

PROPOZYCJA ZMIAN ZASAD OKREŚLANIA WIDOCZNOŚCI SYGNAŁÓW ŚWIETLNYCH¹

Juliusz Karolak

mgr inż., Politechnika Warszawska, Wydział Transportu,
Zakład Sterowania Ruchem i Infrastruktury Transportu,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel. +48 22 234
73 90, e-mail: juliusz.karolak@pw.edu.pl

Przemysław Ilczuk

dr inż., Politechnika Warszawska, Wydział Transportu,
Zakład Sterowania Ruchem i Infrastruktury Transportu,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel. +48 22 234
56 59, e-mail: przemyslaw.ilczuk@pw.edu.pl

Streszczenie. *Artykuł został poświęcony zagadnieniu widoczności sygnałów świetlnych nadawanych przez sygnalizatory kolejowe i wskaźniki stosowane na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Zostały przedstawione zasady widoczności związane ze staunością sygnalizacji oraz wynik analizy wymagań zawartych w przepisach i zasad stosowanych przez projektantów w kraju i za granicą. Omówiono genezę standardu sygnalizacji OSŽD i określone w ramach tego standardu długości dróg związanych z widocznością. Na podstawie wniosków ze zgromadzonego materiału zostały zaproponowane zmiany w wytycznych wyznaczania odległości, z której sygnał na sygnalizatorach kolejowych powinien być widoczny i czytelny oraz zasad postrzegania tego sygnału przez kierującego pojazdem trakcyjnym w trakcie zbliżania się do sygnalizatora.*

Słowa kluczowe: *widoczność, sygnalizator, kolej, zmiana*

1. Wprowadzenie

Zasięg widoczności sygnalizatorów jest wartością, która zmieniała się wraz z rozwojem techniki, wzrostem prędkości jazdy oraz rozwojem trakcji i systemów hamulcowych. Doświadczalnie dobrane parametry z czasem zostały opisane odpowiednimi wzorami matematycznymi. Wzory takie są uzupełnione o dodatkowe rozwiązania techniczne i organizacyjne z uwagi na szczególnie sytuacje topologiczne, specyficzny przebieg toru i inne czynniki mogące wpłynąć na uzyskanie pożądaných odległości niezbędnych do zachowania widoczności sygnałów. Aktualnie stosowane zasady [19] zdaniem PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. i projektantów utrudniają lokalizowanie sygnalizatorów w niektórych przypadkach. Stało się to przyczyną poszukiwania możliwości ich modyfikacji.

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Karolak J.: 75%, Ilczuk P.: 25%

2. Zasady widoczności związane ze stawnością sygnalizacji

Sygnalizatory przytorowe przekazują obsłudze pojazdu kolejowego sygnały określające sposób prowadzenia pojazdu (m.in. informacje o zezwoleniu na jazdę, maksymalnej dopuszczalnej prędkości, bądź jej ograniczeniu, a także o możliwości i warunkach jazdy na następnych odcinkach znajdujących się za sygnalizatorem). Aby informacje te mogły być prawidłowo odczytane, powinny charakteryzować się odpowiednią widocznością i czytelnością. Obsługa musi je otrzymać z odpowiednim wyprzedzeniem, umożliwiającym podjęcie właściwej reakcji na zaobserwowany sygnał.

Do bezpiecznego prowadzenia ruchu pojazdów konieczna jest możliwość dostrzeżenia przeszkody, wskaźnika lub sygnału przekazywanego przez sygnalizator z odległości określonej zależnością [5]:

$$l_w \geq l_r + l_b \quad (1)$$

gdzie: l_w – droga widoczności, l_r – droga reakcji, l_b – droga hamowania.

Droga reakcji stanowi odcinek toru przejeżdżany w czasie reakcji t_r , tj. od momentu spostrzeżenia sygnału ostrzegającego, bądź zabraniającego jazdy na sygnalizatorze, do chwili rozpoczęcia hamowania. Dla ruchu jednostajnego drogę reakcji określić można na podstawie zależności [5]:

$$l_r = vt_r \quad (2)$$

gdzie: v – maksymalna prędkość ruchu dla odcinka l_r , t_r – czas reakcji.

Drogę hamowania stanowi odcinek toru, na długości którego pojazd może być zatrzymany. Z uwagi na różną długość rzeczywistych dróg hamowania różnych pociągów, przyjmuje się znormalizowaną drogę hamowania o określonej długości (1300 m, 1000 m, 700 m, 400 m) w zależności od prędkości i innych czynników [19].

Pociągi, ze względu na prędkość ruchu i ciężar, wymagają stosunkowo długiej drogi hamowania. Warunki miejscowe linii kolejowych i warunki atmosferyczne nie pozwalają na osiągnięcie drogi widoczności tak długiej, jak droga hamowania. Skrócenie jej do wielkości praktycznie osiągalnej jest możliwe dzięki ustawieniu przed sygnalizatorami (semaforami) sygnalizatorów uprzedzających (tarcz ostrzegawczych, semaforów pełniących również rolę tarczy ostrzegawczej).

Sygnalizator uprzedzający musi być widoczny z odległości pomniejszonej o odległość pomiędzy nim a sygnalizatorem zasadniczym (semaforem):

$$l_w \geq l_r + l_b - l_b \quad (3)$$

gdzie: l_b – odległość pomiędzy sygnalizatorem zasadniczym i uprzedzającym.

Jeżeli sygnalizatory są odsunięte od siebie na odległość większą od drogi hamowania, czyli jest spełniona nierówność:

$$l_b \geq l_b \quad (4)$$

wówczas wystarczy, aby:

$$l_w \geq l_r \quad (5)$$

Ponieważ droga reakcji zależy będzie od czasu reakcji i prędkości, to po upraszczającym przyjęciu, że prędkość ta jest stała i że rozważa się jej wartość maksymalną, możliwą do osiągnięcia na rozważanym odcinku toru przed sygnalizatorem, dalsze rozważania należy odnieść do czasu reakcji t_r . Przyjęte uproszczenie pozwala na zastosowanie prostszych rachunków, co powoduje otrzymanie wyników o wartościach większych niż przy zastosowaniu wzorów dokładniejszych, ale jest korzystne z uwagi na uproszczenie zapisów zasad wykorzystywanych do projektowania rozmieszczenia sygnalizatorów. W oparciu o wyżej przytoczone rozumowanie jest skonstruowana część wzorów ujętych w instrukcji Ie-4 [19]. Próba ich modyfikacji powinna zatem opierać się na rewizji wartości czasu reakcji t_r .

