konwencjonalną sygnalizacją, zaprezentowany model został poddany przebudowie, w celu umożliwienia dostosowania również dla ETCS we wszystkich trzech poziomach aplikacyjnych.

## 1.2 Definicje terminów

### Czas blokowania

Opracowanie modelu określającego współdziałanie pomiędzy indywidualnymi trajektoriami i trasami pociągów niezbędne jest do obliczania współczynnika sprawności infrastruktury. W Niemczech model czasu blokowania, którego celem jest osiągnięcie wymaganej przepustowości, jest stosowany od lat 60-tych XX wieku. Z chwilą wprowadzenia do życia codziennego komputerów i wykorzystywania odpowiednich narzędzi programistycznych do wspomaganie zarządzania trasami i trajektoriami pociągu, model ten jest w dalszym ciągu używany do tworzenia rozkładów jazdy. Ponadto UIC (International Union of Railways), zaleca stosowanie tego modelu do wykorzystywania przy szacowaniu przepustowości.

Podstawową zasadą czasu blokowania jest kolejność operacji zajęcia odstępów blokady przez poruszający się pociąg. Odstęp blokowy wyznaczany jest przez dwa kolejne semafony. W tej sekcji zajęcie bloku następuje wyłącznie przez pociąg, tzn., że tylko jeden pociąg może znajdować się w danym odcinku blokady. Zapewnia to stosowana technologia i odpowiednia kontrola bezpieczeństwa. Zajętość odstępów blokowych została pokazana na Rys. 1.



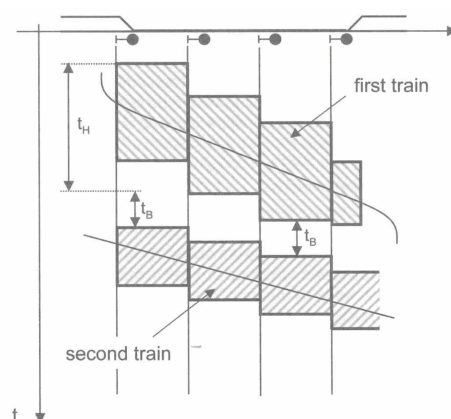
Rys. 1. Składniki czasu blokowania

Czas blokowania jest dłuższy niż aktualna fizyczna zajętość odcinka. Do elementów czasu blokowania zaliczamy następujące składniki:

- Czas przełączania (switching time) do utworzenia i zatwierdzenia trasy lub rozwiązania trasy. Wartości tego elementu są zależne od nastawnic.
  - Czas reakcji (reaction time) do optycznego spostrzeżenia z odległości sygnału. Wartość dla systemów konwencjonalnej sygnalizacji wynosi w przybliżeniu 0,2 minuty.
  - Czas zbliżenia (approaching time) dla ruchu między drogowskazowym i głównym sygnalizatorem.
  - Fizyczny czas (physical occupation time) zajęcia.
  - Czas oczyszczenia (clearing time) do zjechania ostatniego wagonu z zajmowanego odcinka, kiedy czoło pociągu przejechało sygnalizator oznaczający koniec odcinka.
- Ten komplet elementów czasu blokowania jest tak zwaną kolejnością czasu blokowania (blocking time) i wskazuje na osiągnięcie określonej przepustowości ruchu pociągów.

#### Minimalny czas odstępu

Minimalny czas odstępu jest odległością w czasie pomiędzy dwoma pociągami bez konieczności ich wzajemnego hamowania. Odnosi się to do linii podzielonej na odcinki, jako powiązanie między dwoma stacjami/węzłami, gdzie istnieje możliwość, zmiany kolejności lub umożliwienie przepuszczenia pociągów, które doganiają wolniejsze (Rys. 2.).



Rys. 2. Sekwencja czasu blokowania dla dwóch pociągów

W celu określenia średniego czasu odstępu, kolejność czasu blokowania drugiego pociągu jest przesunięta, aż do momentu, gdy dotyka wykresu poprzedzającego pociągu. Średni czas odstępu (definiowany dla pary pociągów) jest okresem czasu od rozpoczęcia czasu blokowania pierwszego pociągu w pierwszej selekcji bloku.

#### Bufor czasowy

Istotny w rozkładach jazdy, bufor czasowy  $t_B$  pomiędzy kolejnymi czasami blokowania jest konieczny, w celu zmniejszenia propagacji opóźnień. Stały rozkład jazdy możemy osiągnąć, gdy bufor będzie zawarty między kolejnymi czasami blokowania. Czasy buforu także zużywają pojemność, której nie można wykorzystać do dodatkowych trajektorii pociągu.

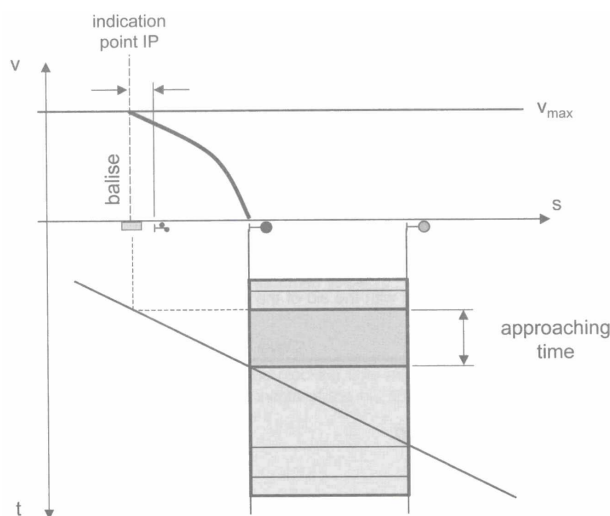
Bufor czasowy znajduje się pośrodku kolejnych czasów blokowania i ma stałą wielkość dla istniejących rozkładów jazdy. Niestety, pochłania on przepustowość, która tym samym nie jest dostępna dla dodatkowych trajektorii pociągu.

