

RESTEL Franciszek J.¹
SKUPIEŃ Emilia¹

ANALIZA NIEZAWODNOŚCI TRANSPORTU ŁAMANEGO NA PRZYKŁADZIE KORYTARZA TRANSPORTOWEGO ODRZAŃSKIEJ DROGI WODNEJ

Korytarz transportowy Odrzańskiej Drogi Wodnej umożliwia przeplatanie się transportu kolejowego i wodnego. Punktem wyjścia dla rozważań zawartych w referacie stała się możliwość rozbudowy Elektrowni Opole. Zwiększenie zapotrzebowania na węgiel, a co za tym idzie zwiększenie jego dostaw może niekorzystnie wpłynąć na terminowość dostaw koleją. Z tego powodu rozważane jest zbudowanie nabrzeża umożliwiającego odbiór węgla od strony wody. Planując utworzenie nowych relacji transportowych, celowe jest m. in. określenie niezawodności systemu. W referacie przedstawiono propozycję modelu transportu łamanego wodno-kolejowego, na przykładzie korytarza transportowego Odrzańskiej Drogi Wodnej, ze wskazaniem portów przeladunkowych. Skupiono się na niezawodności systemu transportu, wskazując na najistotniejsze czynniki wpływające na terminowość i realizację dostaw.

INTERMODAL TRANSPORT RELIABILITY ANALYSIS ON THE EXAMPLE OF THE TRANSPORT CORRIDOR OF ODER WATERWAY

Transport corridor of Oder Waterway allows the interweaving of rail and inland transport. The starting point for the considerations set up in the paper became an expansion the Opole Power Plant. Increased supplies could adversely affect the timely deliveries by rail. This is a reason of consideration of building a loading wharf to take the coal from ships. When planning the creation of new transport relations, it is appropriate, among others, to term system reliability. In the paper a model of combined water-rail transport is proposed. The transport corridor of Oder Waterway has been used as an example, including the indicating ports. Focused on the reliability of the transport system, indicating the most important factors affecting the timeliness and delivery of supplies.

1. WSTĘP

Korytarz transportowy Odrzańskiej Drogi Wodnej ma istotne znaczenie w aspekcie transportu pasażerów i ładunków. W tym drugim przypadku przewozy mogą się odbywać

¹Politechnika Wroclawska, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, E-mail: franciszek.restel@pwr.wroc.pl, emilia.skupien@pwr.wroc.pl

równoległe dwoma gałęziami transportu – koleją i żeglugą śródlądową. Możliwe jest również przeplatanie się gałęzi transportu. Punktami styku są porty przeładunkowe – w skali całej ODW są to: Gliwice, Koźle (nie eksploatowany), Wrocław, Szczecin.

Obecnie transport łamany wodno-kolejowy na Odrzańskiej Drodze Wodnej stosowany jest jedynie do przewozu węgla do Elektrociepłowni Wrocław. Surowiec wydobywany na terenie śląskich kopalń, przewożony jest koleją do portu w Gliwicach, następnie przeładowywany jest na statki i transportowany do Elektrociepłowni Wrocław. Ten proces transportowy nie wykorzystuje w pełni przepustowości drogi wodnej. Ze względu na niskie koszty zewnętrzne transportu wodnego i dążenie do zrównoważonego rozwoju wszystkich gałęzi transportu, należy rozpatrzyć zwiększenie udziału przewozów towarowych żeglugą śródlądową.

Zwiększenie dostaw może niekorzystnie wpłynąć na terminowość dostaw koleją, przyjmując brak modernizacji infrastruktury dla zwiększenia przepustowości. Z tego powodu rozważane jest zbudowanie w Opolu nabrzeża umożliwiającego odbiór węgla ze statków.

Podczas tworzenia nowych relacji transportowych powinno zrodzić się pytanie, jak one wpłyną na niezawodność systemu. W tym celu istotne jest zinwentaryzowanie procesów zachodzących w systemie, a także wskazanie zdarzeń niepożądanych jakie mogą występować i zakłócać przewozy.

Referat wskazuje na współdziałanie różnych gałęzi transportu, które wzajemnie się uzupełniają i zwiększają niezawodność dostaw towarów do odbiorcy.

2. MODEL TRANSPORTU INTERMODALNEGO

Przykładem wykorzystania dwóch gałęzi transportu może być korytarz transportowy Odrzańskiej Drogi Wodnej. Łączy on kolej z żeglugą śródlądową.

