

ZNACZENIE ANALIZ RUCHOWYCH W PROCESIE OPTIMALIZOWANIA ZAKRESU INFRASTRUKTURALNYCH INWESTYCJI KOLEJOWYCH¹

Radosław Gleba

mgr inż., Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza
11/12, 80-233 Gdańsk

Sławomir Grulkowski

dr inż., Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza
11/12, 80-233 Gdańsk, tel. +48 58 348 6089, e-mail:
slawi@pg.gda.pl

Dariusz Szczepiński

mgr inż., PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Zakład Linii
Kolejowych w Gdyni, ul. Morska 24, 81-333 Gdynia

Jerzy Zariczny

mgr inż., Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza
11/12, 80-233 Gdańsk, tel. +48 58 348 6089, e-mail:
jzrzaric@pg.gda.pl

***Streszczenie.** W artykule poruszono problem zachowania pełnej sprawności i uniwersalności rozwiązań technicznych w całym cyklu programowania inwestycji infrastrukturalnych. Wskazano na konieczność monitorowania prawidłowości projektowanych rozwiązań w perspektywie wieloletniej za pomocą analiz inżynierii ruchu kolejowego. Analizy pozwalają identyfikować również tzw. migrację problemów, co umożliwia weryfikację zakresu inwestycji. Postulowano sie przykładami inwestycji liniowej na linii kolejowej nr 201 oraz punktowej na stacji kolejowej Gdynia Port.*

***Słowa kluczowe:** zdolność przepustowa linii kolejowej, warunki ruchu kolejowego, przevozy kolejowe, trójmiejski węzeł kolejowy, linia kolejowa nr 201, stacja kolejowa Gdynia Port, inżynieria ruchu kolejowego, mikrosymulacyjny model linii kolejowej, OpenTrack*

1. Wprowadzenie

W Polsce rozpoczęto szereg prac związanych z inwestycjami w infrastrukturę kolejową oraz tabor, których celem jest zahamowanie degradacji oraz stopniowa poprawa stanu systemu transportu kolejowego. Dane działania przynoszą wymierne korzyści w postaci zwiększenia jakości i konkurencyjności kolei, dzięki czemu odnotowywany jest znaczący wzrost natężenia ruchu na głównych kolejowych ciągach transportowych. Jednocześnie inwestycje w infrastrukturę kolejową powinny charakteryzować się odpowiednią trwałością (długowiecznością), odnoszącą się nie tylko do konstrukcji nawierzchni kolejowej, budowli ziemnych, czy też obiektów inżynierskich, ale odnoszącą się także do zapewnienia odpowiednich warunków ruchu na liniach kolejowych w długookresowej perspektywie. Zapewnienie danej trwałości jest jednym z podstawowych uwarunkowań polityki transportowej Unii Europejskiej, przez co inwestycje infrastrukturalne muszą być poprzedzone szeregiem prac studialnych [3]. W ramach danych prac

1 Wkład autorów w publikację: Gleba R. 30%, Grulkowski S. 30%, Szczepiński D. 10%, Zariczny J. 30%

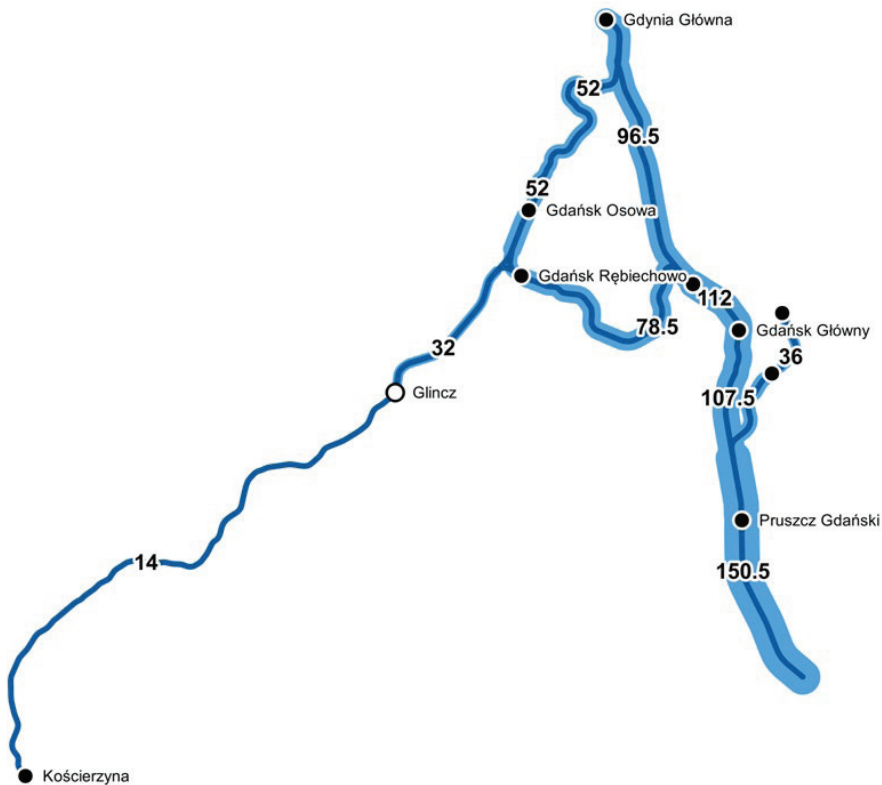
powinny być opracowywane szczegółowe prognozy natężenia ruchu oraz analizy z zakresu inżynierii ruchu kolejowego, wynikiem których są wskaźniki pozwalające na jednoznaczną ocenę określonych rozwiązań projektowych pod względem ich oddziaływania na płynność ruchu kolejowego. Niestety większość dotychczas przeprowadzonych w Polsce modernizacji i rewitalizacji linii kolejowych zostało wykonanych bez poprzedzenia odpowiednimi analizami z zakresu inżynierii ruchu kolejowego. W wielu przypadkach skutkuje to brakiem możliwości obciążenia linii kolejowej natężeniem ruchu wynikającym z zapotrzebowania. Dane zjawisko najbardziej zauważalne jest w obrębie dużych jednostek osadniczych, gdzie oprócz zapotrzebowania na przewozy pasażerskie występuje coraz większe zapotrzebowanie na przewozy towarowe. Przykładem jest aglomeracja trójmiejska, gdzie wpływ na rosnący popyt na przewozy kolejowe ma postępujące zjawisko suburbanizacji oraz wzrost przeładunków w trójmiejskich portach morskich, które są jednymi z największych generatorów kolejowych przewozów towarowych w Polsce [5].

2. Linia kolejowa nr 201 na odcinku Kościerzyna – Gdynia Główna

Analizowany odcinek linii kolejowej nr 201 przez wiele lat nie odgrywał istotnej roli w sprawnym funkcjonowaniu systemu transportu kolejowego Polski północnej. Jednakże w związku z uruchomieniem Pomorskiej Kolei Metropolitalnej oraz rosnącym średniodobowym natężeniem ruchu pociągów towarowych kursujących do/z Portu Gdynia, przy jednoczesnych ograniczeniach w możliwości trasowania pociągów towarowych ciągiem linii kolejowych nr 9 i 202 na odcinku Tczew – Gdynia Główna, znaczenie linii kolejowej nr 201 na odcinku Kościerzyna – Gdynia Główna będzie stopniowo wzrastało [1,2].

2.1. *Natężenie ruchu kolejowego w roku 2016*

Na rysunku 1 przedstawiono maksymalne dobowe natężenie ruchu kolejowego w obrębie Trójmiejskiego Węzła Kolejowego w 2016 roku (wyrażone w parach pociągów na dobę). Natężenie ruchu pociągów pasażerskich określono na podstawie rocznego rozkładu jazdy, natomiast natężenie ruchu pociągów towarowych określono w oparciu o dane uzyskane od zarządcy infrastruktury oraz interesariuszy portów w Gdańsku i Gdyni, które są największymi generatorami ruchu pociągów towarowych na danym obszarze. Dane zostały wykorzystane do przeprowadzenia szczegółowej analizy warunków ruchu kolejowego na linii kolejowej nr 201 w stanie istniejącym.