3. Czas reakcji

Czas reakcji maszynisty postanowiono ustalić na podstawie analizy dostępnych źródeł literatury ze względu na określony czas i koszty realizowanej pracy.

W ogólnodostępnej naukowej literaturze specjalistycznej wartości minimalnych wymaganych czasów reakcji maszynisty dla poszczególnych rodzajów trakcji są zdefiniowane w różny, często niejednoznaczny sposób. Według niektórych autorów obejmują one wyłącznie działanie i reakcję maszynisty, a zgodnie z innymi, całkowity czas od chwili zaobserwowania sygnału po faktyczne rozpoczęcie działania układu hamulcowego. Żadna z przeanalizowanych publikacji nie definiuje czasu reakcji powołując się na szczegółowe wyniki badań, a jedynie odnosi się do ogólnie przyjętych wartości. Nie podano okoliczności ich powstania ani czynników, które miały wpływ na ich wielkość. Zapisane czasy reakcji maszynisty wynoszą od 2 do 12 sekund:

- 12 s [11,18,2],
- 12 s dla parowozu, 8 s dla elektrowozu [12],
- 12 s dla parowozu, 10 s dla lokomotywy elektrycznej lub spalinowej, 2 s w przypadku zastosowania urządzeń kabinowych ostrzegających o sygnale [10],
- 12 s w przypadku zastosowania blokady pól samoczynnej, 6 s w przypadku zastosowania blokady samoczynnej [3,4],
- na podstawie ustaleń VII Komisji OSZD (skrót rozwinięty dalej w rozdziale 4) oraz badań przeprowadzonych wśród maszynistów [13]:

- o 12 s - minimalny czas widoczności sygnałów pociągowych, w tym:
 - 4 s na reakcję maszynisty,
 - 8 s na wykonanie czynności uruchomienia hamowania.
- o 7-8 s - minimalny czas widoczności dla pasa świetlnego.

Praca [7] omawia problemy diagnozowania ergonomicznego układu operator-pojazd szynowy-otoczenie. Na podstawie badań literaturowych i przeprowadzonych przez autorów opracowano trzy metody oceny. Jedną z metod wykorzystuje czas reakcji operatora jako parametr sprawności pracy operatora w zróżnicowanych warunkach pracy. Wpływ warunków pracy otrzymano wykorzystując metody modelowania oraz symulacje komputerowe.

Założono, że przedmiotem modelowania są różne działania operatora (np. wpływ na urządzenia sterownicze). Istotnym parametrem charakteryzującym działanie operatora jest czas reakcji, który wpływa na działanie całego układu operator-pojazd szynowy-otoczenie. Czas reakcji został przedstawiony za pomocą trzejelementowego wektora U_r , który składa się z:

- czasu odbioru informacji ($t_{\min} = 478$ ms, $t_{\max} = 790$ ms),
- czasu podjęcia decyzji ($t_{\min} = 346$ ms, $t_{\max} = 850$ ms),
- czasu wykonania czynności ($t_{\min} = 800$ ms, $t_{\max} = 1550$ ms).

Czas odbioru informacji oraz czas podjęcia decyzji może być wydłużony ze względu na zwiększoną prędkość pojazdu lub inne czynniki.

Autor pracy [7] wykorzystał opracowany przez siebie model oddziaływania maszynisty na urządzenia sterownicze w procesie hamowania w celu otrzymania czasu reakcji dla wymienionych wyżej warunków i czynników pracy. Podstawy metodologiczne heurystycznego modelu lingwistycznego zostały zaimplementowane numerycznie w symulacji komputerowej środowiska Matlab_Simulink. Badania zostały przeprowadzone dla trzech różnych przypadków:

- Przypadek 1 – Badania przy dużych zakłóceniach (wszystkie przyjmują wartości nieprawidłowe),
- Przypadek 2 – Badania w warunkach sprzyjających pracy maszynisty,
- Przypadek 3 – Badania zbliżone do realnych warunków pracy operatora w pojeździe.

Uzyskane wyniki zostały przedstawione w tab. 1. Autor założył, że przypadek 2 odzwierciedla optymalne warunki pracy i w konsekwencji najkrótszy czas reakcji.

Tabela 1. Średnie czasy reakcji

Lp.	Średnie czasy reakcji	Przypadek 1	Przypadek 2	Przypadek 3
1.	Czas odbioru informacji	0,776 s	0,598 s	0,692 s
2.	Czas podejmowania decyzji	0,838 s	0,457 s	0,644 s
3.	Czas wykonania czynności	1,496 s	0,912 s	1,129 s
4.	Calkowity czas reakcji	3,110 s	1,972 s	2,465 s

Źródło: opracowanie własne na podstawie [7]

W ramach pracy [1] przeanalizowano również zasady dotyczące widoczności i czasy reakcji prowadzących pojazdy w innych rodzajach transportu: transporcie

lotniczym i drogowym. Na potrzeby pracy [1] przedstawiono także najważniejsze aspekty wpływające na postrzeganie przez człowieka sygnałów nadawanych przez urządzenia sygnalizacyjne, a analizie poddano także środowisko pracy i przepisy dotyczące badań kwalifikujących personel dla ww. rodzajów transportu i transportu kolejowego.

Takie podejście podyktowane jest tym, że wbrew wielu różnicom pomiędzy analizowanymi rodzajami transportu, we wszystkich rozpatrywanych przypadkach prowadzącym pojazd jest człowiek.

Wysnuto wniosek, że o ile obserwatorem sygnałów jest za każdym razem człowiek i można dla niego określać czasy reakcji (wpływające w konsekwencji na to, jaki dystans pokonuje kierowany przez niego pojazd), o tyle na wartości te może wpływać specyfika odmiennych warunków pracy oraz doboru osób względem wymaganych kwalifikacji.

Wykonane analizy pozwalają **rekomendować wykonanie badań czasów reakcji dla maszynistów przy zmiennych warunkach**: wynikających z typu pojazdu trakcyjnego, terenowych, pogodowych itp.