Istniejąca infrastruktura pozwala na dowóz węgla do Elektrociepłowni Wrocław oraz Elektrowni Dolna Odra (rejon Szczecin-Świnoujście). Dla szerszego ujęcia tematu uwzględniono stworzenie nowej relacji transportowej umożliwiającej dostawę węgla ze śląskich kopalń do Elektrowni Opole.

Elektrownia Opole nie ma odpowiedniej infrastruktury portowej, jednak wraz z planowaną rozbudową zwiększone zostanie jej zapotrzebowanie na węgiel. W tej sytuacji transport śródlądowy jest rozważany jako alternatywne źródło dostaw surowca. Dla potrzeb takiego rozwiązania zakłada się również uruchomienie obecnie już nieczynnego Portu Koźle.

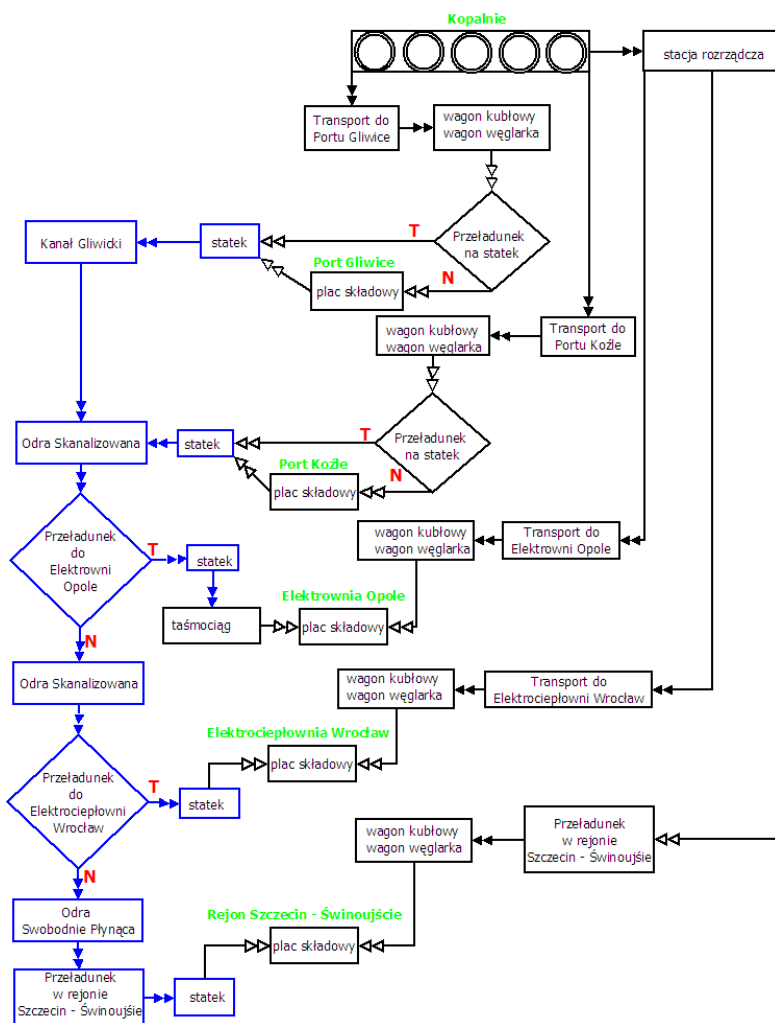
Na podstawie tego korytarza transportowego stworzono model przedstawiony na rysunku 1.

Rysunek 1 przedstawia schemat relacji transportowych wzdłuż ODW. Wskazane zostały punkty przeładunkowe pomiędzy transportem kolejowym a śródlądowym.

Infrastruktura dostępna na terenie śląskich kopalń pozwala na wywóz węgla jedynie koleją. Surowiec można przeładować na barki już w Porcie Gliwice, lub całą drogą przewieźć go koleją. O stopniu wykorzystania poszczególnych gałęzi transportu decydują przede wszystkim koszty i niezawodność stosowanego rozwiązania.

Najważniejsze elementy omawianego modelu to punkty i technologie przeładunkowe. Rewitalizację Portu Koźle założono ze względu na różnice w przepustowości Kanału Gliwickiego i Odry Skanalizowanej [4]. Infrastruktura przeładunkowa Portów Gliwice i

Koźle daje możliwość bezpośredniego przeladunku z kolei na statki, lub pośredniego – z wagonów na plac składowy, a z niego na statki.