Rys. 1. Natężenie ruchu kolejowego w 2016 roku (par poc./d)

Źródło: opracowanie własne

2.2. Prognozowane natężenie ruchu kolejowego w 2045 roku

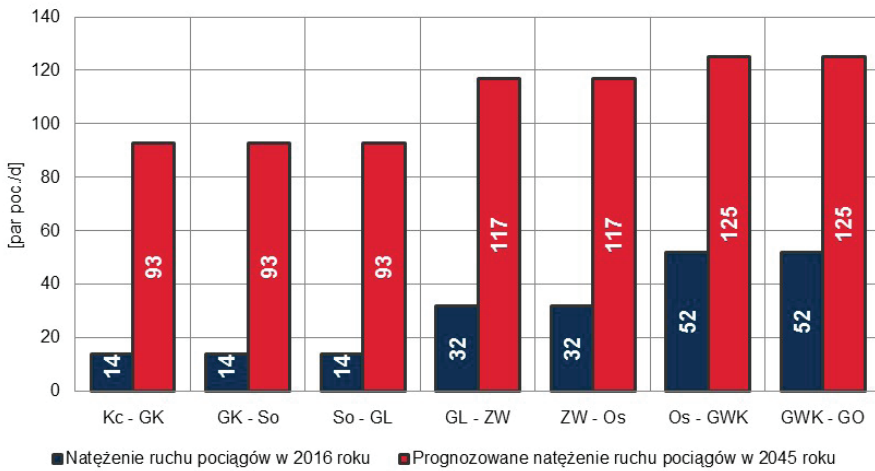
Przedstawiona na rysunku 2 prognoza natężenia ruchu pociągów pasażerskich opiera się na analizach, które zostały wykonane na potrzeby opracowania strategii *Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla województwa pomorskiego* [5]. Prognoza natężenia ruchu pociągów towarowych została opracowana w oparciu o konsultacje i ankiety jakie przeprowadzono wśród wszystkich interesariuszy trójmiejskich portów oraz innych podmiotów korzystających z usług kolei w zadaniu *Poprawa dostępu kolejowego do portu morskiego w Gdyni*.

Linia kolejowa nr 201 na analizowanym odcinku charakteryzuje się największym przyrostem prognozowanego natężenia ruchu kolejowego w stosunku do stanu aktualnego. Wzrost procentowy liczby pociągów na przestrzeni 30 lat na odcinku Kościerzyna – Glinicz może wynieść ponad 564%, na odcinku Glinicz – Gdańsk Osowa ponad 265%, a na odcinku Gdańsk Osowa – Gdynia Główna ponad 140% (rys. 3). Największy wpływ na tak duży przyrost obciążenia linii ma prognozowana liczba pociągów towarowych generowanych przez Port Gdynia (zarówno intermodalnych, jak i masowych).



Rys. 2. Natężenie ruchu kolejowego w 2045 roku (par poc./d)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Prognozowany wzrost natężenia ruchu kolejowego na linii kolejowej nr 201

Źródło: opracowanie własne

Przewiduje się, że w przypadku zrealizowania wszystkich planów rozwojowych poszczególnych interesariuszy (jak np. budowa głębokowodnego terminalu kontenerowego „za falochronem” – Morski Terminal Kontenerowy oraz budowa zaplecza magazynowo-logistycznego portu – Dolina Logistyczna), do 2045 roku port może generować aż 109 par poc./d. Część pociągów będzie mogła być wyprawiana na linię kolejową nr 202, jednakże dana linia charakteryzuje się bardzo dużym obciążeniem ruchem pasażerskim, przy jednoczesnym występowaniu ograniczeń infrastrukturalnych obniżających zdolność przepustową (w szczególności dotyczy to odcinka Gdańsk Wrzeszcz – Gdynia Główna, gdzie występuje szlak krytyczny Gdańsk Wrzeszcz – Sopot) [1]. W związku z tym większa część ruchu do/z Portu Gdynia będzie musiała być prowadzona linią kolejową nr 201 (65 par poc./d).

Znaczący wzrost natężenia ruchu kolejowego w zestawieniu z brakiem opracowania szczegółowej analizy ruchu na całej linii, rodzi uzasadnione obawy o to, czy projektowane w ramach przyszłej modernizacji linii rozwiązania techniczne umożliwiają przeniesienie tak dużego obciążenia ruchem. Aby przejść do tego etapu konieczne jest poznanie charakterystyki technicznej analizowanej linii kolejowej.

2.3. Infrastruktura linii kolejowej nr 201 w stanie istniejącym

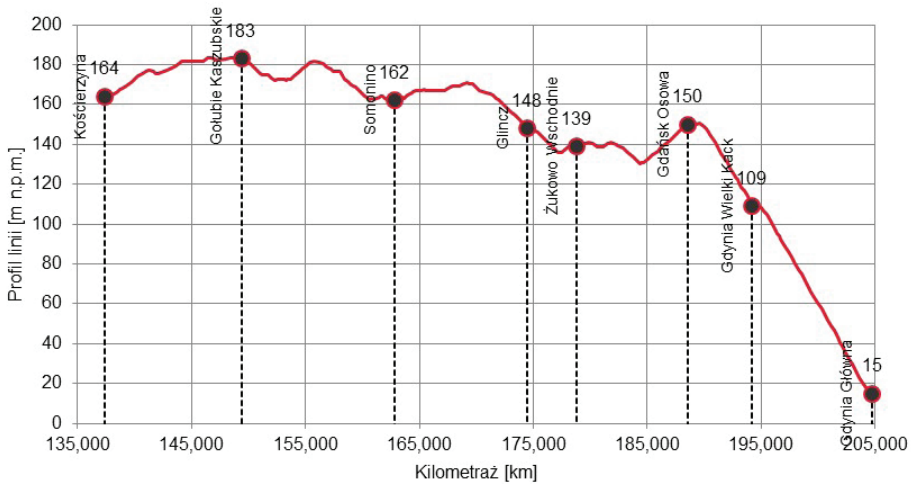
Linia kolejowa nr 201 Nowa Wieś Wielka – Gdynia Port na analizowanym odcinku Kościerzyna – Gdynia Główna jest linią pierwszorzędną, znaczenia państwowego. W zasadzie cały odcinek Kościerzyna - Gdańsk Osowa jest jednotorowy, wyposażony w dwukierunkową, przekaźnikową półsamoczynną blokadę liniową. Szlak Gdańsk Osowa - Gdynia Wielki Kack jest dwutorowy o długości 3,593 km, podzielony na 3 odstępy blokowe osłaniane przez semafony dwukierunkowej komputerowej trzystawnej samoczynnej blokady liniowej (SBL). Sterowanie ruchem na szlaku realizowane jest z poziomu Lokalnego Centrum Sterowania znajdującego się na stacji Gdańsk Osowa. Szlak Gdańsk Osowa – Gdynia Wielki Kack wraz z szlakiem kolejnym Gdynia Wielki Kack – Gdynia Główna, stanowią odcinek linii kolejowej nr 201 charakteryzujący się najtrudniejszymi parametrami geometrycznymi – pochylenie podłużne na długości ok. 16 km wynoszące ok. 9‰ oraz występowanie łuków o promieniu poniżej 500 m (rys. 4).

Szlak Gdynia Wielki Kack – Gdynia Główna to szlak dwutorowy o długości 8,333 km, podzielony na 5 odstępów blokowych osłanianych przez semafony dwukierunkowej komputerowej trzystawnej samoczynnej blokady liniowej (SBL). Sterowanie ruchem na szlaku realizowane jest z poziomu Lokalnego Centrum Sterowania znajdującego się na stacji Gdańsk Osowa.

Od kilometra 202,800 linia kolejowa nr 201 biegnie do stacji Gdynia Główna równoległe do linii kolejowej nr 202 Gdańsk Główny – Stargard oraz linii kolejowej nr 250 Gdańsk Główny – Rumia.