Różnica pomiędzy analizowanymi rodzajami transportu występuje także w sposobie wyznaczania odległości dotyczących widoczności. W kolejnictwie odległość ta zazwyczaj określana jest poprzez wzory matematyczne, w których determinującymi zmiennymi są czasy reakcji maszynisty oraz dopuszczalna maksymalna prędkość na danej linii kolejowej. Dla przypadku transportu drogowego, o ile w polskich przepisach drogowych podane są określone wartości, o tyle w innych krajach odległości, z których powinna być zachowana widoczność sygnałów nadawanych przez sygnalizatory drogowe jest ściśle związana z prędkością pojazdów. W przypadku transportu lotniczego podawane są konkretne wartości, zależne od rodzaju naziemnego urządzenia sygnalizacyjnego.

Ponadto w ruchu drogowym odróżnia się **pojęcia widoczności i widzialności**, co jest korzystne, ponieważ dzięki temu unika się błędnej interpretacji zapisów.

4. Standard sygnalizacji OSŻD

Zasady sygnalizacji opracowane w ramach ustalenia jednolitego standardu obowiązującego w państwach należących do organizacji BUD (Biuro Uprawnień Działami SMPS/SMGS), od 1 września 1957 r. zastąpionej przez Organizację Współpracy Kolei (OSŻD, ros. Организация сотрудничества железных дорог – ОСЖД) zostały uzgodnione podczas dwóch międzynarodowych konferencji, które odbyły się w 1956 roku w Sofii i w Leningradzie. Ostatecznie wspólny system sygnalizacji przyjęty został na naradzie VII Komisji Komitetu Transportu Kolejowego OSŻD, która odbyła się we wrześniu 1961 r. w Warszawie [1].

Podczas obrad komisji ustalono wzory matematyczne dotyczące zasięgów widoczności sygnałów świetlnych na semaforach. We wzorach tych uzależniono zasięg sygnału od prędkości zbliżającego się pociągu, opierając się na badaniach

przeprowadzonych wśród maszynistów, zgodnie z którymi sygnały główne, to jest bezpośrednio dotyczące jazdy pociągu, powinny być widoczne co najmniej na 12 sekund przed minięciem sygnału przez czoło pojazdu trakcyjnego. Na czas 12 sekund składają się 4 sekundy przeznaczone na reakcję maszynisty i 8 sekund przeznaczone na wykonanie czynności uruchomienia hamowania. Dla pasów świetlnych minimalny okres spostrzegania ustalono na 7-8 sekund [1].

Na tej podstawie sformułowano wzory, obecne również aktualnie w instrukcji Ie-4 [19], przyjmując dla sygnałów głównych czas reakcji 12 s, dla sygnalizatorów usytuowanych na szlaku wyposażonym w urządzenia samoczynnej blokady liniowej, sygnałów ostrzegawczych i manewrowych – 9 s, natomiast dla pasów świetlnych – 7,2 s. Wzory, zawarte w instrukcji Ie-4 [19], przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2. Odległości związane z widocznością sygnałów na polskiej sieci kolejowej (V oznacza największą dozwoloną prędkość zbliżania się pociągu do sygnalizatora wyrażoną w km/h)

Lp.	Rodzaj sygnalizatora	Minimalny zasięg, z jakiego sygnał jest widoczny [m]
1.	Semafor wjazdowy: - na liniach magistralnych i pierwszorzędnych dla $V > 120$ km/h: dla $V \leq 120$ km/h: - na liniach drugorzędnych: - na liniach znaczenia miejscowego:	$(10 \cdot V) / 3$ 400 300 100
2.	Semafor wyjazdowy, wyjazdowy grupowy i drogowskazowy przy torach głównych zasadniczych i dodatkowych, po których odbywają się przebiegi bez zatrzymania oraz semafony odstępowe obsługiwane i samoczynne:	$(10 \cdot V) / 4$ ale nie mniej niż 200
3.	Semafor wyjazdowy przy torach, po których nie odbywają się przebiegi bez zatrzymania oraz dla wszystkich semaforów na liniach znaczenia miejscowego:	50
4.	Tarcza ostrzegawcza i tarcza ostrzegawcza przejazdowa	$(10 \cdot V) / 4$ ale nie mniej niż 200
5.	Pasy świetlne i wskaźniki wyświetlane zainstalowane na semaforach	$(10 \cdot V) / 5$ ale nie mniej niż 200
6.	Tarcza manewrowa	50
7.	Tarcza rozrządowa	cała droga spychania poprzez zastosowanie odpowiedniej ilości tarcz rozrządowych i nie mniej niż 500

Źródło: opracowanie własne na podstawie [19]

W ramach pracy [1] analizie poddano przepisy aktualnie obowiązujące w zarządach kolejowych, stosujących sygnalizację opartą na standardzie OSZD: Rosji (Federacji Rosyjskiej), Rumunii, Czechach, Węgrach i Estonii. Dodatkowo analizie poddano także przepisy obowiązujące na kolejach niemieckich i brytyjskich, a także przedstawiono podstawowe dane dotyczące widoczności sygnalizatorów w innych niemieckojęzycznych zarządach kolejowych. Wybór zarządów kolejowych wybranych do przeprowadzenia analizy został podyktowany przede wszystkim stosowaniem sygnalizacji opartej na standardzie OSZD oraz wielkością sieci kole-

jowej. Do analizy wybrano Niemcy (Republikę Federalną Niemiec), mające jeden z najbardziej zaawansowanych organizacyjnie systemów kolejowych w Europie.

Przepisy dotyczące widoczności sygnałów obowiązujące w poszczególnych europejskich zarządach kolejowych są efektem położenia geopolitycznego w okresie kształtowania się tych zagadnień oraz stanu zaawansowania techniki tzn. parametrów eksploatacyjnych ówczesnego taboru. Jednym z najważniejszych parametrów był rodzaj systemu hamulcowego, którego funkcjonowanie miało istotny wpływ na określenie wymaganej drogi widoczności sygnałów kolejowych, pozwalającej na bezpieczne prowadzenie ruchu kolejowego. Ważnym aspektem jest to, że przepisy dostosowane do standardu OSŻD opierały się na parametrach eksploatacyjnych ówczesnego taboru napędzanego trakcją parową. Aktualne przepisy dotyczące widoczności należałoby poddać rewizji ze względu na postęp techniczny oraz technologiczny zarówno od strony taboru jak i urządzeń sygnalizacji kolejowej.