## 2. WPLYW ETCS NA OSIĄGANIE PRZEPUSTOWOŚCI

System ETCS stosowany jest na różnych poziomach aplikacyjnych przy wykorzystaniu odmiennych metod transmisji danych ze szlaku do pociągów oraz do kontroli odcinków blokowych. Wpływ na zachowanie przepustowości musi zostać rozważony oddzielnie dla każdego z poziomów aplikacji.

### 2.1 Model czasu blokowania dla ETCS poziom 1

ETCS poziom 1 można opisać podobnie jak konwencjonalny system sygnalizacji przytorowej z poprzedzającym i głównym semaforem (Rys. 3.). Grupa balis jest zlokalizowana bezpośrednio przy poprzednim semaforze albo w określonej odległości od sygnalizatora. Balisy powinny zostać umieszczone w punkcie znaku (indication point IP) do lokalizacji pociągu. Z jednej strony, z powodu krzywych hamowania ETCS i punktu lokalizacyjnego zwiększamy czas zbliżania, z drugiej strony, nie potrzebny jest czas na reakcję maszynisty. Dlatego ta część składowa czasu blokowania może zostać pominięta.



Rys. 3. Model czasu blokowania dla ETCS poziom 1

Należy nadmienić, że grupa balis odnosząca się do miejsca startu czasu blokowania może być różna dla kolejnych pociągów, jako funkcja wydajności parametru hamowania pociągu. Dlatego dla niektórych pociągów grupa odniesienia balis wykorzystywanych do czasu blokowania musi znacznie wydłużyć IP. Teoretycznie może to mieć istotny wpływ na wypełnienie czasu zbliżania. Zmienne narodowe ETCS dotyczące parametrów hamowania

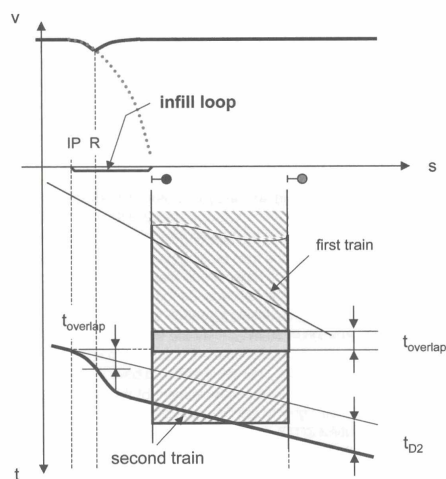
muszą być przyjmowane z dużą ostrożnością. W przeciwnym razie, ETCS poziom 1 może prowadzić do spadku osiągniętej przepustowości na istniejących liniach kolejowych.

### Wpływ uaktualniania

Wszystkie klasyczne modele czasu blokowania zakładają ruch pociągów bez przeszkód. Czas wymagany dla pociągu, aby przejechać od poprzedzającego do pierwszego głównego sygnalizatora w rozważanej sekcji blokowej (albo od grupy balis odniesienia do głównego sygnalizatora), jest wymagany do uwzględnienia go w obliczeniach czasu blokowania, jako czas zbliżania. Przyjmuje się, że w relacji wzajemnej pociąg nie będzie wykonywać na tym odcinku blokowym hamowania i tym samym, że sekcja blokady zawczasu zostanie opuszczona przez poprzedzający pociąg w określonym czasie, aby zapobiec kierującemu pociągiem zapalenia się sygnału stój/wolna droga. Jest to przypadek, który zakłada ruch bez przeszkód i komplikacji w rozkładzie jazdy lub bezpośrednio rozważa określoną przepustowość. Ta sytuacja nie zbliża do przyjętych wartości, jedynie krótko szacuje części składowe kontroli pociągu z funkcją uaktualniania.

Ogólne warunki wpływu kontroli urządzeń sterowania pociągiem z funkcją uaktualniania składają się z krzywej nadzoru hamowania unieważnianej w chwili, gdy główny sygnalizator jest przełączony do mniej restrykcyjnego zobrazowania sygnalizacyjnego (od *Stój* do *Wolna droga*) a pociąg, którego to dotyczy objęty jest autoryzacją, aby przyspieszyć do maksymalnej dozwolonej prędkości przy pierwszej możliwej okazji. Jednak konieczne może okazać się oczekiwanie na czas potrzebny do zwolnienia hamulca przed ponownym zwiększeniem prędkości („histereza” hamulców).

Jeśli istnieje możliwość stałego przekazywania informacji do pociągu na całej długości odcinka od punktu lokalizacji do głównego sygnalizatora, na którym dochodzi zmiana podstawowego sygnału na mniej restrykcyjny, możliwe jest uzyskanie optymalnego uaktualniania przez długą pętlę uaktualniająca albo przy pomocy uaktualniania radiem.



Rys. 4. Model czasu blokowania dla ETCS poziom 1

Rysunek pokazuje sytuację na linii z długą pętlą uaktualniającą. W tym przypadku powolny pierwszy pociąg zwalnia odstęp blokady, wtedy maszynista pociągu pospiesznego z opóźnieniem ma możliwość przejechania przez sygnał zezwalający. Możemy zaobserwować na wykresie w płaszczyźnie s-t, że czasy blokowania dwóch pociągów pokrywają się częściowo. Powstaje konflikt czasu blokowania (obszar oznaczony na szaro). Czas pokrywania się ( $t_{\text{overlap}}$ ) obliczany jest według następującego równania:

$$t_{\text{overlap}} = t_{D1} - t_B \quad (1)$$

gdzie:  $t_{D1}$  reprezentuje aktualne opóźnienie pierwszego pociągu  
 $t_B$  reprezentuje bufor czasowy.

