

RESTEL Franciszek J.¹

Możliwość stosowania analizy struktury niezawodnościowej systemu w ocenie punktualności realizowanego procesu transportowego

Słowa kluczowe:
Transport łamany
Analiza struktury niezawodnościowej
Żegluga śródlądowa, transport kolejowy

Streszczenie

Wraz z rozwojem logistyki produkcji i minimalizacji zapasów magazynowych, terminowość przepływu towarów staje się coraz istotniejsza. Istnieje możliwość przeplatania się dwóch (i więcej) gałęzi transportu. W takim przypadku istotna jest racjonalna ocena możliwych scenariuszy przewozu w oparciu o analizę wielokryterialną. Jednym z kryteriów powinien być czynnik niezawodnościowy. W referacie przedstawiono możliwości stosowania analizy struktury niezawodnościowej dla przypadku oceny systemu transportowego. Zinventaryzowano założenia jakie należy przyjąć, oraz obszary potencjalnego wykorzystania metody. Rozważania teoretyczne oparto na przykładzie rzeczywistego systemu transportu kolejowo-wodnego.

POSSIBILITY OF APPLYING OF THE RELIABILITY STRUCTURE ANALYSIS IN EVALUATION OF TRANSPORTATION PROCESS

Abstract

Due to developing of the logistics of production and minimization inventory, "just in time" flow of goods is becoming increasingly important. Sometimes the interweaving of different means of transport is due to the unavailability of one of the branches, in order to obtain the lowest possible value of interference. In this case, it is important to a rational assessment of possible transportation scenarios based on multi-criteria analysis. One of the criteria should be the reliability factor. The paper presents the applicability of reliability structure analysis for evaluation of transportation system. Theoretical considerations based on the example of a real system.

1. WSTĘP

Dynamiczny rozwój przemysłu narzuca konieczność rozwoju innym sektorom gospodarki. Jednym z nich jest transport. Przy różnorodnych procesach produkcyjnych realizowanych przez jedną fabrykę, wymagane są też różnorodne podzespoły i części. Niejednokrotnie o przeprowadzaniu danych procesów produkcyjnych decydują indywidualne potrzeby czy upodobania zleceniodawców. Żeby nie tracić powierzchni na magazynowanie surowców, coraz ważniejsze staje się szybkie, i co ważniejsze: terminowe, dostarczanie konkretnych towarów.

Przewoźnikom stawiane są coraz wyższe wymagania niezawodnościowe. Dla sprostania tym oczekiwaniom poprawiana jest jakość poszczególnych środków transportu. Poprawia się bezpieczeństwo wszystkich uczestników ruchu. Niemały wpływ na cały proces ma jednak szukanie alternatywnych rozwiązań.

Sieć transportu samochodowego jest najbardziej rozwiniętą w Polsce. Z tego powodu, ta gałąź transportu przewozi też największy udział ładunków.

Do przewozu ładunków masowych znacznie lepiej sprawdzają się wagony kolejowe czy barki pchane. Ich przeplatanie pozwala na zwiększenie niezawodności systemu takiego transportu łamanego. Ponadto wykorzystywanie tych gałęzi transportu jest mniej uciążliwe dla innych użytkowników ruchu.

Transport kolejowy i śródlądowy mogłyby część procesów realizować samodzielnie, ale poprzez zwiększanie liczby alternatywnych dróg po których można przewieźć ładunek, zwiększa się elastyczność całego systemu.

W opracowaniu omówiono możliwość oceny niezawodności systemu transportowego przy pomocy analizy struktury niezawodnościowej. Ze względu na specyfikę systemów transportowych niezawodność rozumiana jest jako punktualność dostaw. Rozważania oparto na przykładzie istniejącego systemu transportu łamanego wodno-kolejowego, kontynuując prace zawarte w [8].

2. INFRASTRUKTURA W ŁAMANYM SYSTEMIE TRANSPORTOWYM

Analizując proces transportowy duże znaczenie ma właściwa dekompozycja systemu. Nie bez znaczenia pozostaje też odpowiednie uszczegółowienie elementów infrastruktury i ewentualnych powodów ich niezdatności.