Poddane analizie przepisy różnią się od siebie nie tylko pomiędzy zarządcami infrastruktury należącymi i nienależącymi do stowarzyszenia OSŻD, ale także wewnątrz tej organizacji. W Rosji i krajach będących byłymi republikami Związku Radzieckiego zarządcy infrastruktury stosują przepisy dotyczące widoczności sygnałów oparte na wspólnym standardzie pochodzącym z okresu sprzed rozpadu Związku Radzieckiego. Jest on zgodny z wytycznymi OSŻD, przy czym parametry widoczności są uzależnione od rodzaju sygnalizatora, kierunku przebiegu linii kolejowej oraz ukształtowania terenu, bez określania maksymalnej dopuszczalnej prędkości jazdy pociągu.

W przypadku pozostałych objętych analizą europejskich zarządów infrastruktury kolejowej, w których zasady sygnalizacji kolejowej oparte są na standardzie OSŻD, stosowane są przepisy dotyczące wymaganej wartości widoczności sygnałów uwzględniające wzory matematyczne opracowane w ramach tej organizacji (pod koniec lat 50-tych XX wieku). Niezależnie od tego, w niektórych krajach wymagana jest większa minimalna wartość widoczności sygnałów niż wynika to z wyżej wymienionych wzorów. Do krajów tych należy również Polska.

W większości zarządów kolejowych wartością graniczną przy określaniu minimalnej odległości, z której widoczność sygnałów jest zapewniona, jest prędkość 120 km/h. Powyżej tej prędkości następuje odwołanie się do wyżej wymienionych wzorów matematycznych lub stopniowe znaczne zwiększenie odległości z jakiej muszą być widoczne sygnały.

W przepisach innych europejskich zarządców infrastruktury kolejowej, nienależących do stowarzyszenia OSŻD, parametry widoczności sygnałów bez stosowania dodatkowych rozwiązań uprzedzających nie są tak rygorystyczne. Np. w Niemczech minimalna odległość zapewniająca widoczność sygnałów kolejowych dla prędkości 160 km/h wynosi 300 metrów. W porównaniu do wartości obowiązującej w Polsce, wyliczonej zgodnie ze standardem OSŻD, wynoszącej 534 metry daje to znaczną różnicę około 78%. Tak dużą rozbieżność można wytłumaczyć odmienną filozofią określania widoczności przyjętą w Niemczech, która przejawia się występowaniem w przepisach dwóch definicji i dwóch zakresów wartości odnoszących się do widoczności tzn. widoczności minimalnej i widoczności zalecanej.

Natomiast w nomenklaturze stosowanej w zarządach kolejowych, eksploatujących systemy sygnalizacji zgodne z zasadami standardu OSŽD występuje wyłącznie pojęcie wartości minimalnej widoczności. Nie zmienia to faktu, że niektóre zarządy kolejowe, np. czeski, w wyjątkowych sytuacjach dopuszczają zmniejszenie czasu postrzegania sygnału, jednak jest to rozwiązanie niestandardowe.

W celu określenia widoczności minimalnej wprowadzono w Niemczech wzór $d = 1,875 * V$, który zapewnia widoczność sygnału z odległości 300 m dla prędkości maksymalnej 160 km/h. Odległość ta wynika z wymaganego czasu obserwacji sygnału wynoszącego 6,75 sekundy. Jest to czas, w którym maszynista podczas zbliżania się do sygnalizatora powinien mieć nieprzerwaną (ciągłą) widoczność nadawanego sygnału. W przypadku zasad obowiązujących w Niemczech [16], w całym zakresie minimalnej widoczności musi zawsze być widoczny pełny obraz sygnałowy. Nie dopuszcza się sytuacji, w której pojedyncze światło będzie czasowo niewidoczne w wyniku zasłaniania przez budynek, most lub drzewo. Uwzględnia się również ograniczenia widoczności związane z planowym postojem pojazdów kolejowych. Nie są natomiast uważane za niedopuszczalne zakłócenia krótkotrwałe, nawet powtarzające się ograniczenia widoczności, spowodowane pojedynczymi masztami lub konstrukcjami wsporczymi instalacji stacjonarnych, które powodują podobne ograniczenia jak maszt lub konstrukcja wsporcza linii napowietrznej.

We wzorze opracowanym w ramach stowarzyszenia OSŽD w celu określenia drogi widoczności pociągowych sygnałów głównych uwzględnia się parametr czasu reakcji równy 12 sekund. W literaturze fachowej, omawianej w rozdziale 4, wartość ta została podzielona na czas reakcji maszynisty równy 4 sekundy i czas działania układu hamulcowego równy 8 sekund, wynikający z konstrukcji pojazdu trakcyjnego i charakterystyki układu hamulcowego. W literaturze tej wartość 12 sekund odpowiada trakcji parowej oraz specyfice układów hamulcowych jakimi charakteryzował się ówczesny tabor. Czas reakcji obowiązujący w aktualnych przepisach PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. może być nieadekwatny dla aktualnie eksploatowanych rodzajów trakcji (elektrycznej, spalinowej). Z tego powodu zasadnym wydaje się zaktualizowanie tego czasu i wzorów obecnie stosowanych w przepisach. Przemawia za tym również zastosowanie mniejszej wartości czasu na kolei niemieckiej.

Odmiennym podejściem do określania widoczności cechuje się kolej brytyjska, w przypadku której do określenia odległości jest brany pod uwagę czas określany komisyjnie przy współdziałaniu zarządcy infrastruktury, przewoźników i innych podmiotów.