Rys.1. Model transportu w korytarzu Odrzańskiej Drogi Wodnej. Opracowanie własne.

Istnienie alternatywnego rozwiązania wynika z nieciągłego systemu pracy kopalń (nie pracują 7 dni w tygodniu) i ciągłego charakteru zapotrzebowania na węgiel. Pozwala to na dostarczenie tygodniowego zapotrzebowania na węgiel w 5 dni roboczych i przeladowanie na statki i place składowe. Dzięki temu statki mogą odbierać węgiel z placów składowych również w dni, w których kopalnie nie pracują, zapewniając tym samym nieprzerwaną dostawę surowca.

Analiza możliwości infrastrukturalnych Elektrowni Opole [2] wskazuje na konieczność przeladunku węgla ze statków na taśmociągi, a dopiero z nich na plac składowy.

3. ZAŁOŻENIA TWORZONEJ RELACJI

Relacje transportowe: kopalnie – Elektrociepłownia Wrocław i kopalnie –Elektrownia Dolna Odra były przedmiotem wielu analiz. W referacie skupiono się na planowanej relacji: kopalnie – Elektrownia Opole.

Planując relację transportową ze śląskich kopalń do Elektrowni Opole, w pierwszej fazie konieczne jest:

- wskazanie kopalń, dostarczających węgla; istotne w tym wyborze są:
 - odległość od portu przeładunkowego,
 - liczba dni pracy w tygodniu,
 - kaloryczność węgla, zawartość siarki, popiołu i kamienia; jego granulacja i wilgotność,
- wskazanie placów składowych, z ich infrastrukturą przeładunkową i pojemnością; a w szczególności:
 - pojemnością placów i bocznic kolejowych,
 - możliwości rozładunku pociągów z różnymi typami wagonów (węglarki, kubłowe, FALS),
 - możliwości mieszania węgla przy załadunku na barki,
- określenie harmonogramu dostaw węgla do portów,
- wybranie taboru kolejowego i technologii jego obsługi,
- wybranie taboru śródlądowego i technologii jego obsługi,
- określenie parametrów operacji przeładunkowych,
- określenie szybkości usuwania awarii i ich skutków, w każdym punkcie łańcucha dostaw.

3.1. Technologie obsługi procesu transportowego

Ze względu na wykorzystanie różnych środków transportu istotne jest ustalenie harmonogramu pracy poszczególnych uczestników procesu transportowego. Przestrzeganie jego wytycznych pozwoli na uzyskanie najefektywniejszego wykorzystania czasu pracy załóg i środków transportu, minimalizując czasy oczekiwania. Konieczne jest poczynienie takich ustaleń przy współudziale wszystkich zaangażowanych podmiotów.

Stworzenie modelu obliczeniowego wymaga wskazania zapotrzebowania Elektrowni Opole. Założono je na poziomie 2,5 mln ton węgla rocznie. Porty Koźle i Gliwice obsługiwałyby w takim przypadku około siedmiu składów pociągów dziennie.

Do załadunku węgla kopalnie używają głównie ładowarek i taśmociągów. Eksploatacja taśmociągów pozwala na zwiększenie odległości placów przeładunkowych od torów bocznicowych. Ponadto stacje zwrotne taśmociągów umożliwiają wykorzystanie torów bocznicowych równoległych do torów położonych skrajnie przy placach, co zwiększa ogólne możliwości załadunkowe węgla z placów kopalni.

Ze względu na technologie przeładunkowe dostępne w poszczególnych portach, dla Portu Gliwice najkorzystniejsze jest wykorzystanie wagonów kubłowych. W Porcie Koźle najefektywniejsze będą wagony typu FALS (samowyladowcze). Najmniej efektywne są wagony typu węglarka. Opróżnianie ich przez chwytaki dźwigów jest bardzo niedokładne,

wiąże się to z dużymi stratami: węgla –przy nieopróżnianiu ich do końca, lub czasu przy czyszczeniu ich przy pomocy łopat.