Systemy kontroli prowadzenia pociągu pospiesznego narzucają stosowanie hamowania służbowego i nadzoru procesu hamowania przy pomocy funkcji v-s. Drugi pociąg zmniejsza prędkość.

Po dotarciu do punktu R (patrz Rys. 4.), pierwszy pociąg zwolnił sekcję blokady i wyświetlany sygnał świetlny na głównym sygnalizatorze zmienia obraz sygnałowy. Przejazd przez punkt R został przedstawiony graficznie na wykresie w płaszczyźnie s-t. Ponieważ, dla przejazdu obok punktu R mijają okres hamowania, w tym momencie podawany jest czas, który dokładnie odpowiada czasowi pokrycia.

Pociąg jest informowany o zmianie sygnału na głównym sygnalizatorze na mniej restrykcyjny, przez co odwoływana jest krzywa nadzoru hamowania i pociąg jest zdolny do przyspieszenia, aż do momentu uzyskania maksymalnej dozwolonej prędkości.

Nieuniknione jednak jest to, że pomimo szybkiego wykonania uaktualnienia – drugi pociąg doświadcza wybicia z czasu jazdy uzyskując opóźnienie  $t_{D2}$  w stosunku do zaplanowanej trajektorii przejazdu. Niemniej jednak, wybicie się z czasu przejazdu i pojawienie się opóźnienia drugiego pociągu jest mniejsze niż w przypadku jazdy bez uaktualniania. W związku z tym, uaktualnianie może zmniejszać propagację opóźnień.

Faktycznie, bufor czasowy to ta sama funkcja, która występuje w rozkładowych czasach jazdy. Teoretycznie istnieją inne drogi zmniejszenia przenoszenia opóźnień: jest to konieczne, aby włączyć niewiele większe buforów czasowe do rozkładu jazdy. Jak już wspomniano wcześniej, bufor czasowy  $t_B$  ma na celu łagodzenie przenoszenia opóźnień, tj. zmniejszania poziomu „wybijania” opóźnień  $t_{D2}$ . Ten sam cel jest dokonywany przez składniki uaktualniania, aczkolwiek przez inne możliwości. Bufor czasowy i części składowe uaktualniania służą temu samemu celowi: łagodzą przenoszenie opóźnień z pociągu i zmniejszają poziom uderzeń opóźnień.

W tej sytuacji mogą zostać zadane pytania, dotyczące przedstawionego problemu. Ile dodatkowego czasu bufora  $t_{B,add}$  należałoby zapewnić w rozkładzie jazdy, aby wyciąć tą samą ilość z wybijanych opóźnień, które byłyby dopuszczalne wraz z zastosowaniem pełnego uaktualniania. W inny sposób zaokrągła się dodatkowy czas bufora, mogący zostać dostrzeżonym, jako suma czasów bufora, który może zostać uratowany przez instalowanie składników uaktualniania. Oszczędności czasu bufora zwiększają przepustowość linii kolejowych.

Przy pomocy tego modelu, wpływ uaktualniania na przepustowość może pośrednio zostać zmierzony. Wadą jest to, że  $t_{B,add}$  zależy od opóźnienia pierwszego pociągu  $t_{D1}$ . Czas opóźnienia  $t_{D1}$  nie jest wartością zdeterminowaną, ale musi zostać pokazana, jako przypadkowa zmienna. Właśnie dlatego,  $t_{B,add}$  może zostać oszacowany jedynie przez

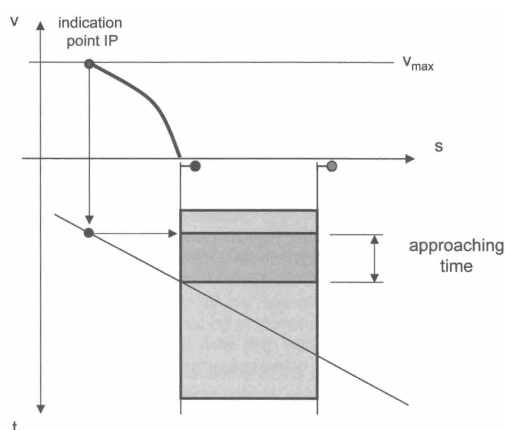
możliwości z wyszukanych procesów stochastycznych albo modeli symulacji. W możliwych sytuacjach  $t_{B,add}$  może zostać oszacowany, aby wynosić 3 ... 25 sekundy na liniach kolejowych. Wyniki dla stacji węzłowych nadal nie zostały nierozstrzygnięte.

## 2.1 Model czasu blokowania dla ETCS poziom 2

W ETCS poziom 2 punkt początkowy czasu blokowania liczy się bezpośrednio od IP (Rys. 5.). Inne składniki czasu blokowania nie są wprowadzane przy ETCS poziom 2.

Jeżeli dla pociągu nie wydano pozwolenia na jazdę, pociąg musi zbroczyć z zaplanowanej dla niego trajektorii. Proces obniżenia prędkości musi rozpocząć się w punkcie znaku, uzależnionego od właściwości oddziaływania na pociąg.