¹Mgr inż. Franciszek J. Restel, doktorant Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej, franciszek.restel@pwr.wroc.pl

Poniżej przedstawiono infrastrukturę punktową i liniową dla transportu wodnego i kolejowego oraz punkty styku ich obu. Przedstawiono także najczęstsze powody niezdatności poszczególnych elementów i ich wpływ na zdatność całego systemu.

2.1 Transport wodny

W przypadku transportu śródlądowego, drogami są rzeki i kanały żeglowne spełniające określone wymagania. Parametry takie jak: głębokość, szerokość, promień zakoli – przekładające się na parametry najdłuższej jednostki mogącej pokonać dane zakole, oraz prześwity pod mostami definiują klasy dróg wodnych. Polska klasyfikacja (w odróżnieniu od międzynarodowej –patrz [4]) dzieli drogi na 7 klas. Cztery pierwsze (Ia, Ib, II, III), mają znaczenie lokalne. Pozostałe klasy (IV, Va, Vb) odnoszą się do dróg wodnych o znaczeniu międzynarodowym.

W Polsce najwięcej przewozów odbywa się na drogach klasy III. Wiąże się to z kilkoma możliwymi do wykorzystania technologiami przewozu. Rozróżnia się :

- system pchany klasyczny (do pchacza nie są przypisane konkretne barki);
- system pchany scalony (do pchacza przypisane są konkretne barki);
- system scalony zmodyfikowany (występuje na Odrzańskiej Drodze Wodnej, ze względu na parametry śluz Kanału Gliwickiego konieczne jest rozformowywanie zestawów i dodatkowo wykorzystywany może być pchacz trasowy obsługujący tylko „dodatkowe” barki. [5])

Podział określający stopień regulacji danej drogi wodnej, może być przedstawiony następująco:

- kanały żeglowne –wybudowane przez ludzi, specjalnie do celów żeglugowych;
- rzeki skanalizowane –rzeki w swoich korytach, dostosowane do potrzeb żeglugi m.in. poprzez kanalizację, tj. wybudowanie stopni wodnych utrzymujących stały poziom wody na określonym odcinku poprzez budowę jazu i umożliwienie przepływu przez budowę śluzy;

-rzeki swobodnie płynące –rzeki w swoich korytach, dostosowane do potrzeb żeglugi przy minimalnych nakładach na budowę hydrotechniczne.

Obecnie w Polsce regularna żegluga na odcinku dłuższym niż 100km jest jeszcze uprawiana w relacji Gliwice – Wrocław. Odcinek ten obejmuje Kanał Gliwicki oraz prawie całą Odrę Skanalizowaną.

Przejście w stan niezdatności drogi wodnej (zamknięcie szlaku) ogłaszane jest komunikatem przez zarządcę infrastruktury. Komunikaty wydawane są przez odpowiednie jednostki Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej. Najczęstszymi przyczynami niezdatności drogi wodnej są [1]:

- wysoki stan wody – powódź (ok. 54%),
- uszkodzenie jazu (ok. 26%),
- inwestycje infrastrukturalne (ok. 9%),
- zderzenie jednostki pływającej ze śluzą (ok. 4%),

2.2 Transport kolejowy

Dane eksploatacyjne systemu transportu szynowego zbierane są w kolejnych posterunkach przebiegu pociągu, trafiając następnie do księgi ruchu. Taki łańcuch informacyjny składa się zatem z kilku do kilkunastu ogniw. Baza danych zawiera najistotniejsze informacje dotyczące zdarzenia niepożądanego. Są nimi:

- data i godzina wystąpienia zdarzenia,
- data i godzina usunięcia usterki,
- miejsce wystąpienia zdarzenia niepożądanego,
- podmiot odpowiedzialny za wystąpienie zdarzenia niepożądanego,
- przyczyna wystąpienia zdarzenia niepożądanego,
- opis wydarzenia niepożądanego,
- liczba opóźnionych pociągów pasażerskich,
- sumaryczne opóźnienie pociągów pasażerskich,
- liczba opóźnionych pociągów towarowych,
- sumaryczne opóźnienie pociągów towarowych.