Lokomotywy trasowe przewoźnika dostarczać będą pociągi z węglem jedynie do torów zdawczych stacji kolejowej Gliwice Port i Koźle Port. Stamtąd zabierane będą na bocznicę portowe przez lokomotywy manewrowe obsługujące porty. Manewrowe lokomotywy portowe będą odpowiedzialne za rozprowdzenie wagonów do nabrzeża rozładunkowego, odebranie pustych wagonów, sformowanie składu wagonów pustych i odprowadzenie ich do torów zdawczych bocznic portowej.

3.2. Operacje przeładunkowe

Do przeładunku 2,5mln ton węgla, w Porcie Gliwice, wykorzystywane będą 4 żurawie; 2 o udźwigu 20 ton oraz 2 o udźwigu 8 ton. Zakładając 8,5 miesięcy okresu nawigacyjnego dla żeglugi, przy pracy dwuzmianowej, żurawie będą wykorzystywane w 40 – 50% swej zdolności przeładunkowej. Zakłada się pracę w najbardziej wydajnym systemie, tj. przeładunek węgla z wagonów kubłowych bezpośrednio na barki.

Pociąg z 27 wagonami będzie przeładowywany 2 – 2,5 godziny, w zależności od odległości torów od nabrzeża i czasu pracy lokomotywy manewrowej do przesuwania wagonów przy ich rozładunku. Węgiel z wagonów kubłowych będzie przeładowywany również do zasobni na nabrzeżu. Całkowita pojemność zasobni w Porcie Gliwice wynosi około 30 tys. ton węgla.

3.3. Technologia obsługi zestawów pchanych

Rozładunek węgla w Porcie Dobrzeń (planowany port do obsługi Elektrowni Opole) zakłada się w jednej linii technologicznej. Ładunek będzie przeładowywany na zbiorczy taśmociąg przesyłowy. Każda nieprzewidziana przerwa w załadunku zaburzy ciągłość napełniania taśmociągów węglem i tym samym zmniejszy ilości dostarczanych dziennie na plac nawęglania elektrowni.

Dostawa 2,5mln ton rocznie do elektrowni, wymaga obsługi 11 zestawów pchanych dziennie. Do zapewnienia odpowiedniej płynności floty i obsługi potrzebny jest odpowiedni system dyspozytorski.

Do dyspozycji portu będzie pchacz portowo – manewrowy. Zakładając wyładunek jednej barki w ciągu 3 h 40 min., co 44 minuty barka z węglem będzie musiała być dostarczona do jednego ze stanowisk rozładkowych. Na odebranie pustej barki ze stanowiska rozładkowego i dostarczenie barki załadowanej do tego stanowiska, pchacz manewrowo – portowy będzie miał 20 min. Z punktu zdawczo – odbiorczego, ładowna barka zostanie przetransportowana i zacumowana do fundamentów suwnicy od strony wody, przy jej przyszłym stanowisku rozładkowym. Barka pusta odprowadzana będzie na podobne stanowisko. Cykl pracy pchacza manewrowo – portowego wynosi 20 minut.

4. ZDARZENIA NIEPOŻĄDANE

4.1. System żeglugi śródlądowej

Analizę niezawodności systemu transportu śródlądowego poprzedzono jego dekompozycją, wskazując najbardziej istotne elementy. Korzystając następnie z

dekompozycji oraz z opracowania [1] zinventaryzowano potencjalne zdarzenia niepożądane powodujące zakłócenia w transporcie śródlądowym:

- sytuacja powodziowa,
- przepływy niżówkowe,
- uszkodzenie śluzy lub jazu,
- zachwianie równowagi przepływów,
- utonięcie jednostki pływającej,
- uszkodzenie śluzy przez jednostkę pływającą,
- inwestycje obce (np. budowa mostu),
- zjawiska lodowe w trakcie okresu nawigacyjnego,
- inwestycje własne w trakcie okresu nawigacyjnego,
- opuszczanie wody dla nagłej potrzeby tranzytu.

W celu określenia parametrów potrzebnych do dalszej analizy niezawodnościowej korzystano z opracowania [1]. Zostały tam uwzględnione przerwy w żegludze, które trwały co najmniej jeden dzień pracy śluz – 16 godzin. Krótszych przerw nie odnotowano, ponieważ nie wpływały w sposób istotny na realizowane procesy transportowe. Z tego powodu przyjęto jeden dzień jako podstawową jednostkę czasu.

4.2. System transportu szynowego

Dla systemu transportu szynowego dokonano również dekompozycji na najbardziej istotne elementy.