Na liniach z ustalonymi stałymi minimalnymi odstępami sygnalizatorów blokady, dla których dolna granica odległości zależy od uzasadnień ergonomicznych, maszyniści szczególnie w przypadku dużych prędkości nie będą zdolni do bezpiecznego zarejestrowania i rzeczywistego przetworzenia informacji z blisko rozmieszczonych przytorowych sygnalizatorów. ETCS poziom 2 łączy sygnalizację kabinową i ciągłe monitorowanie krzywych hamowania w zasadzie nadaje się do obsługi na liniach z bardzo krótkimi odstępami blokowymi.

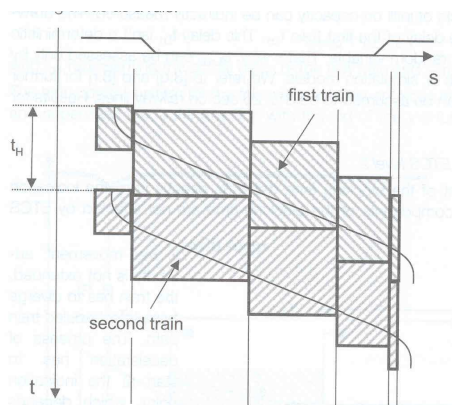


Rys. 5. Model czasu blokowania dla ETCS poziom 2

Na liniach z prawie stałymi długościami bloku, sekwencje czasu blokowania objęte są całkowicie zamkniętym wewnętrznym obszarem przyspieszenia i zmniejszania prędkości. W związku z tym, pośrodku linii można utworzyć rezerwę przepustowości. Optymistyczne jest rozmieszczenie semaforów blokady według dynamiki ruchu pojazdu, przy założeniu możliwości realizacji pod ustalonymi warunkami nawet krótkich odstępów blokowych w obszarze startu i hamowania. W efekcie dałoby to znaczący wzrost redukcji w minimalnych odstępach i w związku z tym nastąpiłby wzrost udziału przepustowości dla linii, której to dotyczy.

Rys. 6. pokazuje linię kolejową wyposażoną w ETCS poziom 2 i zoptymalizowane odstępki blokady. Ułatwia to zrozumienie, że sekwencje czasu blokowania służą, jako

kluczowa pomoc do przygotowania optymalizacji odstępów blokady oraz do późniejszej metody dążenia do celu osiągnięcia zakładanego współczynnika przepustowości. Gdy kursowanie odbywa się w minimalnych odstępach, optymalnym jest rozmieszczenie odstępów blokowych do ustalonego porządku pociągów wynikającego ze scenariusza, gdy wszystkie w kolejności części czasu blokowania obejmują tylko kolejne dwa sąsiednie obszary. Ze względu na ograniczenia techniczne jeśli jest to możliwe, dąży się do tego aby osiągnąć w przybliżeniu optimum. Nadzwyczaj krótkie odcinki blokady z reguły wystawiane są do obszaru przyspieszania i hamowania.



Rys. 6. Optymalizacja sekcjonowania blokady dla ETCS poziom 2

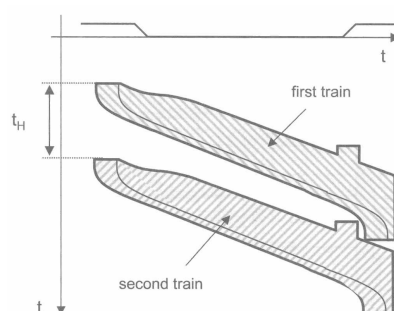
Wykonana optymalizacja blokady pod działanie ETCS poziom 2 jest optymalna dopiero dla określonej scenariuszem kolejności pociągów. W przypadkach, gdy konieczna jest równoczesna optymalizacja kilku(-nastu) scenariuszy porządku następstw pociągów, muszą zostać przyjęte kompromisowe rozwiązania.

To podstawowe założenie zostało przedstawione do wdrożenia w życie przez Deutsche Bahn w jego koncepcji CIR-Elke (*Komputerowa integracja transportu kolejowego – podniesienie sprawności wewnątrz rdzenia sieci*) przez połączenie automatycznego systemu kontroli pociągu LZB z zaprojektowanymi krótkimi odstępami blokowymi do zoptymalizowanej dynamiki ruchu pojazdu (blokady dużej wydajności). Systemu nie instaluje się w Niemczech (wyjątkiem jest linia pomiędzy Karlsruhe i Bazyleą) z powodu wysokich kosztów inwestycyjnych i obsługi, generowanych na bardzo krótkich odcinkach blokady. Potencjał blokady o dużej wydajności może być eksploatowany, w celu uzyskania większej wydajności na liniach z harmonizowaną prędkością niż na tych, z których korzystają w ruchu mieszanym pociągi szybkie i wolne.



### 2.3 Model czasu blokowania dla ETCS poziom 3

Gdy wykorzystywany jest system ruchomego odstępu blokowego, ETCS poziom 3 zawsze dostarcza najkrótszego minimalnego odstępu dla wszystkich scenariuszy kolejności pociągów. Obsługa ruchomego bloku jest uwarunkowana przez serię ograniczeń, pokrywając część czasu blokowania w ciągłym zakresie czasu blokowania. Głównie ograniczenia wywoływane są przez zespoły zwrotnic i sieciowe separatory odcinkowe na liniach zelektryzowanych (Rys. 7.).