5. Zagadnienie widoczności ciągłej

W odniesieniu do maszynistów i przytorowych sygnalizatorów świetlnych oraz wskaźników zawierających własne źródło światła uzupełniających wskazania tych sygnalizatorów, należy zapewnić widoczność z każdego punktu znajdującego się na powierzchniach bryły lub w jej wnętrzu. Bryłę tę uzyskać można przesuwając

figurę geometryczną znajdującą się na płaszczyźnie prostopadłej do osi toru, po osi toru, w zakresie następujących odległości:

- a) Odległość minimalna, z której sygnał będzie widoczny w sytuacji, w której pojazd będzie znajdował się w pobliżu sygnalizatora. Jest to przypadek odpowiadający ruszaniu spod semafora lub tarczy manewrowej po zatrzymaniu się jak najbliżej tego urządzenia, np. z powodu potrzeby wykorzystania całej dostępnej długości użytecznej toru.
- b) Odległość, z której sygnał będzie widoczny w sytuacji, w której pojazd będzie zbliżać się do sygnalizatora z maksymalną dopuszczalną prędkością obowiązującą dla odcinka toru przed tym sygnalizatorem, a sygnalizator ten będzie przekazywał sygnał uprzedzający o konieczności rozpoczęcia hamowania.

Na odcinku drogi pomiędzy punktami wyznaczonymi wyżej określonymi odległościami widoczność powinna być zachowana. Wynika to z możliwości poruszania się pojazdu z dowolną prędkością z zakresu od 0 do prędkości maksymalnej określonej dla odcinka toru przed tym sygnalizatorem lub postoju pojazdu przed sygnalizatorem.

Figurę geometryczną, o której mowa powyżej, powinny określać dokumenty (norma, rozporządzenie lub instrukcja), a jej wymiary i położenie względem osi toru i powierzchni tocznej główek szyn powinny wynikać z możliwych lokalizacji oczu maszynisty zajmującego dopuszczalne pozycje pracy podczas prowadzenia pojazdu. Dla określenia tych parametrów powinny być znane cechy antropometryczne populacji maszynistów oraz dopuszczalne cechy kabin pojazdów trakcyjnych eksploatowanych obecnie i możliwych do wprowadzenia do eksploatacji na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Określanie widoczności sygnalizatora i wskaźników powinno uwzględniać ich lokalizację względem (osi) toru: z lewej/prawej strony i nad torem, w minimalnej i maksymalnej dopuszczalnej odległości od osi toru.

Możliwa do uzyskania odległość, określona w literze a) powyżej, zależeć będzie od konstrukcji sygnalizatora i odchylenia części strumienia świetlnego nadawanego przez jego elementy w kierunku kabiny maszynisty pojazdu znajdującego się w pobliżu sygnalizatora. W Polsce do tego celu stosuje się zewnętrzne soczewki sygnalizatora z sektorem odchylającym i obraca się je podczas montażu w taki sposób, aby strumień odchylany tym sposobem mógł trafić do kabiny. W normie PN-90/K-11001 [14] określono, że kabina maszynisty (lokomotywy elektrycznej dwukabinowej) powinna być tak ukształtowana, żeby sygnały przekazywane maszyniście przez sygnalizatory wysokie powinny być widoczne z odległości min. 10 m, natomiast sygnały przekazywane maszyniście przez sygnalizatory niskie z odległości min. 15 m, licząc od czoła zderzaków lokomotywy.

Z uwagi na możliwość zatrzymania pojazdu w odległości, z której maszynista stwierdzi, że będzie mógł w niezakłócony sposób obserwować sygnały nadawane przez sygnalizator, istotniejszym wydaje się przypadek poruszania się w sytuacji zakładającej brak postoju przed sygnalizatorem. Takie podejście wymaga jednak odpowiednich państwowych zapisów zezwalających na takie niewykorzystywanie

długości użytecznej toru (maszynista i dyżurny ruchu należą najczęściej do różnych przedsiębiorstw). Skrajnym przypadkiem będzie natomiast poruszanie się z prędkością maksymalną obowiązującą na odcinku toru pomiędzy punktem określonym powyżej w lit. b) a sygnalizatorem.

Przepisy, wytyczne i normy powinny dotyczyć wyłącznie **widoczności ciągłej**. Sygnały przekazywane uczestnikom procesu ruchowego przez przytorowe urządzenia sygnalizacyjne i przekazywane przez nie sygnały powinny być widoczne w taki sposób, aby była możliwa ich prawidłowa interpretacja. Zakłócenia wpływające na taką możliwość mogą być różne: wynikające z elementów stałych infrastruktury i otoczenia (w tym oświetlenia i osłepiania), obecności obiektów ruchomych (pojazdy szynowe, drogowe, ludzie, zwierzęta) pomiędzy obserwatorem a urządzeniem sygnalizacyjnym, warunków atmosferycznych. Wpływ każdego ze źródeł zakłócających może zostać ograniczony, ale wymaga to określonych działań, które w danej sytuacji mogą nie dać się zastosować m.in. z powodów wysokich kosztów. Racjonalnym zatem wydaje się określenie, że dopuszczalne jest chwilowe pogorszenie warunków obserwacji. Niedopuszczalny jest natomiast całkowity zanik obiektu obserwowanego (światła sygnalizatora, wskaźnika) w obszarze, dla którego określono konieczność zachowania widoczności.

Aby móc określić, czy widoczność pozostaje ciągła przy istniejących zakłóceniach, potrzeba określić parametry i zakresy ich wartości. Można wskazać następujące parametry, które mogłyby do tego służyć:

- zmiana natężenia sygnału (o ile, np. spadek poniżej określonej wartości),
- kontrastowość (różnica pomiędzy sygnałem a zakłóceniem, np. pomiędzy sygnałem dla danego toru a dla toru sąsiadującego),
- przysłonięcie obiektu (jaki czas, np. wynikający z czasu, w którym człowiek nie jest w stanie dostrzec braku sygnału – tak jak w kinematografii).

Dyskusja nad doбором parametrów i ich zakresów powinna być wynikiem badań naukowych obejmujących populację maszynistów.