Dla zinventaryzowanych elementów systemu oraz zdarzeń wynikających z wpływu otoczenia przyporządkowano zdarzenia niepożądane:

- uszkodzenia taboru lub inne zdarzenia z winy przewoźnika,
- uszkodzenia samoczynnej sygnalizacji przejazdowej (SSP),
- uszkodzenia urządzeń łączności lub sterowania ruchem kolejowym,
- uszkodzenia nawierzchni kolejowej,
- uszkodzenia sieci trakcyjnej lub urządzeń energetycznych,
- zdarzenia niepożądane związane ze sterowaniem ruchem pociągów,
- wypadki pociągowe,
- inwestycje własne,
- wypadki z ludźmi,
- wypadki z pojazdami drogowymi,
- kradzieże i dewastacja infrastruktury, taboru lub ładunku,
- zjawiska atmosferyczne i żywioły,
- inwestycje obce.

4.3. System przeładunkowy

Wykorzystując następnie dekompozycję systemu przeładunkowego określono potencjalne zdarzenia niepożądane:

- uszkodzenie nawierzchni torowej,
- uszkodzenie urządzeń sterowania ruchem,

- uszkodzenia taboru,
- uszkodzenia urządzeń przeładunkowych.

5. OCENA NIEZAWODNOŚCI

5.1. Dostępność danych

Dokładność przedstawionej oceny niezawodności determinowana była liczbą dostępnych danych. Z tego powodu na obecnym stanie badań możliwa była tylko ogólna ocena niezawodności z zastosowaniem prostego modelu matematycznego. Bezpośrednimi powodami ogólnego charakteru analizy były:

- brak danych na temat czasowej realizacji załadunku pociągów w kopalniach,
- brak danych na temat zdarzeń losowych dla odcinków kolejowych kopalnie – Port Gliwice,
- mała liczba zdarzeń na Odrze skanalizowanej,
- brak danych na temat zdarzeń niepożądanych w Porcie Gliwice (mała liczba zdarzeń – brak potrzeby usystematyzowanej rejestracji).

Sporządzone dekompozycje dzielą na pierwszym stopniu system na tabor oraz infrastrukturę, uwzględniając otoczenie będące w stałej interakcji z systemem. Dla tego przypadku określono udziały we wszystkich zdarzeniach (wykorzystując [1] oraz [3]). Wyniki przedstawiono na rysunku 2. Udział zdarzeń związanych z infrastrukturą jest identyczny dla obu gałęzi transportu. Zdecydowane różnice występują w przypadku otoczenia oraz taboru. Widoczne jest uzależnienie transportu śródlądowego od losowych warunków na drodze wodnej.

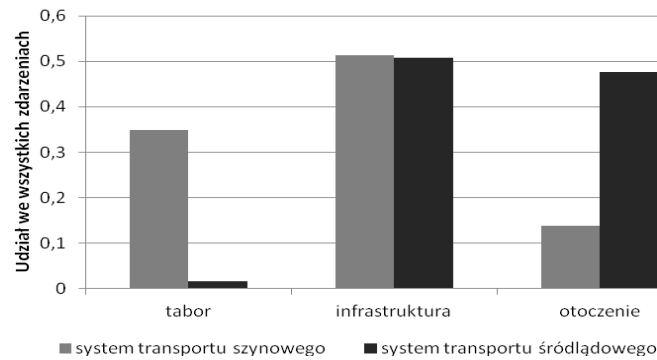
5.2. Gotowość systemu

Dla rozpatrywanego systemu gotowość interpretowana jest jako punktualna realizacja zadań przewozowych. W celu określenia gotowości zdecydowano się na wykorzystanie czterostanowego procesu Markowa, dla dwuelementowego systemu w układzie równoległym. Pierwszym elementem jest system transportu szynowego. Analizowano zdarzenia powodujące opóźnienie pociągu nie mniejsze niż 10 minut. Czas naprawy utożsamiono z opóźnieniem. Drugim elementem jest system transportu śródlądowego. Nie włączono do niego szeregowo systemu kolejowego dowożącego węgiel do Portu Gliwice, co było podyktowane założeniem zdyscyplinowanej realizacji harmonogramu pracy przez kopalnię oraz brakiem danych. Nie uwzględniono również systemu przeładunku. Powodem tego jest duży zapas mocy przeładunkowych, ponieważ w chwili obecnej przeładowuje się 10 % maksymalnej liczby ton w skali roku.