Rys. 7. Model czasu blokowania dla ETCS poziom 3

Ze względu na cele modelowania, ruchomy odstęp może być postrzegany, jako dyskretna zmiana sekwencji następstw czasu blokowania. Krzywa zajętości przedziału czasu blokowania jest określona przez aktualnie wymaganą dla pociągu odległość hamowania przy uwzględnieniu jego długości dla krzywej odwołania z dodatkowym marginesem bezpieczeństwa. Zakres czasu blokowania tworzy w ten sposób funkcję graniczną założoną teoretycznie dla kolejności czasu blokowania, dla blokady o nieskończenie krótkich odstępach blokowych.

### 2.4 Obliczenie osiągnięcia przepustowości według fiszki UIC 406

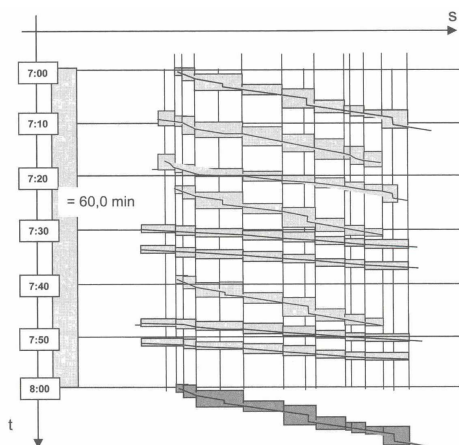
Metoda obliczenia osiągnięcia przepustowości zaproponowana w fiszce UIC 406 *Przepustowość* oparta jest na kolejności czasów blokowania jako modelu osiągnięcia przepustowości. Dlatego, konieczne jest skoncentrowanie się na wzajemnych oddziaływaniach między różnymi trajektoriami pociągu i ich wpływem na przepustowość infrastruktury kolejowej.

Istnieje szereg korzyści, które wpływają na przepustowość sieci kolei. Do analizy pojemności i porównania, można brać pod uwagę różne wymagania operacyjne, strategie wysyłania, zasady pierwszeństwa, prędkości, odległości blokowych, wyposażenia systemów sterowania ruchem i sygnalizacji. Ponadto ruch mieszany, stopień współdziałania i interferencji między pojemnością szlaku i długością pociągu może zostać zmieniony z powodu wprowadzania nowych technologii. Przy używaniu w kolejności czasów blokowania i minimalnego czasu odstępu, większość tych wpływów dokładnie jest

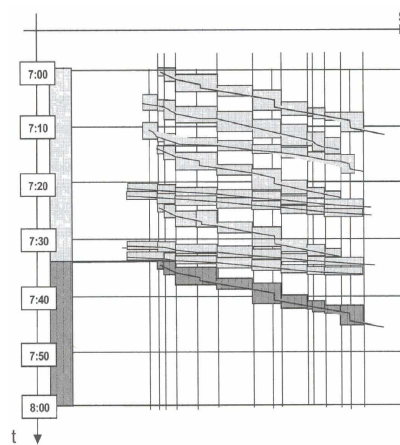
brana pod uwagę, ponieważ każdy pojedynczy wpływ jest uwzględniony w rachunkach obliczeniowych czasu blokowania i w związku z tym minimalnych czasach odstępu. Wszystkie te rezultaty są rozpatrywane przy minimalnych czasach odstępu między dwoma indywidualnymi trajektoriami pociągu, które mogą zostać niewątpliwie przyjęte do dalszych obliczeń o osiągnięciu przepustowości infrastruktury kolei.

W fiszce UIC 406 metodą upakowania przedstawiono procedurę dotyczącą osiągnięcia przepustowości linii kolejowej. Teoretyczne tło metody kompresji zostało przedstawione przez Adler [[1]]. Wraz z równoczesnym upakowaniem odcinków linii z całkowitą kolejnością czasów blokowania, aż do uzyskania (teoretycznie) minimalnego odstępu zostało poparte w okresie badań.

Poniższe rysunki pokazują metodę kompresji dla badanego okresu 60 minut. Na Rys. 8. zaprezentowano oryginalny rozkład jazdy, a na Rys. 9. przedstawiono upakowany rozkład jazdy z skondensowaną kolejnością czasu blokowania. W tym przykładzie czas zajętości zaczyna się o 7<sup>00</sup> a kończy się o 7<sup>33</sup>. W ten sposób całkowity czas zajętości w badanym okresie wynosi 33 minuty.



Rys. 8. Oryginalny rozkład jazdy



Rys. 9. Skompresowany rozkład jazdy

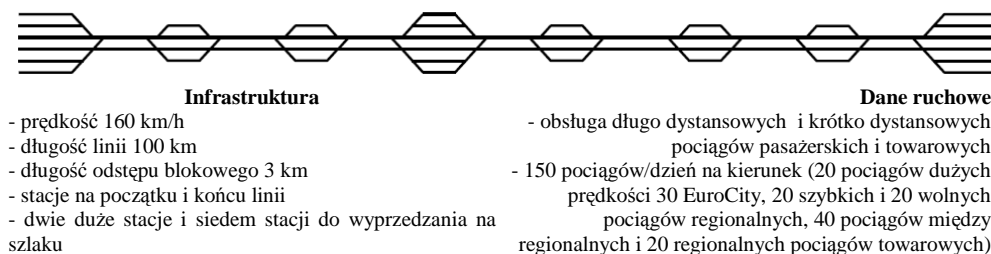
Tablica 1. Rekomendowany maksymalny współczynnik zajętości  $\rho_{max}$

Typ linii	Okres szczytowy	Okres dzienny
Dedykowana linia podmiejska	0,85	0,70
Dedykowana linia dużych prędkości	0,75	0,60
Linia ruchu mieszanego	0,75	0,60