6. Propozycja zmian w wytycznych

Definicje drogi hamowania i drogi hamowania obowiązującej określone w instrukcji Ie-4 [19] (odcinek toru niezbędny dla zatrzymania pociągu) nie precyzują procesu hamowania pod względem tego, kiedy ma się rozpocząć, w jaki sposób ma przebiegać (zmiany przyspieszenia i jego wartość maksymalna). W dostępnych źródłach czas reakcji obejmuje czas reakcji maszynisty i czas wykonania czynności hamowania. Czas reakcji maszynisty jest to czas potrzebny na zaobserwowanie (odbiór) sygnału, jego rozpoznanie i zapamiętanie, przetworzenie oraz podjęcie odpowiedniej decyzji, np. wdrożenie hamowania lub jego zaniechanie. Pozostały czas – wykonania czynności hamowania – nie został precyzyjnie określony. W skrajnym przypadku może obejmować on czas, w którym wydane przez maszynistę poprzez urządzenie sterownicze polecenie rozpoczęcia hamowania zostaje przetworzone

przez urządzenia pojazdowe, a hamowanie wdrożone z pełnym zadaniem przyspieszeniem. W normie EN 14531-6 [6] czas ten określono dla hamulców tarczowych jako 3,5 s. Nieprecyzyjne określenie czasu reakcji – czy obejmuje wyłącznie czas reakcji maszynisty, czy również czas reakcji urządzeń pojazdu – powoduje, że bezpieczniejszym rozwiązaniem jest przyjęcie sumy tych czasów do wzoru określającego miejsce, z którego sygnały przekazywane przez sygnalizator przytorowy, powinny być widoczne dla maszynisty pojazdu poruszającego się w kierunku tego sygnalizatora z maksymalną dopuszczalną prędkością, określoną dla odcinka toru przed tym sygnalizatorem.

Zbyteczne jest wiązanie widoczności semaforów wjazdowych z kategorią linii, jak ma to miejsce obecnie [19]. W zupełności wystarczającym powinno być powiązanie jej z dopuszczalną prędkością. Należy zwrócić uwagę na fakt, że dla określania drogi związanej z czasem reakcji istotna jest prędkość i ewentualne zakłócenia mogące znaleźć się pomiędzy maszynistą a urządzeniem sygnalizacyjnym na tej drodze, a nie na całej linii.

Biorąc pod uwagę czasy reakcji określone w badaniach pilotów i maszynistów oraz z uwagi na zasady obowiązujące w niektórych zarządach kolejowych, wydaje się zasadnym zaproponowanie jednolitego czasu reakcji wynoszącego 8 sekund, z zastrzeżeniem, że dla jazd pojazdów historycznych (z trakcją parową, itp.) może to oznaczać konieczność zastosowania dodatkowych rozwiązań organizacyjnych (np. ograniczenia prędkości lub przeprowadzania sprawdzenia czasu dla konkretnego pojazdu). Czas ten zawierać będzie:

- czas potrzebny na dostrzeżenie sygnalizatora,
- czas potrzebny na dostrzeżenie sygnału na tym sygnalizatorze,
- czas potrzebny na zinterpretowanie tego sygnału,
- czas potrzebny na podjęcie decyzji,
- czas potrzebny na obsługę urządzeń sterowniczych w pojeździe trakcyjnym,
- czas upływający od wydania polecenia poprzez te urządzenia do przetworzenia ich przez układy pojazdu (np. wdrożenie hamowania całego pociągu z określoną badaniami wartością siły).

Dla czasu tego proponowany jest ogólny wzór określający minimalną odległość W , z jakiej sygnał na sygnalizatorze powinien być widoczny przez prowadzącego pojazd kolejowy z miejsca, jego pracy:

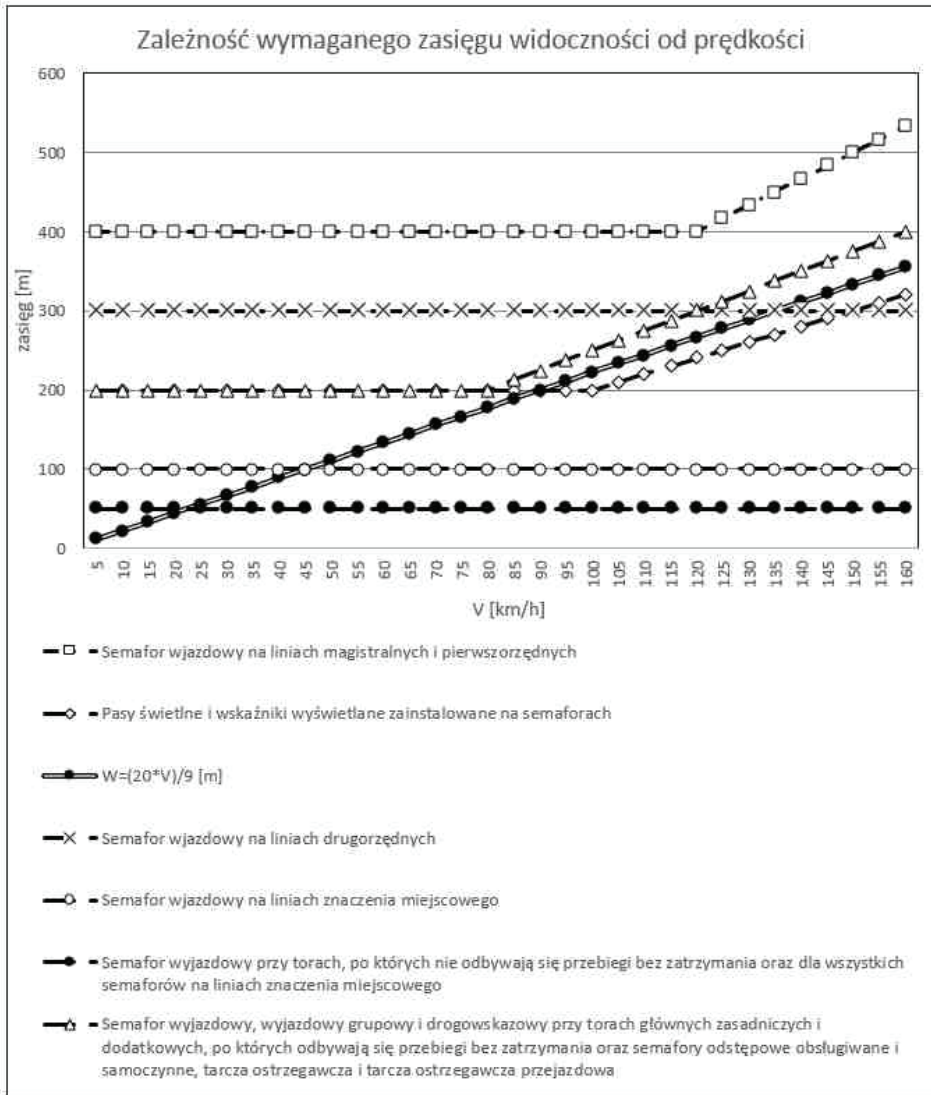
$$W = \frac{20 \cdot V_{max}}{9} \quad (6)$$

gdzie: V_{max} – prędkość maksymalna z jaką można dojeżdżać do sygnalizatora.