Aktualnie na szlaku nie znajdują się żadne przystanki osobowe, jednakże w latach 2017-2018 przewiduje się realizację inwestycji zakładającej budo-

wę przystanku osobowego Gdynia Karwiny, znajdującego się w km 195,582 oraz przystanku osobowego Gdynia Stadion znajdującego się w km 201,746. Obydwa przystanki będą wyposażone w dwa wysokie perony jednokrawędziowe o długości odpowiednio 164,57 m oraz 155,14 m. Ponadto planowana jest także budowa przystanku osobowego Gdynia Wzgórze Św. Maksymiliana (CH Riviera), który docelowo miałby się znajdować na wysokości istniejącego na linii kolejowej nr 250 przystanku osobowego SKM Gdynia Wzgórze Św. Maksymiliana.



Rys. 4. Profil linii kolejowej nr 201 na analizowanym odcinku

Źródło: opracowanie własne na podstawie {6}

Długość badanego fragmentu linii wynosi 67,358 km. Analizowany odcinek linii posiada parametry klasy D3, tzn. dopuszczalny nacisk osi pojazdu wynosi 221 kN/oś (22,5 t/oś), zaś nacisk liniowy 71 kN/m (7,2 t/m). Ponadto linia kolejowa nr 201 na całej swojej długości należy do europejskiego korytarza towarowego nr 5 Morze Bałtyckie – Morze Adriatyckie [7,8].

W latach 2012 – 2015 linia została poddana rewitalizacji oraz częściowej modernizacji w ramach projektu pn. *Rewitalizacja i modernizacja tzw. Kościerskiego Korytarza Kolejowego – odcinka Kościierzyna – Gdynia linii kolejowej nr 201 – Etap I*. Na poszczególnych odcinkach linii kolejowej nr 201 przeprowadzono działania inwestycyjne, polegające na kompleksowej naprawie bieżącej, z ciągłą wymianą podkładów, kompleksowej naprawie bieżącej z wymianą pojedynczych podkładów oraz kompleksowej wymianie nawierzchni. Dzięki przeprowadzonym robotom torowym uzyskano profil prędkości zakładający maksymalną dopuszczalną prędkość pociągów pasażerskich wynoszącą 120 km/h oraz maksymalną dopuszczalną prędkość pociągów towarowych wynoszącą 90 km/h. Wyeliminowano wszystkie ograniczenia prędkości wynikające ze złego stanu nawierzchni kolejowej, podtorza oraz obiektów inżynierskich [6,9].

2.4. Infrastruktura linii kolejowej nr 201 w stanie projektowanym

Linia kolejowa nr 201 Nowa Wieś Wielka – Gdynia Port na odcinku Kościerzyna – Gdynia Główna do końca 2019 roku ma zostać objęta pracami modernizacyjnymi, które pozwolą na ostateczne zamknięcie programu związanego z budową Pomorskiej Kolei Metropolitalnej oraz poprawę dostępu kolejowego do portu w Gdyni – projektu pn. *II Etap rewitalizacji i modernizacji Korytarza Kościerskiego wraz z modernizacją urządzeń srk oraz elektryfikacją odc. linii kolejowych nr 201, 214, 229 i linii PKM*. W ramach wykonywanego studium wykonalności projektu rekomendowano prace związane z:

- budową drugiego toru na odcinku Kościerzyna – Gdańsk Osowa linii kolejowej nr 201,
- elektryfikacją ok. 110 km linii kolejowych, w tym: linii kolejowej nr 201 Nowa Wieś Wielka – Gdynia Port na odcinku Kościerzyna – Gdynia Główna, linii kolejowej nr 214 Somonino – Kartuzy, linii kolejowej nr 229 Pruszcz Gdański – Łeba na odcinku Gliniec – Kartuzy, linii kolejowej nr 248 Gdańsk Wrzeszcz – Gdańsk Osowa, linii kolejowej nr 253 Gdańsk Rębiechowo – Gdańsk Osowa,
- zabudową nowoczesnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym na poszczególnych stacjach i szlakach ww. linii kolejowych,
- przebudową peronów,
- zapewnieniem warunków do przejazdu pociągów z przekrozoną skrajnią (wzdłuż obiektów ograniczających możliwość przewozu tzw. ładunków ponadgabarytowych przewiduje się zabudowę splotów torów wykonanych z dwóch zwrotnic Rz 60E1-500-1:12, dzięki czemu zostanie uzyskane odświeżenie od toru zasadniczego wynoszące ok. 0,5 m).

W związku z elektryfikacją linii kolejowej nr 201 na odcinku Kościerzyna – Gdynia Główna oraz dobudową drugiego toru na odcinku Kościerzyna – Gdańsk Osowa, na szlakach oraz posterunkach ruchu zostanie przeprowadzona korekta oraz zmiana geometrii układów torowych.

Na wszystkich posterunkach ruchu znajdujących się na odcinku Kościerzyna – Gdańsk Osowa zostaną zabudowane nowoczesne, komputerowe urządzenia SRK wraz z semaforami świetlnymi oraz urządzeniami kontroli niezajętości torów – licznikami osi. Wszystkie szlaki na odcinku Kościerzyna – Gliniec zostaną wyposażone w trzystawną dwukierunkową SBL dla dwóch torów, przy czym szlak Kościerzyna – Gołubie Kaszubskie oraz szlak Somonino – Gliniec zostaną podzielone na 6 odstępów blokowych, zaś szlak Gołubie Kaszubskie – Somonino na 7 odstępów. Szlak Gliniec – Żukowo Wschodnie oraz szlak Żukowo Wschodnie – Gdańsk Osowa zostaną wyposażone w czterostawną dwukierunkową SBL dla dwóch torów i podzielone odpowiednio na 5 i 7 odstępów blokowych (bez zachowania odpowiedniej dla danej linii długości drogi hamowania).

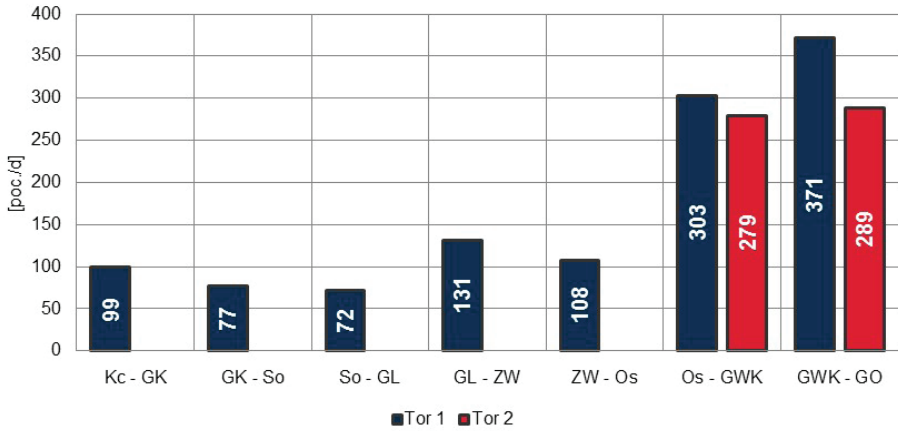
Wszystkie działania inwestycyjne pozwolą na zwiększenie prędkości maksymalnej, która dla pociągów pasażerskich będzie wynosiła 140 km/h, zaś dla pociągów towarowych 100 km/h [9].