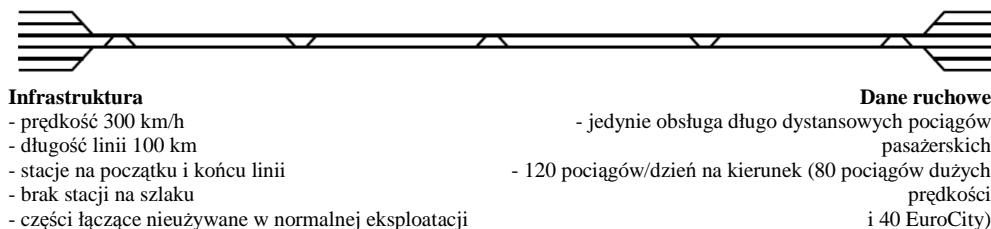
Kierując się metodologią fiszki UIC 406, stosunku między całkowitym czasem zajętości i badanym okresem, w naszym przykładzie wynosi  $\rho = 33/60$  i musi zostać porównany z zalecanym maksymalnym współczynnikiem zajętości (Tablica 1.).

### 3. OGÓLNE ZAŁOŻENIA DLA WSZYSTKICH PRZYPADKÓW

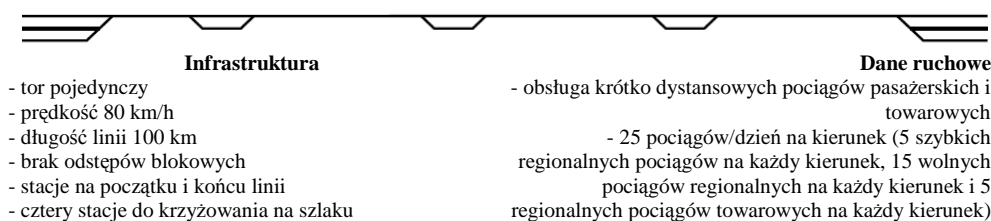
W dalszej części na podstawie przykładów wyjaśniony zostanie wpływ różnych poziomów aplikacji ETCS na przepustowość linii kolejowych. Aby być niezależnym od wpływu zmiennych narodowych ETCS i czynników charakterystycznych dla danej narodowej infrastruktury do oszacowania osiągniętej przepustowości użyto ogólnych cech infrastruktury. Wybrano typowe przypadki infrastruktury: główne linie konwencjonalne (Rys. 10), linie dużych prędkości (Rys. 11) i linie regionalne (Rys. 12). Dla każdej linii, założony jest określony program ruchowy i określone poziomy punktualności. Analizowane konfiguracje aplikacji ETCS obejmują poziom 1 z ograniczonym nadzorem, poziom 1, poziom 2 z regularnymi i optymalizowanymi odstępami blokady i poziom 3.



Rys. 10. Układ torowy i schemat ruchowy dla przypadku linii konwencjonalnych



Rys. 11. Układ torowy i schemat ruchowy dla przypadku linii dużych prędkości



Rys. 12. Układ torowy i schemat ruchowy dla przypadku linii regionalnych

W celu uniknięcia złej interpretacji, wzrost przepustowości przedstawiono w relacji z podstawowym przypadkiem ETCS poziom 1 bez dodatkowego uaktualniania. W przypadku odniesienia, uwzględniana jest tylko jedna balisa uaktualniająca, umieszczona w punkcie znaku najgorzej hamującego pociągu (pociąg odniesienia). IP jest obliczony zgodnie z [[2]], [[3]]. Przepustowość wspomnianego przypadku odniesienia wynosi 100%.

Wszystkie analizowane konfiguracje aplikacji ETCS oparte są na hamowaniu przy pomocy hamowania służbowego z wyjątkiem scenariuszy: ETCS poziom 1 z niedostępnym hamowaniem służbowym i ETCS poziom 1 z ograniczonym nadzorem.

Tablica 2. Parametry klas pociągów

Pociąg	Długość [m]	$V_{\max}$ [km/h]	Procent hamowania	Pozycja hamowania	Wagony	Waga [t]
Dużych prędkości	400	300	220	R + Mg	14	800
EuroCity	320	200	220	R + Mg	11	637
Express Regionalny	180	140	145	R	6	282
Regionalny	50	100	145	R		90
Międzyregionalny towarowy	500	100	80	P		1250
Towarowy	500	90	80	P		1000

W badaniu przypadków zostało uwzględnione sześć klas pociągów (patrz Tablica 2.).

Biorąc pod uwagę aplikacje ETCS przebadano dla typowych w/w przypadków infrastruktury następujące konfiguracje:

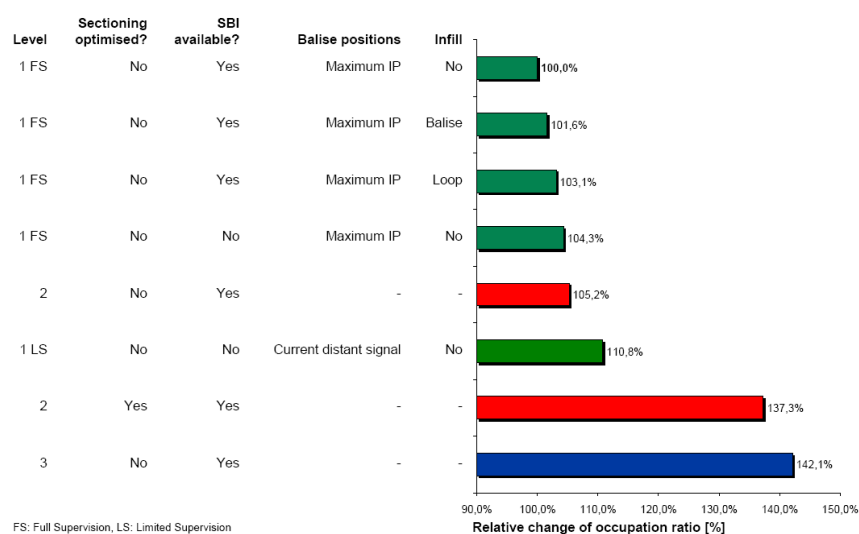
- ETCS poziom 1 z ograniczonym nadzorem (odległość pomiędzy odległym a głównym sygnalizatorem 1000 m)
- ETCS poziom 1 z niedostępnym hamowaniem służbowym
- ETCS poziom 1 z balisą w odległości najgorszej wydajności hamowania pociągu
- ETCS poziom 1 z drugą balisą uaktualniającą w odległości 400 m przed głównym semaforem
- ETCS poziom 1 z pętlą uaktualniającą albo uaktualnianiem radiowym pomiędzy odległym a głównym sygnalizatorem (1000 m)
- ETCS poziom 2 z regularnymi odstępami blokowymi
- ETCS poziom 2 z optymalizowanym odstępem blokowym
- ETCS poziom 3 z ruchomym odstępem.

### 3.1 Przypadek głównych linii konwencjonalnych

Wyniki obliczeń zostały pokazane na Rys. 13. Okazuje się, że podstawowy ETCS poziom 1 prowadzi do stosunkowo niskiej przepustowości porównywanej z innymi konfiguracjami. Natomiast porzucenie krzywej hamowania służbowego i ETCS poziom 1 z ograniczonym nadzorem, prowadzi do wzrostu przepustowości. Dla wielu linii z ruchem mieszanym możliwość opisanych konfiguracji mogłaby być właściwym wyborem zamiast podstawowego ETCS poziom 1.

Nawet poziom 2 nie wykazuje znaczącego wzrostu przepustowości. Jest to spowodowane różnymi profilami prędkości pociągów na badanej linii głównej. Zdecydowanie minimalne czasy odstępu spowodowane są przez różnice szybkości, które nie mogą zostać zrekompensowane w poziomie 2.

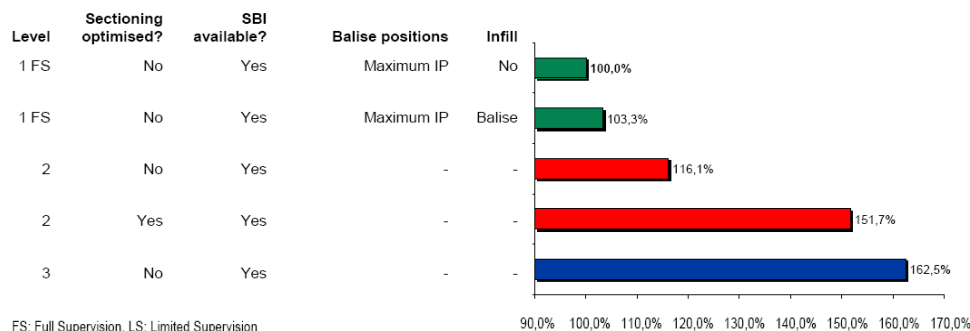
Duży skok w funkcji przepustowości następuje wraz z poziomem 3 i 2 z optymalizowanym odstępem blokowym. Można to wyjaśnić przez początkową sytuację z odległościami blokady o długości 3 km (zobacz Rys. 12.). Jeżeli odległości blokady na istniejącej linii byłyby krótsze, wzrost pojemności linii ruchu mieszanego z ETCS poziom 3 można by było zredukować do ponad 40%.



Rys. 13. Obliczona przepustowość dla przypadku linii konwencjonalnych

### 3.2 Przypadek linii dużych prędkości

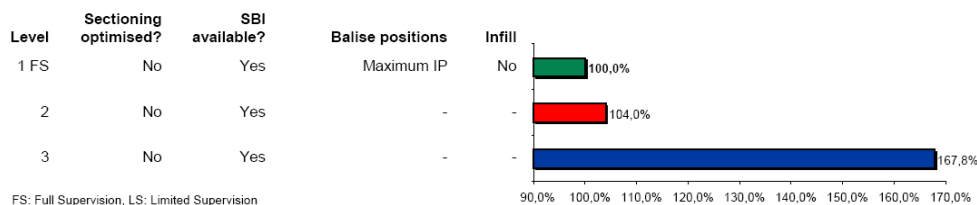
Wyniki obliczeń w przypadku dużych prędkości pokazane są na Rys. 14. Wprowadzenie dodatkowego uaktualniania nieznacznie poprawia przepustowość. Wzrost ten jest spowodowany przez oszczędzanie czasów bufora. Wzrost w kontekście z poziomem 2 jest spowodowany przez elastyczne przechodzenie czasu, który określa się przez indywidualny punkt znaku a nie przez miejsce grupy balis. ETCS poziom 3 (ruchomy odstęp) prowadzi do najwyższego wzrostu przepustowości, która jednakże nie jest o wiele większa od poziomu ETCS 2 z optymalizowanym odstępem blokowym.