Iloraz znajdujący się we wzorze (20/9) wynika z przyjęcia ośmiosekundowego czasu reakcji oraz przeliczenia jednostek.

Wzór proponuje się stosować dla sygnalizatorów dla jazd pociągowych (semafory, tarcze ostrzegawcze). Dla semaforów przy torach, po których nie odbywają się przebiegi bez zatrzymania proponuje się pozostawić stałą minimalną wartość 50 m.

Zależności pomiędzy wartościami odległości wyznaczonymi proponowanym wzorem (6) oraz dotychczasowymi wzorami zawartymi w instrukcji Ie-4 [19], w zależności od prędkości, przedstawiono na rys. 1.



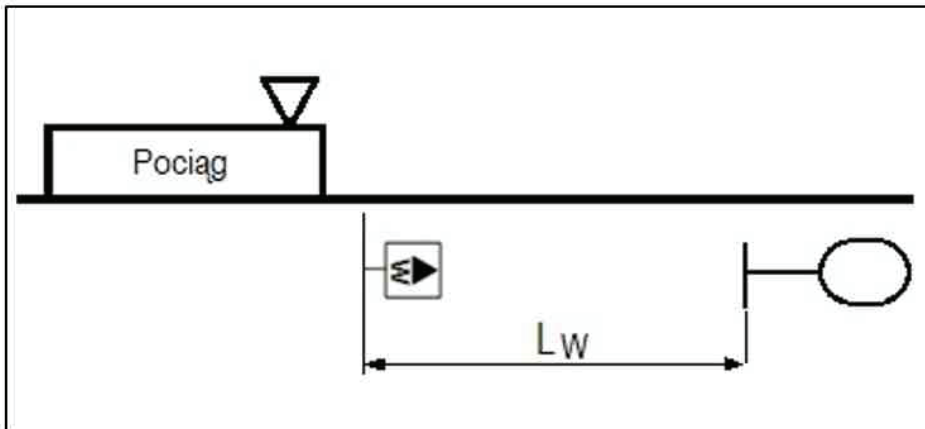
Rys. 1. Zależność wymaganego zasięgu widoczności od prędkości

Źródło: opracowanie własne na podstawie [19]

Dotatkowo, przed każdym semaforem, tarczą ostrzegawczą i tarczą ostrzegawczą przejazdową, niezależnie czy ich obrazy sygnałowe są widoczne z wymaganej odległości czy nie, proponowane jest umieszczenie wskaźnika widoczności (proponowana nazwa – W11c, wzór na rys. 1).

Wskaźnik ten powinien być stosowany przed sygnalizatorami na początku wymaganej drogi widoczności. W związku z wprowadzeniem wskaźnika W11c proponuje się rezygnację ze stosowania wskaźników W11a [9,17] używanych dotychczasowo do sygnalizacji zbliżania się do semafora, którego obrazy sygnałowe mogą nie być widoczne z wymaganej odległości.

Lokalizację wskaźnika względem sygnalizatora przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Propozycja lokalizacji wskaźnika W11c. L_w – droga widoczności

Źródło: opracowanie własne

W przypadku torów głównych dodatkowych, po których nie odbywają się przebiegi bez zatrzymania, zakończonych z jednej strony, nie ma potrzeby stosowania wskaźników W11c przed semaforami. Wskaźnika można nie zastosować, jeżeli w miejscu jego usytuowania lub pomiędzy tym miejscem a sygnalizatorem tor rozgałęzia się.

Propozycja zastosowania wskaźnika W11c wynika z ustalenia czasu, będącego podstawą wzoru służącego do obliczenia wartości odległości W . Czas ten jest krótszy niż wykorzystany w dotychczasowych wzorach dla wybranych sygnalizatorów. Maszynista na podstawie wskaźnika powinien być informowany o miejscu, w którym najpóźniej może i powinien zaobserwować wskazanie sygnalizatora, przy jeździe z maksymalną prędkością. Wskaźnik W11c może być również traktowany przez maszynistę jako punkt odniesienia, umożliwiający mu określenie sposobu, w jaki powinien regulować prędkość pojazdu. Wskaźnik W11c byłby również wskaźnikiem istotnym dla maszynistów prowadzących pojazdy niewyposażone w urządzenia SHP lub z niezycznymi urządzeniami SHP.

Proponuje się pozostawić dwa z dotychczasowych zasad i środków stosowanych w przypadku braku możliwości spełnienia wymaganej drogi widoczności sygnalizatorów [19] – sygnalizatory powtarzające oraz ograniczenie prędkości.

Dodatkowymi rozwiązaniami mogłyby być sygnalizatory powtarzające stosowane na szlakach wyposażonych w SBL przed semaforami wjazdowymi [3,4]. Aby ograniczyć możliwość pomylenia sygnalizatora powtarzającego z semaforem wjaz-

dowym, proponuje się wprowadzenie odmiennych sygnałów nadawanych przez taki sygnalizator dla szlaków z samoczynną blokadą liniową.

Zastosowanie wskaźników W11a, przy zaproponowanym ograniczeniu czasu reakcji jako podstawy wzoru do wyliczania wymaganej odległości z jakiej sygnalizator oraz umieszczone na nim wskaźniki i sygnały przekazywane przez niego powinny być widoczne, nie jest rozwiązaniem pozwalającym na dalsze zmniejszanie wymaganej drogi widoczności. Umieszczenie pierwszego z czterech wskaźników w miejscu, z którego sygnał powinien być już widoczny nie wpływa na skrócenie czasu reakcji.