2.5. Zdolność przepustowa linii kolejowej nr 201 w stanie istniejącym (2016 rok)

Punktem wyjścia do przeprowadzenia niniejszej analizy warunków ruchu było opracowanie i skalibrowanie szczegółowego modelu mikrosymulacyjnego odcinka Kościerzyna – Gdynia Główna linii kolejowej nr 201 Nowa Wieś Wielka – Gdynia Port w oprogramowaniu OpenTrack Simulation of Railway Networks. Budowę modelu przeprowadzono uwzględniając poniższe założenia:

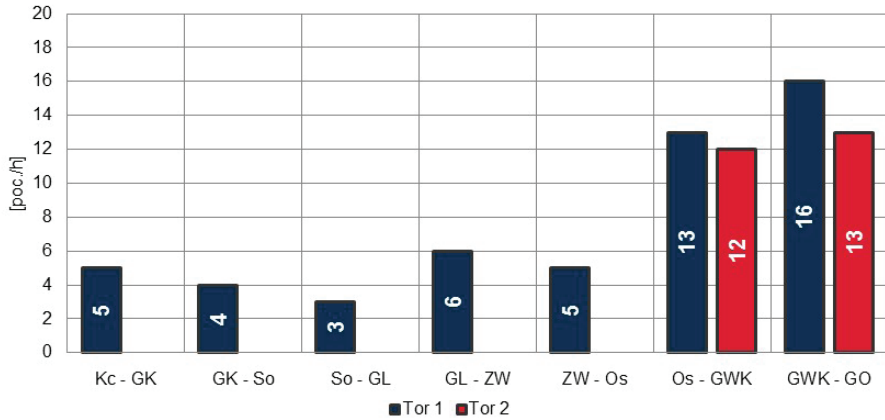
- symulacja ruchu pociągów w oprogramowaniu OpenTrack bazuje na szczegółowym rozkładzie jazdy, w związku z tym do aplikacji zaimplementowano roczny rozkład jazdy pociągów pasażerskich 2015/2016, uwzględniając przy tym pociągi sezonowe, jak np. pociąg kategorii TLK o nazwie Gemini uruchamiany przez spółkę PKP Intercity S.A. na trasie Lublin – Hel,
- na analizowanym odcinku linii kolejowej nr 201 masowe pociągi towarowe (max. 2 pary poc./d) kursują głównie w oparciu o indywidualny rozkładu jazdy, stąd w symulacji przyjęto, że są one wyprawiane na poszczególne szlaki analizowanego odcinka w porze nocnej (00:00 – 04:00),
- wyprawianie pociągów na szlak podzielony na odstępy blokowe realizowane jest zgodnie z zasadą organizacji ruchu – jazda „pod zielone światło”,
- czas rezerwacji infrastruktury na przejazd określonego pociągu składa się z czasu jazdy pociągu oraz czasów przygotowania oraz zwolnienia drogi przebiegu, które są zależne od rodzaju urządzeń sterowania ruchem zainstalowanych na szlakach i posterunkach ruchu,
- przejazdy teoretyczne pociągów aglomeracyjnych/regionalnych realizowane są w oparciu o charakterystykę trakcyjną spalinowego zespołu trakcyjnego Newag 221M, natomiast przejazdy teoretyczne pociągów towarowych realizowane są w oparciu o charakterystykę trakcyjną lokomotywy serii ST44 zmodernizowanej do typu 311D (trakcja pojedyncza; masa brutto składu: 2398 t),
- w procesie symulacji uwzględniono najbardziej niekorzystną sytuację ruchową, w której pociągi towarowe ruszają spod semaforów wyjazdowych stacji krańcowych obszaru analizy, tj. stacji Kościerzyna oraz Gdynia Główna.

W efekcie wyznaczono dobową i godziną zdolność przepustową szlaków w stanie istniejącym (rys. 5 i 6), co pozwoliło na określenie stopnia wykorzystania zdolności przepustowej w roku 2016 (rys. 7 i 8).



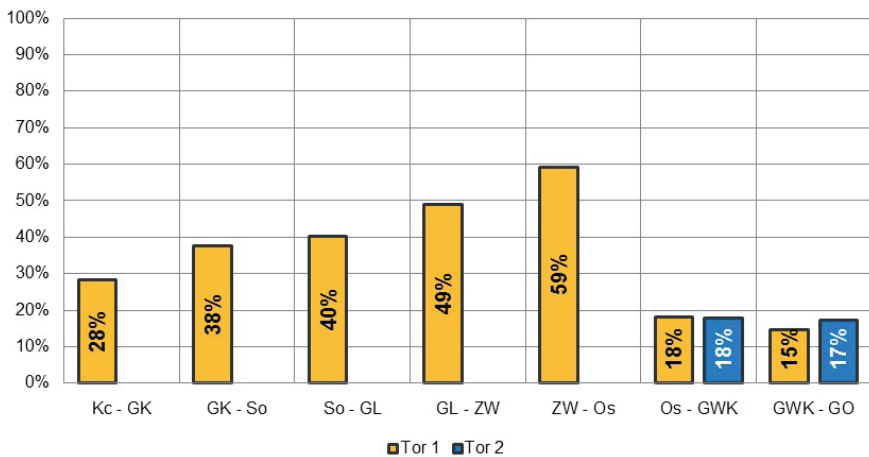
Rys. 5. Praktyczna zdolność przepustowa szlaków analizowanego odcinka linii (2016 r.)

Źródło: opracowanie własne



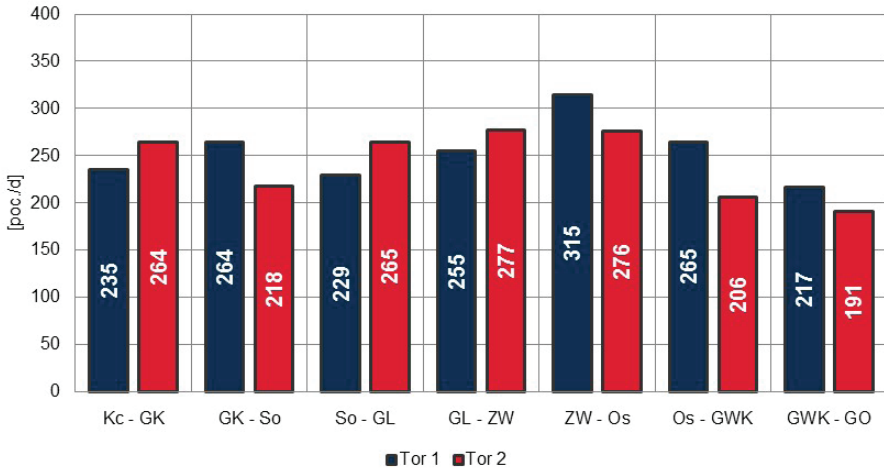
Rys. 6. Maksymalna dostępna praktyczna zdolność przepustowa w godzinie szczytowej (2016 r.)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7. Stopień wykorzystania zdolności przepustowej w ciągu doby (2016 r.)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 8. Stopień wykorzystania zdolności przepustowej w godz. szczytowej (2016 r.)

Źródło: opracowanie własne

Wszystkie wymienione powyżej parametry mają wpływ na niezawodność całego systemu, która może być rozpatrywana w oparciu o stopień wykorzystania zdolności przepustowej, zarówno w ciągu doby, jak i godziny szczytowej. Rekomendowana w karcie UIC 406 wartość wykorzystania zdolności przepustowej dla linii o ruchu mieszanym wynosi maksymalnie 75% w godzinie szczytowej oraz 60% w ciągu doby [10]. Przekroczenie danych wartości nie oznacza jednak blokady systemu. Wiąże się to jedynie z wyższym prawdopodobieństwem propagacji zakłóceń płynności ruchu. Osiągnięcie stopnia wykorzystania przepustowości na poziomie większym od 100% również nie świadczy bezpośrednio o braku możliwości wytrasowania zakładanej liczby pociągów. W tym celu może być zużyta rezerwa zdolności przepustowej, która zasadniczo przewidziana jest na czynności związane z utrzymaniem i diagnostyką infrastruktury oraz ewentualne tłumienie zakłóceń (rezerwa wynikająca z zastosowania współczynnika płynności ruchu ϕ). Jednakże wykorzystanie danej rezerwy oznacza, że system zbliża się do pracy na granicy stabilności.

W analizowanym przypadku stopień wykorzystania praktycznej zdolności przepustowej w ciągu doby wynosi maksymalnie 59% – szlak Żukowo Wschodnie – Gdańsk Osowa. Jest to wartość zbliżona do wartości granicznej rekomendowanej w karcie UIC 406. Oznacza to, że dany szlak jest relatywnie równomiernie obciążony w ciągu doby, przez co stłumienie ewentualnych zakłóceń płynności ruchu może wymagać dłuższego okresu czasu. Szlak Żukowo Wschodnie – Gdańsk Osowa jest szlakiem najbardziej wrażliwym na propagację zakłóceń.