Rys. 14. Obliczona przepustowość dla przypadku linii dużych prędkości

### 3.3 Przypadek linii regionalnych

Wyniki obliczeń przedstawiono na Rys. 15. Nie ma prawie żadnej różnicy przepustowości pomiędzy poziomem 1 i 2. Spowodowane jest to przez początkową sytuację niepozwalającą na żadne dodatkowe odstępy blokowe między punktami krzyżowań. Poziom 3 wykazuje olbrzymi skok pojemności. Jest to spowodowane przez przypadkowy scenariusz ruchowy, który jest założony w przypadku próbki. Jeżeli wzorujemy się na dokładnej jeździe naprzemian, która zostanie założona na linii jednotorowej – kierunek właściwy/kierunek przeciwny – wzrost przepustowości poziomu 3 byłby bardzo zredukowany.



Rys. 15. Obliczona przepustowość dla przypadku linii regionalnych

## 4. WNIOSKI

Przedstawione powyżej obliczenia przepustowości pozwalają na przedstawienie wstępnych wniosków dla linii dużych prędkości, konwencjonalnych i regionalnych. We wszystkich trzech przypadkach różne konfiguracje ETCS poziom 1 w pełnym nadzorze z interwencją obsługi hamowania dowodzą o najniższej przepustowości we wszystkich trzech przypadkach. Wpływ uaktualniania jest marginalny w chwili używania, pociągi pośpieszne kursują gęsto za wolniejszymi (ruch zatrzymanie – jazda). Wyższe wpływy uaktualniania mogą być oczekiwane w odejściach od linii i w stacjach węzłowych, gdzie ruch manewrowy może zablokować trasy przybywających pociągów oraz w jakiś innych specjalnych okolicznościach. W ETCS poziom 1 z ograniczonym nadzorem i ETCS poziom 1 z niedostępnym hamowaniem służbowym, powoduje wysokie zmniejszenie

szybkości hamowania pomocniczego co prowadzi do krótszego czasu zbliżania się do głównego sygnalizatora. Dzięki temu, uzyskujemy minimalne zmniejszenie odstępów i wzrost przepustowości. Porównując do istniejącej sygnalizacji i systemów kontroli pociągu, należy ostrożnie ustawiać narodowe wartości ETCS formuł hamowania. W przeciwnym razie, ETCS poziom 1 może prowadzić do spadku przepustowości na istniejących liniach kolejowych.

We wszystkich przypadkach ruchowych, ETCS poziom 2 pokazuje niewielki wzrost przepustowości w porównaniu do poziomu 1. Na liniach kolejowych poziomu 2 możliwy jest wzrost przepustowości, który może być wyższy, z powodu licznych różnic w odległościach hamowania różnych typów pociągu. ETCS poziom 2 z optymalizowanym odstępem blokowym wykazuje znaczącą wyższą przepustowość.

ETCS poziom 3 ma najwyższy potencjał, co do wzrostu przepustowości dzięki ruchomemu odstępowi. Jednakże wzrost pojemności poziomu 3 w porównaniu do poziomu 2 z optymalizowanym odstępem blokowym jest stosunkowo niewielki.

Jest to ważne, aby zauważyć, że na przepustowość linii kolejowej wpływa kilka parametrów (system sygnalizacji, profile prędkości, model operacyjny, itd.). Dotychczas, badane przypadki dają pogląd wpływu ETCS na przepustowość. Nie dopuszcza to do generalizowania wymienionych liczb przepustowości dla wszystkich linii kolejowych. Natomiast, zalecane jest wykorzystywanie ogólnej metodologii dotyczącej teorii czasu blokowania, w celu oszacowania przepustowości określonej linii kolejowej wyposażonej w ETCS według jakiejś aplikacji konfiguracji.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Adler G.: *Die Verkettung der Streckenbelegungen einer Gesamtstrecke (Linking of track occupation for railway lines)*. Diss. A., Hochschule für Verkehrswesen, Dresden (1967)
- [2] *Description of the brake curve calculation*. Version 6K, ERTMS Users Group, Brussels (2007)
- [3] Gröpler O.: *Bremswege und Bremswegsicherheit (Braking distances and related safety)*. ZEV Rail Glassers Annalen 132 2008/1-2, str 31-39
- [4] Happel O.: *Sperrzeiten als Grundlage der Fahrplankonstruktion (Blocking times as base for the timeetabling)*. ETR 8, 1959/2, str .79-80
- [5] Meier M, Bär M.: *Minimale Zugfolge und notwendige Pufferzeiten im Hochgeschwindigkeitsverkehr mit ETCS (Minimal train spacing and required buffer times in high-speed train operation with ETCS)*. Proc. 20. Verkehrswiss. Tage, Dresden (2005), Sesion 4c
- [6] Schwanhäußer W.: *Die Bemessung der Pufferzeiten im Fahrplangefüge der Eisenbahn (Dimensioning of buffer times in context of railway time-tables)*. Veröffentlichungen des Verkehrswiss. Institut der RWTH Aachen, vol. 20 (1974)
- [7] *UIC Code 406 „Capacity“*. UIC, Editions Techniques Ferroviaires, Paris 2004
- [8] Wegel H.: *Der Hochleistungblock mit linienförmiger Zugbeeinflussung (High performant block based on LZB)*. Die Deutsche Bahn 68 1992/7, str 735-739
- [9] Wandler E.: *Weiterentwicklung der Sperrzeitentreppe für moderne Signalsysteme (Further development of blocking-time sequences related to modern signalling systems)*. Signal+Dracht 87, 1995/7-8, str 268-273

- [10] Wendler E.: *ETCS und Kapazität (ETCS and capacity)*. Proc. VDE Kongress 2006 Aachen, vol. 2, str 369-374, VDE-Verlag Berlin, Offenbach (2006)
- [11] Winter P.: *Global perspectives for ERTMS, ETCS and GSM-R* UIC, Editions Techniques Ferroviaires, Paris 2007