Zastosowanie omawianych rozwiązań wymaga zmian w przepisach (rozporządzenie [17], Lista Prezesa UTK [15]) i instrukcjach wewnętrznych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. (m.in. [19,9,8])

7. Podsumowanie

W artykule przedstawiono i uzasadniono proponowane modyfikacje wybranych, obecnie obowiązujących przepisów z zakresu widoczności sygnałów nadawanych przez sygnalizatory kolejowe na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. oraz potencjalne kierunki działań koniecznych do ich wprowadzenia. Zastosowano podejście eksperckie opierając się na analizie przepisów oraz dokumentów normatywnych obowiązujących na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. i na kolejach zagranicznych, a także specjalistycznej dokumentacji w zakresie widoczności sygnałów.

Zalecane jest podjęcie dalszych działań prowadzących do doskonalenia opracowanego sposobu określania widoczności sygnałów. Pierwszym z nich jest przeprowadzenie badań eksperymentalnych, weryfikujących czasy reakcji maszynistów w różnych warunkach ich pracy. Czasy te w znacznym stopniu wpływają na określenie długości dróg widoczności sygnałów nadawanych przez sygnalizatory przytorowe. Badania powinny być przeprowadzone w różnych warunkach atmosferycznych oraz terenowych, co pozwoliłoby na określenie rzeczywistego zachowania maszynistów podczas jazdy.

Proponuje się opracowanie jednolitych i jednoznacznych definicji pojęć używanych w aktach prawa i instrukcjach wewnętrznych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Z punktu widzenia zrealizowanej pracy słusznym wydaje się określenie ujednoliczonego sformułowania definicji widoczności sygnałów, czy też drogi hamowania (w obecnej instrukcji Ie-4 niesprecyzowane jest, kiedy proces ten powinien się rozpocząć oraz w jaki sposób powinien przebiegać). Definicje powinny być ujęte we wspólnym słowniku, który mógłby być przydatny do opracowywania innych dokumentów.

W tabeli 3 zaproponowano ujednoliczone definicje związane z tematem widoczności sygnałów.

Tabela 3. Proponowane ujednolicone definicje związane z tematem widoczności sygnałów

Lp.	Pojęcie (termin)	Proponowana definicja
1.	Widoczność	Jest to właściwość sygnału, dzięki której maszynista ma możliwość jego dostrzeżenia i jednoznacznego zinterpretowania
2.	Czytelność	Jest to właściwość sygnału pozwalająca na jego bezbłędną interpretację z wymaganej odległości
3.	Widzialność	Parametr określający odległość z jakiej obiekt może być dostrzeżony
4.	Wskaźnik	Element sygnalizacji kolejowej, który przekazuje sygnały i nie będący sygnalizatorem. Źródłem sygnału jest napis, symbol lub ustalony kształt umieszczony na tablicy w sposób stały lub uwidoczniony na licu za pomocą źródła światła
5.	Sygnał	Znak umowny lub zespół znaków, za pomocą których przekazywane są polecenia, nakazy, lub informacje związane z ruchem kolejowym oraz bezpieczeństwem osób, ładunków, taboru, i mienia kolejowego

Źródło: opracowanie własne

Zastosowanie omawianych rozwiązań wymaga zmian w przepisach i instrukcjach wewnętrznych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Bibliografia

- [1] Analiza i weryfikacja zasad określania widoczności sygnałów świetlnych nadawanych przez sygnalizatory kolejowe i wskaźniki stosowane na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Wersja końcowa. Opinia nr: OT_18387_2_I_3_SRK_OTE_PL. Wersja nr: 3. Data wydania: 22.12.2018. Ośrodek Certyfikacji Transportu na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej.
- [2] Dąbrowa-Bajon M., Automatyzacja sterowania ruchem kolejowym. Tom I. Elementy i układy. WPW, Warszawa 1983, s. 183.
- [3] Dąbrowa-Bajon M., Karbowski H., Grochowski K., Projektowanie urządzeń sterowania ruchem kolejowym. WPW, Warszawa 1977.
- [4] Dąbrowa-Bajon M., Karbowski H., Grochowski K., Zasady projektowania systemów i urządzeń sterowania ruchem kolejowym. WPW, Warszawa 1981.
- [5] Dąbrowa-Bajon M., Podstawy sterowania ruchem kolejowym. Funkcje, wymagania, zarys techniki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2007.
- [6] EN 14531-6:2009 (E) Railway applications - Methods for calculation of stopping and slowing distances and immobilisation braking - Part 6: Step by step calculations for train sets or single vehicles.
- [7] Grabarek I., Diagnozowanie ergonomiczne układu operator-pojazd szynowy-otoczenie, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003.
- [8] Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów Ir-1, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A, Warszawa, 2019.

-
- [9] Instrukcja sygnalizacji Ie-1 (E-1), PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 2016.
- [10] Karaś S., Elementy i układy sterowania ruchem kolejowym, WPW, Warszawa 1981, s. 57.
- [11] Karaś S., Rola sygnalizacji w ruchu pociągowym, Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny, 1960, nr 7, s. 193.
- [12] Krawczyk S., Podstawy przyszłej sygnalizacji świetlnej, Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny, 1956, nr 9, s. 275.
- [13] Łącka M., Widoczność sygnałów świetlnych przy dużych prędkościach, Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny, 1971, nr 4, s. 25.
- [14] PN-90/K-11001 Ochrona pracy. Kabina maszynisty lokomotywy elektrycznej dwukabinowej. Podstawowe wymagania bezpieczeństwa pracy i ergonomii.
- [15] Prezes Urzędu Transportu Kolejowego Ignacy Góra: Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwi spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei. Warszawa, 19.01.2017 r.
- [16] Richtlinien, 819.0201-0204, 819.0301-0302: LST-Anlagen planen; Signale für Zug- und Rangierfahrern.
- [17] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 18 lipca 2005 r. w sprawie ogólnych warunków prowadzenia ruchu kolejowego i sygnalizacji, Dz.U. 2005 nr 172 poz. 1444 z późn. zm.
- [18] Ważyński T., Sterowanie ruchem kolejowym, WKiŁ, Warszawa 1970, s. 140-141.
- [19] Wytyczne techniczne budowy urządzeń sterowania ruchem kolejowym Ie-4 (WTB-E10), PKP Polskie Linie Kolejowe S.A, Warszawa, 2018.