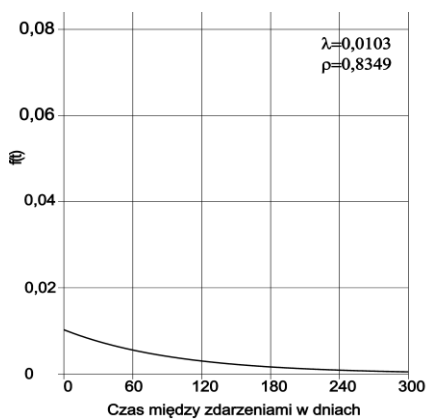
Przyjęty model jest niezwykle prosty, jednak jego wykorzystanie było podyktowane kilkoma czynnikami:

- czasy między zdarzeniami dla obu gałęzi mają charakter rozkładów wykładniczych – aproksymowano rozkłady teoretyczne z wysokim współczynnikiem korelacji (zob. rys. 3 i rys. 5),
- czasy napraw (zamknięć na drodze wodnej lub spóźnień na kolei) dla obu gałęzi mają charakter rozkładów wykładniczych – aproksymowano rozkłady teoretyczne z wysokim współczynnikiem korelacji (zob. rys. 4. i rys. 6.),

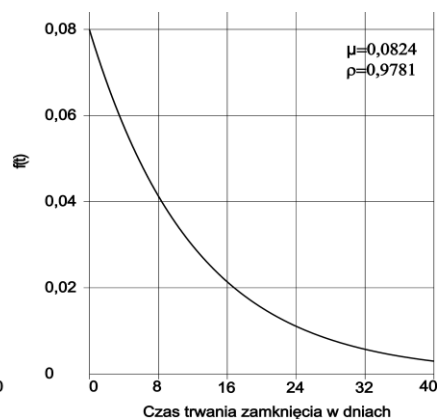
- brak dodatkowych danych potrzebnych do zamodelowania zaawansowanego modelu Markowa lub modelu innego typu.



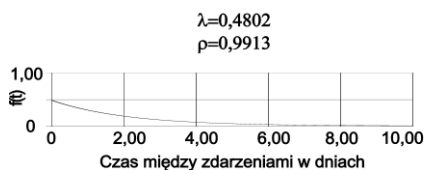
Rys. 2. Zestawienie udziałów zdarzeń dla systemu transportu szynowego oraz śródlądowego. Opracowanie własne na podstawie [1] oraz [3].



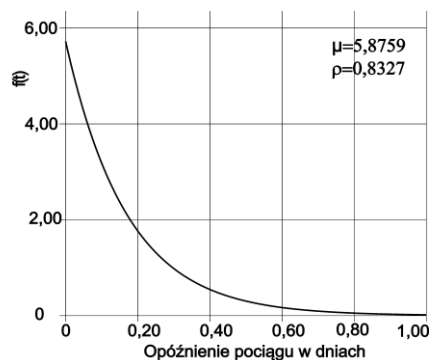
Rys. 3. Wykładniczy rozkład gęstości prawdopodobieństwa opisujący czas między zdarzeniami występującymi w całym rozpatrywanym systemie transportu śródlądowego. Źródło: opracowanie własne na podstawie [1].



Rys. 4. Wykładniczy rozkład gęstości prawdopodobieństwa opisujący czas trwania zamknięcia szlaku. Źródło: opracowanie własne na podstawie [1].



Rys. 5. Wykładniczy rozkład gęstości prawdopodobieństwa opisujący czas między zdarzeniami występującymi w całym rozpatrywanym systemie transportu szynowego. Źródło: opracowanie własne na podstawie [3].



Rys. 6. Wykładniczy rozkład gęstości prawdopodobieństwa opisujący opóźnienie pociągu. Źródło: opracowanie własne na podstawie [3].

Parametrami aproksymowanych wykładniczych rozkładów gęstości prawdopodobieństwa są intensywności uszkodzeń oraz intensywności napraw (zob. rys. 4-6, tab. 1.). Analizę dla systemu kolejowego wykonano w oparciu o bazę danych dla odcinków dwóch linii na których realizowane są przewozy węgla z kopalń do Wrocławia i Szczecina [3]. Natomiast dla systemu śródlądowego w oparciu o [1]. Fakt, iż dane systemu transportu szynowego dotyczą zakłóceń nie mniejszych niż 10 minut, natomiast systemu transportu śródlądowego nie mniejszych niż jeden dzień pracy służy, stanowi błąd badawczy, który na obecnym poziomie badań wydaje się do przyjęcia.