Najczęstszą przyczyną niezdatności systemu transportu szynowego (ok. 35% zdarzeń²) jest uszkodzenie taboru lub inne przyczyny związane z taborem. Najczęściej występującymi zdarzeniami związanymi z infrastrukturą kolejową są:

- uszkodzenia lub błędy w działaniu urządzeń sterowania ruchem kolejowym,
- uszkodzenia nawierzchni torowej.

Zdarzenia występujące w systemie transportu szynowego oraz wynikające z nich skutki opisano szerzej np. w [9].

2.3 Porty przeładunkowe

Transport łamany charakteryzuje się konicznością przeładowania towaru. W przypadku transportów kolejowego i śródlądowego, zmiana gałęzi transportu może nastąpić w portach śródlądowych z dostępnością do infrastruktury kolejowej.

² Dotyczy wybranych linii kolejowych.

Spośród dawniej budowanych portów śródlądowych (obecnie nie buduje się śródlądowych portów towarowych w Polsce), wszystkie zaopatrywane były w połączenie kolejowe. Zarządca portu zwykle miał do swojej dyspozycji lokomotywy manewrowe i na terenie swojego portu rozprawdzał pociągi lub poszczególne wagony.

Sposób obsługi wagonów kolejowych zależy od rodzaju wagonów i charakteru przewożonych towarów. Istnieją wagony samowyładowcze, które istotnie skracają czas wyładunku. Mają one uchylną burtę i po zwolnieniu bocznych ścian wagonu towar sam się wysypuje. Do odbioru, tak rozładowywanego surowca potrzebny jest odpowiednio przygotowany plac. Zwykle w takich wagonach przewożono węgiel. Tory kolejowe prowadzono w pobliże basenu portowego i poprzez odpowiednio wyprofilowane nabrzeże, wysypyany z wagonów węgiel zsypywał się wprost do barki przycumowanej w odpowiednim miejscu.

Z wagonów kolejowych można również wybierać ładunek łyżką żurawia –samojezdnego lub szynowego. Popularniejsze są jednak wagony kubłowe, które podniesione odpowiednią łyżką chwytakową, przeniesione nad barke, zostają otwarte poprzez odpowiednie manipulowanie łyżką dźwigu. W taki sposób można towar wyładować na plac odstawczy lub bezpośrednio na barke.

Przeładowując materiał z barki na pociąg, manipulowanie odbywa się już tylko za pomocą dźwigu portowego. Wybiera on surowiec z ładowni statku i umieszcza w wagonach, bądź na placu ładunkowym. W ostatniej fazie rozładunku barki wprowadzana jest do niej mała ładownia samojezdna. Powodem tego jest brak możliwości dotarcia łyżką żurawia w każde miejsce barki.

Obecnie na szlaku Odrzańskiej Drogi wodnej, jako towarowe funkcjonują jedynie porty: Gliwice, Wrocław i Szczecin-Świnoujście. Port Gliwice dokonuje obecnie przeładunek 10 % maksymalnej liczby ton w skali roku. Istnieje zatem spora rezerwa, która w przypadku pojawienia się zakłóceń, pozwala na sprawną kontynuację przeładunku.

Ze względu na obecne (małe) natężenie ruchu na Odrzańskiej Drodze Wodnej i wynikające z tego rzadkie występowanie zdarzeń niepożądanych podczas przeładunku, Port Gliwice nie prowadzi statystyk na ten temat.

Mimo braku danych na temat zakłóceń podczas przeładunku można podejrzewać, iż wystąpienie zdarzenia niepożądanego jest większe w przypadku przeładunku z wagonów węglarek niż kubłowych. Wynika to wprost z wymaganej precyzji podczas pobierania chwytakiem ładunku z węglarki, a zatem możliwości odkształcenia burt wagonowych. Mimo to, takie zdarzenie nie powinno zakłócać transportu węgla drogą wodną, ponieważ wstrzymuje to jedynie wyprawienie próżnego składu z powrotem do kopalń.

Dodatkowym buforem w przypadku Portu Gliwice są place składowania przy nabrzeżach. Dla proponowanego rozwiązania przeładunku w Porcie Kędzierzyn-Koźle [3] nie ma takiego bufora, nie mniej jednak zaletą jest stosowanie wagonów samowyładowczych bez konieczności precyzyjnego rozładunku przy pomocy czerpaków.