W ciągu godziny szczytowej cały odcinek Somonino – Gdańsk Osowa charakteryzuje się w pełni wykorzystaną maksymalnie dostępną praktyczną zdolnością przepustową, natomiast szlak Gołubie Kaszubskie – Somonino osiąga maksymalną rekomendowaną wartość graniczną stopnia wykorzystania zdolności przepu-

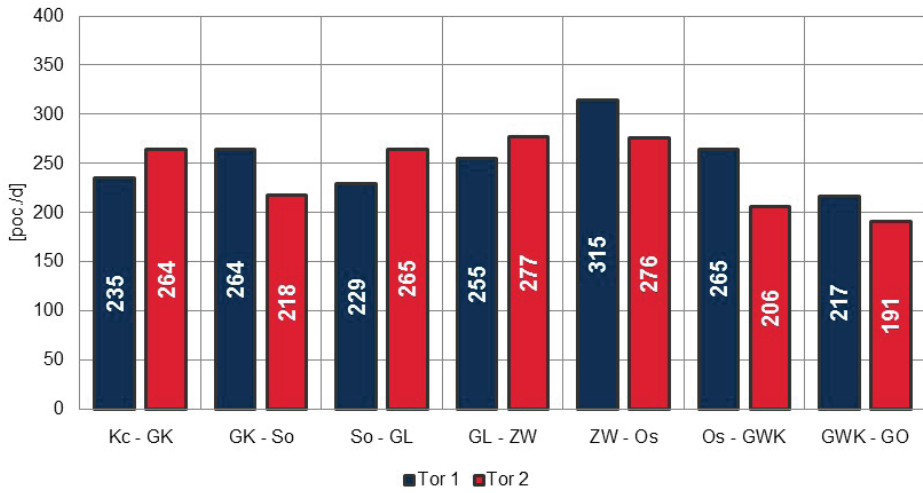
stowej. Oznacza to, że wystąpienie ewentualnych, niewielkich zakłóceń w ruchu może być w pewnym stopniu zrekompensovane rezerwą wynikającą ze współczynnika ruchu ϕ oraz dostępnych buforów czasu pomiędzy zgłoszeniami kolejnych pociągów. W przypadku wystąpienia zakłóceń przekraczających dostępną rezerwę zdolności przepustowej system będzie funkcjonował na granicy stabilności, co może doprowadzić do powstania dynamicznej propagacji zakłóceń. Szlak Żukowo Wschodnie – Gdańsk Osowa jest szlakiem krytycznym dla całego odcinka analizy w stanie istniejącym, gdyż odznacza się jedną z największych wartości stopnia wykorzystania zdolności przepustowej w ciągu godziny szczytowej oraz największą wartością stopnia wykorzystania zdolności przepustowej w ciągu doby.

2.6. Analiza warunków ruchu dla stanu projektowanego (2045 r.)

Analizę warunków ruchu dla stanu projektowanego (2045 r.) przeprowadzono w sposób analogiczny do analizy wykonanej dla stanu istniejącego. Podstawą do wykonania niniejszej analizy było opracowanie szczegółowego modelu mikrosymulacyjnego, w którym uwzględniono wszelkie rozwiązania techniczne przewidziane do realizacji w ramach modernizacji linii kolejowej nr 201. Model skonstruowano w oparciu o poniższe założenia:

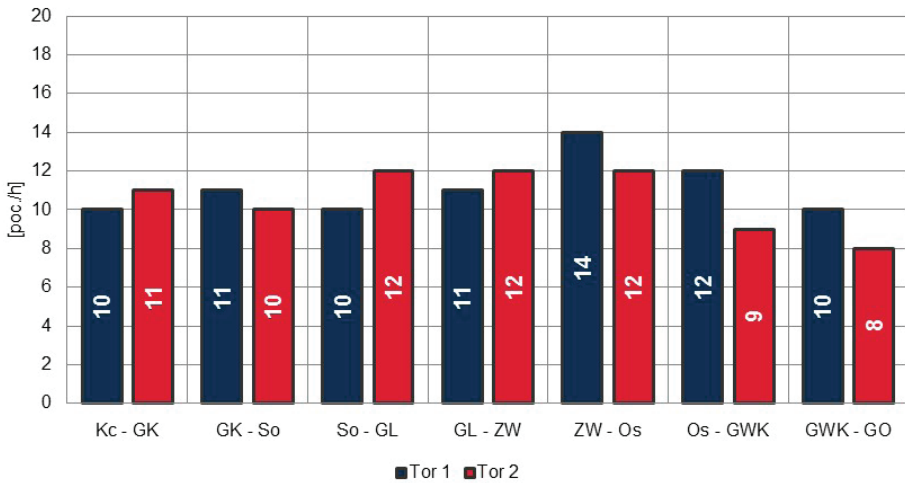
- wprowadzony do oprogramowania projekt rozkładu jazdy uwzględnia prognozowane natężenie ruchu pociągów pasażerskich oraz towarowych;
- rozkład jazdy charakteryzuje się cyklicznością, a przy jego konstruowaniu uwzględniono przewidywane preferencje poszczególnych interesariuszy, dotyczące okien czasowych w jakich wyprawiane są poszczególne pociągi;
- symulacja ruchu pociągów była realizowana w oparciu o charakterystyki trakcyjne wymienionych poniżej pojazdów trakcyjnych:
 - pociągi aglomeracyjne/regionalne: Pesa Elf 22WE, EN57AKM,
 - pociągi towarowe intermodalne: Bombardier Traxx P160 DC (trakcja pojedyncza; masa brutto składu: 1692 t),
 - pociągi towarowe masowe: Newag Dragon E6ACT (trakcja pojedyncza; masa brutto składu: 2519 t);
- wyprawianie pociągów na szlak podzielony na odstępy blokowe realizowane jest zgodnie z zasadą organizacji ruchu – jazda „pod zielone światło”;
- czas rezerwacji infrastruktury na przejazd określonego pociągu, oprócz czasu jazdy pociągu uwzględnia także czas przygotowania oraz zwolnienia drogi przebiegu, które są zależne od rodzaju urządzeń sterowania ruchem zainstalowanych na szlakach i posterunkach ruchu;
- w procesie symulacji uwzględniono najbardziej niekorzystną sytuację ruchową, w której pociągi towarowe ruszają spod semaforów wyjazdowych stacji krańcowych obszaru analizy, tj. stacji Kościerzyna oraz Gdynia Główna.

Analogicznie symulacja pozwoliła na wyznaczenie dobowej i godzinnej zdolności przepustowej szlaków w stanie projektowanym (rys. 9 i 10), co pozwoliło na określenie stopnia wykorzystania zdolności przepustowej w roku 2045 (rys. 11 i 12).



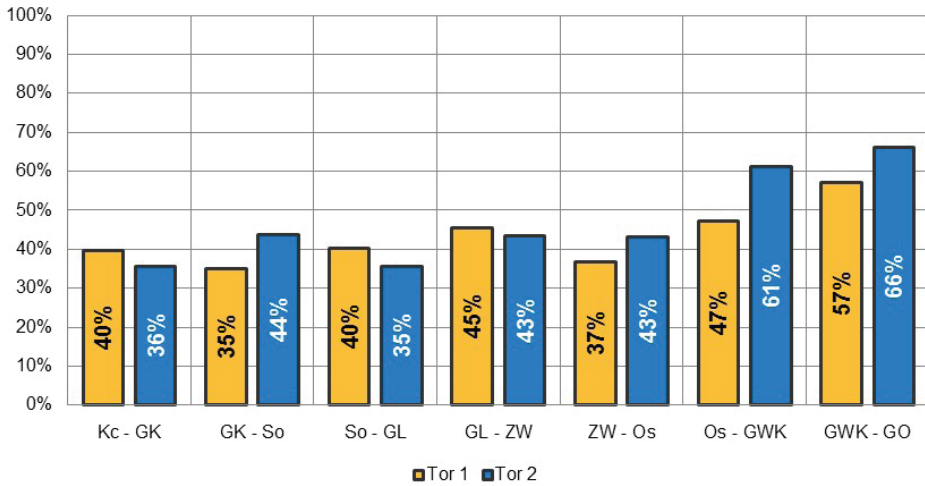
Rys. 9. Praktyczna zdolność przepustowa szlaków analizowanego odcinka linii (2045 r.)