Tab. 1. Zestawienie intensywności uszkodzeń oraz intensywności napraw dla systemu transportu szynowego oraz śródlądowego. Intensywności podano w 1/dzień.

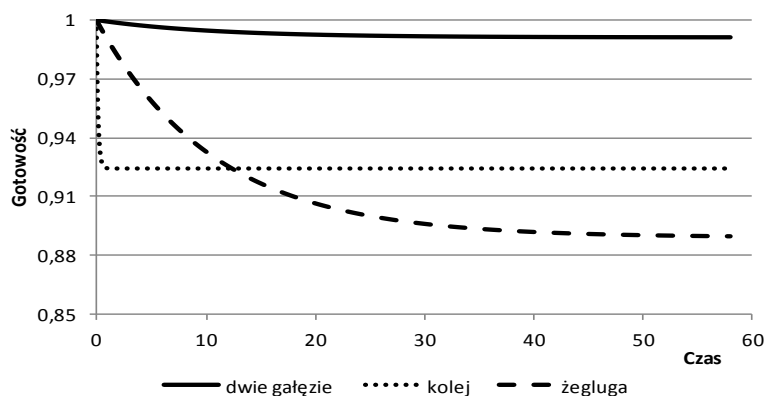
System transportu szynowego	λ	0,4802	System transportu śródlądowego	λ	0,0103
	μ	5,8759		μ	0,0824

Opracowanie własne na podstawie [1] oraz [3].

Dla stosowanego modelu oraz wyznaczonych intensywności uszkodzeń i napraw obliczono gotowość systemu w funkcji czasu (zob. rys. 7.), a następnie rozwiązanie stacjonarne zagadnienia. Dla transportu śródlądowego uzyskano $K_{gs} = 0,88$, dla transportu kolejowego $K_{gk} = 0,92$, natomiast dla systemu wykorzystującego dwie gałęzie $K_{gi} = 0,99$.

Uzyskane wartości współczynnika gotowości wskazują na poprawę niezawodności w przypadku wykorzystywania kolei oraz żeglugi śródlądowej. Należy jednak pamiętać, że tak przyjęty model nie opisuje szczegółowo całego systemu. Po uwzględnieniu

niezawodności pracy kopalń, dostaw węgla do portu oraz pracy przeładunkowej w porcie zmniejszy się gotowość żegluga śródlądowej, a tym gotowość całego systemu. Niezawodność pracy kopalń będzie miała również wpływ na gotowość transportu kolejowego.



Rys. 7. Gotowość systemu w funkcji czasu. Opracowanie własne.

6. WNIOSKI

Badania niezawodności systemów transportowych wymagają uwzględnienia wpływu podsystemu infrastruktury. Potrzebne są obszerne bazy danych pozwalające na dekompozycję systemów (w aspekcie występujących zdarzeń niepożądanych) i określania czasów między zdarzeniami. Nieodzownym elementem, poprzedzającym analizy niezawodnościowe, jest zinventaryzowanie elementów systemu i zachodzących w nim procesów.

Dotychczasowe wyniki wskazują, iż zdarzenia występujące w rozpatrywanym systemie mają charakter wykładniczy, co pozwoli na stosowanie mniej skomplikowanych modeli.

Dalsze badania w tym obszarze są obiecujące, szczególnie w aspekcie stosowanie dokładniejszych modeli.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bogucki J.: *Przerwy żeglugowe na Odrze skanalizowanej w latach 1980-2008*, Wrocław 2009.
- [2] Lisiewicz T.: *Model Transportu łamanego kolejowo - wodnego do Elektrowni Opole - Składniki działań logistycznych*, Dokumentacja robocza Politechnika Wroclawska Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Wrocław 2009r.
- [3] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.: *Dane eksploatacyjne dla wybranego regionu oraz rozkładu jazdy*, Warszawa 2010.
- [4] Skupień E.: *Przepustowości Odrzańskiej Drogi Wodnej*, dokumentacja robocza Politechnika Wroclawska Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Wrocław 2010r.