Źródło: opracowanie własne



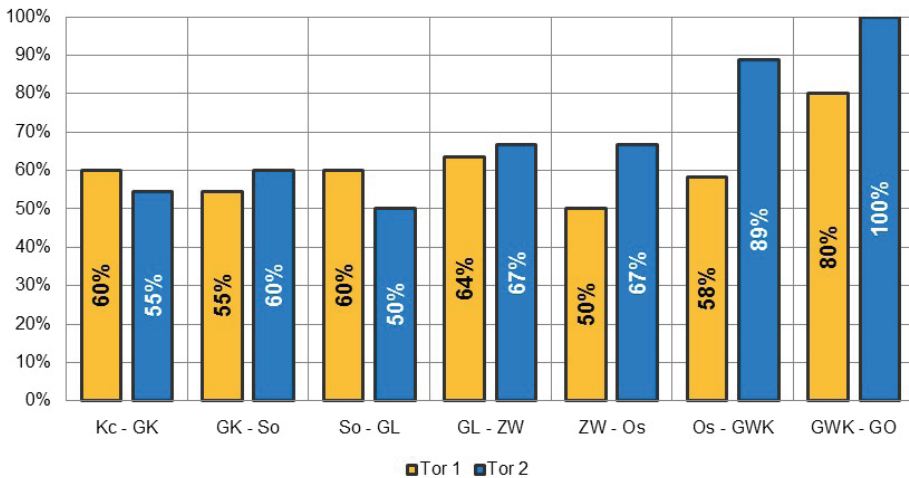
Rys. 10. Maksymalnie dostępna praktyczna zdolność przepustowa w godzinie szczytowej (2045 r.)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 11. Stopień wykorzystania zdolności przepustowej w ciągu doby (2045 r.)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 12. Stopień wykorzystania zdolności przepustowej w godz. szczytowej (2045 r.)

Źródło: opracowanie własne

Działania inwestycyjne przewidziane do realizacji w ramach projektu pn. *II Etap rewitalizacji i modernizacji Korytarza Kościerskiego wraz z modernizacją urządzeń srk oraz elektryfikacją odc. linii kolejowych nr 201, 214, 229 i linii PKM* przyniosły wymierne rezultaty w postaci znaczącego wzrostu praktycznej zdolności przepustowej oraz poprawy warunków ruchu na odcinku Kościerzyna – Gdańsk Osowa. Stopień wykorzystania zdolności przepustowej w ciągu doby na danym odcinku kształtuje się na poziomie 40-45%. Są to wartości mieszczące się w rekomendowanym przez UIC przedziale, zapewniając tym samym odpowiednią płynność ru-

chu w ujęciu dobowym [10]. W przypadku godziny szczytowej warunki ruchu na szlakach odcinka Kościerzyna – Gdańsk Osowa również są stabilne i oscylują na poziomie 60-67%, przy czym 67% wykorzystania zdolności przepustowej szlaków Glinch – Żukowo Wschodnie oraz Żukowo Wschodnie – Gdańsk Osowa jest wartością bliską rekomendowanej w karcie UIC 406 wartości granicznej stopnia wykorzystania zdolności przepustowej w godzinie szczytowej na liniach o ruchu mieszanym wynoszącej 75%.

Na odcinku Gdańsk Osowa – Gdynia Główna nie przewiduje się żadnych działań inwestycyjnych w infrastrukturę torową, w związku z czym dany odcinek charakteryzuje się takimi samymi parametrami techniczno-eksploatacyjnymi jak w stanie istniejącym. Zauważalne jest to w wartości praktycznej zdolności przepustowej poszczególnych torów szlakowych, która uległa znaczącemu obniżeniu z uwagi na wzrost udziału pociągów towarowych w całkowitym czasie obciążenia oraz budowę nowych przystanków pasażerskich. W stanie istniejącym (2016 r.) udział pociągów towarowych w całkowitym czasie obciążenia toru parzystego (tor nr 2) odcinka Gdańsk Osowa – Gdynia Główna wynosi ok. 11%. W stanie projektowanym dany udział wzrasta do ok. 60%. Ma to wpływ na wartość wskaźnika wykorzystania praktycznej zdolności przepustowej, który w ujęciu dobowym osiąga wartość 61% dla toru nr 2 szlaku Gdańsk Osowa – Gdynia Wielki Kack oraz 66% dla toru nr 2 szlaku Gdynia Wielki Kack – Gdynia Główna. Są to wartości przekraczające rekomendowaną w karcie UIC 406 granicę wynoszącą 60%, która została określona z uwagi na niezawodność systemu transportu kolejowego [10]. W godzinie szczytowej tor nr 2 szlaku Gdynia Wielki Kack – Gdynia Główna charakteryzuje się całkowicie wykorzystaną zdolnością przepustową, natomiast szlak Gdańsk Osowa – Gdynia Wielki Kack charakteryzuje się wykorzystaniem zdolności przepustowej na poziomie 89%. Stopień wykorzystania praktycznej zdolności przepustowej w ciągu godziny szczytowej wynoszący powyżej 75% jest równoznaczny z możliwą koniecznością przeznaczenia części rezerwy zdolności przepustowej (wynikającej z zastosowania w obliczeniach współczynnika płynności ruchu ϕ) na zmniejszenie ryzyka wystąpienia trudnych do stłumienia zakłóceń ruchu. Odcinek Gdańsk Osowa – Gdynia Główna jest również najbardziej wrażliwy na wystąpienie ewentualnych zakłóceń ruchu spośród wszystkich analizowanych szlaków.

Jak można zauważyć, ograniczenie zakresu analiz na etapie studium wykonalności do odcinka Kościerzyna - Gdańsk Osowa jest błędem i skutkuje niepełną identyfikacją problemów związanych z tą linią. Nietrudno sobie wyobrazić, że w takiej sytuacji, wysiłek włożony w modernizację linii kolejowej nr 201 byłby zniweczony przez ograniczenie możliwości ruchowych na odcinku Gdańsk Osowa - Gdynia Główna.

Czas jazdy pociągów towarowych jest czynnikiem decydującym o warunkach ruchu na odcinku Gdańsk Osowa – Gdynia Główna i pomimo znaczącego ograniczenia parametrów eksploatacyjnych (zmniejszenie masy brutto składu) masowych pociągów towarowych, szlaki znajdujące się na danym odcinku i tak charakteryzują się najgorszymi warunkami ruchu, a szlakiem krytycznym całego obszaru

analizy jest szlak Gdynia Wielki Kack – Gdynia Główna. Dążenie do ewentualnego zwiększenia masy brutto pociągów przewożących towary masowe, będzie skutkowało dalszym pogarszaniem płynności ruchu na ww. odcinku, a także brakiem możliwości wyprawienia wszystkich założonych w rozkładzie jazdy pociągów.

Rosnące prognozowane natężenie ruchu pociągów oraz trudny profil linii kolejowej skutkują tym, że dopuszczalna masa kursujących na linii pociągów towarowych jest determinowana czasem zajęcia infrastruktury. Jeżeli linia kolejowa nr 201 ma stanowić realną alternatywę dla ciągu linii kolejowych nr 9 i 202 (odcinek Tczew – Gdynia) w dostępie do Portu Gdynia, to musi być zapewniona możliwość wyprawiania na daną linię pociągów o masie brutto przekraczającej 3000 t. Przy zakładanym wzroście natężenia ruchu kolejowego oraz przy dążeniu do zachowania jak najlepszych warunków ruchu kolejowego, daną możliwość dają jedynie działania organizacyjne polegające na wyprawianiu ciężkich pociągów towarowych w trakcji ukrotnionej lub działania inwestycyjne polegające na dobudowie trzeciego toru na odcinku Gdynia Główna – Gdańsk Osowa.

W przypadku studium wykonalności dla zadania pn. *Dokumentacja przygotowawcza dla II etapu rewitalizacji i modernizacji Korytarza Kościerskiego wraz z modernizacją urządzeń srk oraz elektryfikacją odc. linii kolejowych nr 201, 214, 229 i linii PKM o braku rozpoznania przedstawionych wyżej problemów eksploatacyjnych na odcinku Gdańsk Osowa – Gdynia Główna* zdecydował przede wszystkim bardzo niski poziom szczegółowości przeprowadzonych analiz warunków ruchu kolejowego. Ponadto w żadnym z przedstawionych w studium wariantów nie rozpatrywano jakichkolwiek działań związanych z rozbudową układu torowego odcinka Gdańsk Osowa – Gdynia Główna. Jest to związane z powszechnie obowiązującym, błędnym przekonaniem o tym, że problemy związane ze zdolnością przepustową i ograniczonymi warunkami ruchu kolejowego praktycznie nie dotyczą dwutorowych szlaków wyposażonych w samoczynną blokadę liniową.

3. Układy rozjazdowe stacji Gdynia Port

Kolejnym problemem jest projektowanie dużych stacji kolejowych o rozbudowanych układach rozjazdowych, gdzie szczególnym wyzwaniem jest zaprojektowanie sprawnego i niezawodnego układu torowego.

Schemat funkcjonalny stacji jest tworzony na podstawie obliczeń wielkości grup stacyjnych o określonych, specjalistycznych funkcjach technologicznych z wykorzystaniem prostych metod analitycznych. Można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że obliczona liczba torów bez odpowiednio rozbudowanej głowicy rozjazdowej nie zapewni wymaganej przepustowości stacji i płynności ruchu pociągów. Konieczne jest sprawdzenie, czy zaprojektowane połączenia torowe są w stanie obsłużyć wynikającą z obciążenia liczbęjazd (przebiegów) sprzecznych. Sprawdzenie to polega na badaniu dopuszczalności krzyżowań sprzecznych w elemencie krytycznym („wąskim gardle”) stacji. Elementem takim jest najbardziej

obciążony rozjazd lub para rozjazdów w głowicy stacyjnej, w której zbiegają się dwie lub więcej linii kolejowych lub torów. Wybór krytycznego rozjazdu lub połączenia odbywa się na podstawie analizy obciążenia ruchowego. Oblicza się łączny czas zajęcia rozjazdu przez wykluczające się przebiegi pociągowe w godzinie szczytowej. Jeżeli obliczony czas zajęcia jest większy od 60 minut, zaproponowane rozwiązanie głowicy rozjazdowej jest niewłaściwe. W przypadku wystąpienia takiej sytuacji należy zmodyfikować schemat funkcjonalny układu torowego stacji, aby ograniczyć kolizyjność jazd pociągowych. Można to osiągnąć przenosząc z elementu krytycznego część potoku pociągów na inny element układu torowego, np. poprzez:

- zaprojektowanie skrzyżowań różnopoziomowych linii kolejowych na podejściach do stacji lub między grupami stacyjnymi,
- zaprojektowanie posterunków odgałęźnych, na których następuje rozdzielanie kierunków lub rodzajów ruchu,
- zmianę wzajemnego układu torów na stacji.

Dochodzenie do poprawnego rozwiązania może nastąpić w kilku krokach, istotna jest tutaj inwencja projektanta, który powinien dążyć do stworzenia możliwie oszczędnego układu torowego, przy jak najmniejszej liczbie jazd sprzecznych. W obliczeniach dopuszczalności obciążenia elementu krytycznego głowicy wykorzystuje się nierówność:

$$(\alpha + \beta) \left[\sum_{t=1}^T N_{tg} \cdot t_t + \sum_{m=1}^M N_{mg} \cdot t_m \right] \leq 60 \quad (1)$$

gdzie:

α – współczynnik rezerwy technicznej,

β – współczynnik nierównomierności ruchu pociągów,

N_{ig} – liczba pociągów towarowych kategorii t obciążających element krytyczny w godzinie szczytowej,

t_t – czas zajęcia elementu krytycznego przez pociąg towarowy,

N_{mg} – liczba jazd manewrowych kategorii m obciążających element krytyczny w godzinie szczytowej,

t_m – czas zajęcia elementu krytycznego przez jazdę manewrową [11].

Dla godziny szczytowej przyjmuje się, że suma współczynników α i β wynosi 1,2.

Wielkość obciążenia ruchowego badanego elementu układu torowego w godzinie szczytowej wynika z wielkości szczytowych dobowych potoków pociągów, ich rozkładów w ciągu doby oraz ze sposobu ich przeprowadzenia przez stację.

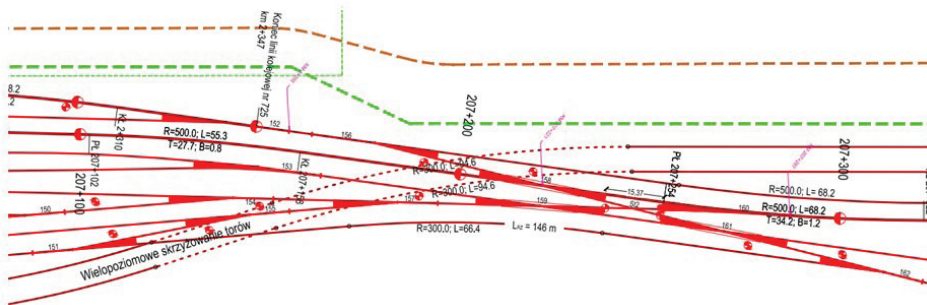
Czas zajęcia elementu krytycznego zależy od kategorii pociągu. W analizowanym przypadku dotyczy wyłącznie pociągów towarowych, jazd rozrządowych i jazd manewrowych.

Jest on liczony od chwili podjęcia przez dyżurnego ruchu decyzji o ułożeniu drogi przebiegu, w skład której wchodzi badany rozjazd, do momentu zwolnienia tej drogi przebiegu przez koniec przejeżdżającego pociągu. Dla pociągów bez

planowego postoju na stacji, czas ten jest równoważny czasowi przejazdu. Pociągi, które mają planowy postój na stacji, obciążają rozjazd krytyczny przez czas wjazdu bądź czas wyjazdu.

Faza sprawdzania dopuszczalności krzyżowań jazd sprzecznych, związana z prowadzeniem korekt do schematu funkcjonalnego stacji, jest powtarzana do momentu, aż zostanie spełniona nierówność, czyli gdy sumaryczny czas zajęcia „wąskiego gardła” będzie mniejszy niż 60 minut [4].

Analizie poddano wariantowe rozwiązanie rozjazdy kolejowej w rejonie GPB projektowanej w ramach zadania *Poprawa dostępu kolejowego do portu morskiego w Gdyni*.



Rys. 13. Koncepcja głowicy rozjazdowej pomiędzy rejonami GPB - GPC

Źródło: opracowanie własne

Pierwotnie zaprojektowano poprowadzenie ruchu pociągów bezpośrednio przez głowicę rozjazdową. Projektowanie różnopoziomowych skrzyżowań linii kolejowych lub odcinków torowych stacyjnych ma na celu ograniczenie kolizyjności różnokierunkowych jazd pociągów (tzw. przebiegów sprzecznych) w połączeniu rozjazdowym (tzw. wąskim gardle). W przypadku stacji Gdynia Port wskazaną na schemacie (rys. 13) koncepcję przejazdu pomiędzy rejonami GPB i GPC determinują następujące elementy:

- konieczność wyprowadzenia całego ruchu wyjazdowego z rejonów P1-P4, P1-P6 oraz projektowanego Morskiego Terminala Kontenerowego „za fałochronem” (wschodnia część stacji) w kierunku grupy kierunkowej, usytuowanej po zachodniej stronie stacji – prognozowane 48 poc./dobę w roku 2045,
- konieczność przeprowadzenia ruchu wjazdowego w kierunku GPC oraz tranzytowego w kierunku GPE i GPO – min. 42 poc./dobę w roku 2045,
- jazdy manewrowe i przejazdy pojazdów trakcyjnych luzem.

Nałożenie na siebie tak dużych wolumenów ruchu, o znacznej istotności dla pracy stacji oraz pracy bocznic portowych, wymusza szczególną dbałość o zapewnienie sprawności niewralgicznego elementu układu torowego. Jest to tym bardziej istotne w sytuacji kiedy układ linii kolejowych przyległych do stacji (linia nr 201 i 202) będzie wymagał dużej dyscypliny czasowej prowadzenia ruchu. Brak rozwiązań niekolizyjnych determinować będzie bardzo duże ryzyko i ograniczenia

funkcjonalności układu, przede wszystkim ze względu na konieczność pokonywania znacznych odległości pomiędzy poszczególnymi rejonami stacji. Pamiętać trzeba, że czas zajętości elementu krytycznego jest liczony od momentu podjęcia przez dyżurnego ruchu decyzji o ułożeniu drogi przebiegu pociągu przez tzw. wąskie gardło, do momentu zwolnienia tej drogi przebiegu przez koniec przejeżdżającego pociągu.

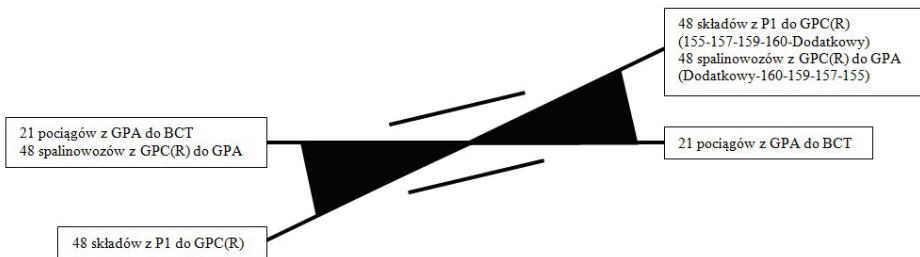
Utrzymywanie w pełnej stałej sprawności układu rozjazdowego przy tak dużym ruchu, związane jest również z koniecznością ponoszenia stałych kosztów, związanych z degradacją chociażby elementów rozjazdów.

Zapewnienie niezawodności tego właśnie miejsca jest strategicznie ważne dla rozwoju samego Portu Gdynia, także po roku 2045, gdyż właśnie tereny przyzakładowe są jedynymi obszarami rozwojowymi dla tego portu. Stąd taka istotność rozwiązań sprawnych i niekolizyjnych w przypadku tego właśnie wąskiego gardła.

W czasie prowadzenia badania analizowano konieczność połączenia dwóch torów komunikacyjnych P1 – GPC z rozjazdem zwyczajnym nr 151 (w tym celu zamiana na rozjazd krzyżowy) oraz z rozjazdem zwyczajnym nr 160 (w tym celu zamiana na rozjazd krzyżowy oraz zabudowa dodatkowego rozjazdu krzyżowego w torze komunikacyjnym GPB – GPC).

Dwa elementy krytyczne tego połączenia to rozjazdy nr 151 i 159.

Rozjazd krzyżowy nr 151 (zamiast rozjazdu zwyczajnego nr 151)



Rys. 14. Schemat rozjazdu nr 151 z obciążeniem ruchowym

Źródło: opracowanie własne

Tabela 1. Obciążenie ruchowe na rozjeździe nr 151 przy posterunku GPB

Kategoria pociągów	liczba poc./ dobę	liczba poc./ godz. szcz.	czas przejazdu [min]	skumulowany czas przejazdu [min]	
składy z P1 na GPC	48	7	5	35	
lokomotywy z GPC na GPA	48	7	2	14	
pociągi do BCT	21	3	5	15	
			$\Sigma(Nt)$	64	
			$\alpha+\beta$	1,2	
			$(Nt)kr$	76,8	>60

Zajętość rozjazdu nr 151 wymusza stosowanie rozwiązań alternatywnych, w tym także krzyżowań wielopoziomowych

Rozjazd krzyżowy nr 159

Rys. 15. Schemat rozjazdu nr 159 z obciążeniem ruchowym

Źródło: opracowanie własne

Tabela 2. Obciążenie ruchowe na rozjeździe nr 159 przy posterunku GPB

Kategoria pociągów	liczba poc./ dobę	liczba poc./ godz. szcz.	czas przejazdu [min]	skumulowany czas przejazdu [min]	
składy z P1 na GPC	48	7	5	35	
lokomotywy z GPC na GPA	48	7	2	14	
lokomotywy kończące GPB	54	8	2	16	
manewry EDF+CL	12	2	2	4	
			$\Sigma(Nt)$	69	
			$\alpha+\beta$	1,2	
			$(Nt)kr$	82,8	>60

Zajętość rozjazdu nr 159 wymusza stosowanie rozwiązań alternatywnych, w tym także krzyżowań wielopoziomowych

Dopiero każdorazowe sprawdzenie skuteczności zaprojektowanych rozwiązań pod względem ruchowym przekonuje, że długoletnia perspektywa funkcjonowania wybudowanej infrastruktury wymusza stosowanie elementów dużo droższych, ale zoptymalizowanych dla konkretnego przypadku i konkretnych potrzeb.

4. Podsumowanie

Planowane działania modernizacyjne muszą skupiać się na eliminacji nie tylko aktualnie występujących wąskich gardeł, ale również tych, które mogą powstać w przyszłości. Dzięki temu inwestycja będzie charakteryzowała się odpowiednią trwałością w ujęciu zarówno infrastrukturalnym, jak i dotyczącym kwestii inżynierii ruchu. Jest to szczególnie istotne z uwagi na bardzo wysokie koszty związane z działaniami inwestycyjnymi w infrastrukturę kolejową, które w głównej mierze realizowane są ze środków publicznych. Identyfikacja ewentualnych przyszłych problemów eksploatacyjnych powinna odbywać się na etapie studium wykonalności inwestycji, w ramach analiz dotyczących warunków ruchu na linii, których nadrzędnym celem jest wspieranie procesu decyzyjnego w kwestii doboru odpowiednich rozwiązań technicznych. Brak przeprowadzenia analiz z zakresu inżynierii ruchu kolejowego lub przeprowadzenie ich w bardzo uproszczony sposób,

odnoszący się zazwyczaj jedynie do kwestii związanych z prognozowanym zapotrzebowaniem na przewozy pasażerskie, jest dużym zaniechaniem, tym bardziej, że aktualnie istnieje wiedza, środki i metody pozwalające na przeprowadzenie rzetelnego badania problemu.

Bibliografia

- [1] Gleba R., Grulkowski S., Zariczny J., Problem zdolności przepustowej linii kolejowych w obszarze aglomeracji trójmiejskiej. Materiały Konferencyjne, Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym, SITK, Kraków 2014, s. 145-166.
- [2] Gleba R., Grulkowski S., Zariczny J., Wielowariantowa analiza wpływu modernizacji linii kolejowej nr 201 na dostępność kolejową gdyńskiego portu. Materiały Konferencyjne, Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym, SITK, Kraków 2014, s. 167-182.
- [3] Jaskulski A., Założenia polityki transportowej Unii Europejskiej w XXI wieku. Uwarunkowania, wyzwania, strategię działania. Rocznik Integracji Europejskiej, Nr 7, 2013.
- [4] Massel A., Projektowanie linii i stacji kolejowych. PKP Polskie Linie kolejowe S.A., Warszawa 2010.
- [5] Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla województwa pomorskiego, Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej i Politechnika Gdańska na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego Województwa Pomorskiego, Gdańsk luty 2014.
- [6] Projekt budowlany i wykonawczy: Rewitalizacja i modernizacja tzw. Kościerskiego Korytarza Kolejowego – odcinka Kościerzyna – Gdynia linii kolejowej nr 201 – Etap I, Salcef Costruzioni Edili E Ferrovie S.P.A., 2012.
- [7] Regulamin przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rjp 2016/2017 – Załącznik 2.4: Klasy odcinków linii kolejowych, PKP PLK S.A., Warszawa grudzień 2015.
- [8] Regulamin przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rjp 2016/2017 – Załącznik 2.6: Wykaz posterunków ruchu i punktów ekspedycyjnych, PKP PLK S.A., Warszawa grudzień 2015.
- [9] Studium Wykonalności: Dokumentacja przygotowawcza dla II etapu rewitalizacji i modernizacji Korytarza Kościerskiego wraz z modernizacją urządzeń srk oraz elektryfikacją odc. linii kolejowych nr 201, 214, 229 i linii PKM, Zespół Doradców Gospodarczych TOR Sp. z o.o., Transprojekt Gdański Sp. z o.o., Warszawa lipiec 2015.
- [10] UIC 406 Leaflet – Capacity, International Union of Railways, June 2004.
- [11] Węgierski J., Układy torowe stacji. Funkcja i teoria. WKiŁ, 1974.