Nie dysponując danymi dla systemu przeładunkowego, określono potencjalne zdarzenia niepożądane:

- uszkodzenie nawierzchni torowej,
- uszkodzenie urządzeń sterowania ruchem,
- uszkodzenia taboru:
 - wynikłe z kolizji taboru oraz urządzeń przeładunku,
 - wykolejenie lokomotywy,
 - wykolejenie wagonu,
 - uszkodzenie układu napędowego lokomotywy,
 - zatonięcie barki,
 - zatonięcie pchacza,
 - uszkodzenie układu napędowego barki,
- uszkodzenia urządzeń przeładunkowych:
 - żuraw:
 - uszkodzenie silników elektrycznych (wciągarek oraz ruchu po nabrzeżu),
 - zerwanie kabla energetycznego,
 - taśmociąg:
 - zerwanie taśmy,
 - zablokowanie krążników,
 - uszkodzenie napędu.

3. MODEL PROCESU TRANSPORTU ŁAMANEGO

Proces transportowy, z wykorzystaniem transportu kolejowego i śródlądowego, w uproszczeniu można przedstawić za pomocą czterech podstawowych procesów. Towar należy na pewno załadować i rozładować. Przewóz może następować obiema gałęziami transportu uzupełniającymi się, bądź nie. W uproszczeniu omawiany proces przedstawiono na rysunku 2.

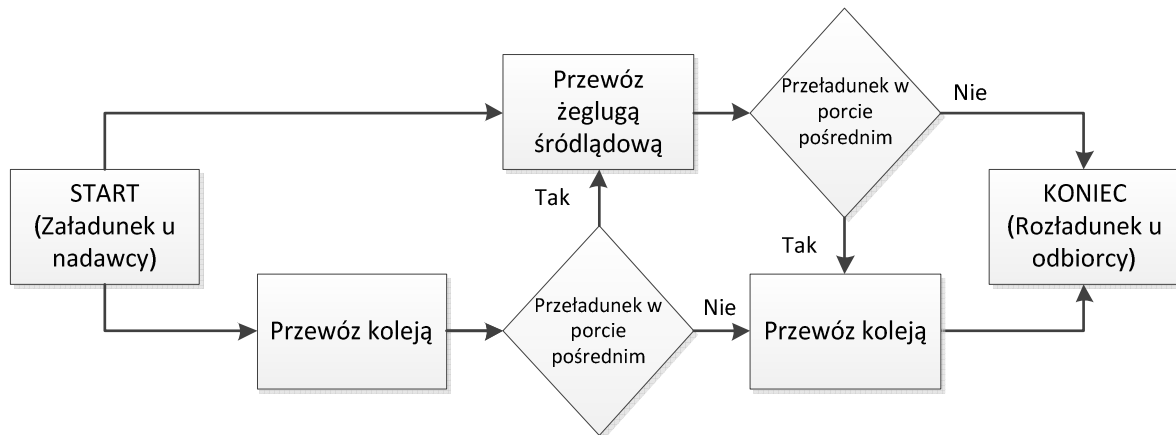
Z rysunku 2 można odczytać, że obie gałęzie transportu mogą działać równolegle, ale może też zachodzić ich współdziałanie. Przykładowo: towar może być ładowany w porcie rzeczonym, całą drogę może przebywać na statku śródlądowym i zostać rozładowany bezpośrednio na nabrzeże odbiorcy. Dziać się tak może kiedy i odbiorca i nadawca dysponują portem lub nabrzeżem wyładowczym. [6]

Innym przykładem może być przewożenie ładunku na całej trasie koleją. Analogicznie: odbywa się to, kiedy i nadawca i odbiorca dysponują odpowiednią infrastrukturą.

Przeplatanie gałęzi następuje, kiedy odbiorca dysponuje infrastrukturą przystosowaną od obsługi innego rodzaju transportu niż nadawca.

Można jednak pominąć np. dowożenie i odwożenie ładunku na niewielką (umownie) odległość. Oznaczałoby to, że niezależnie od predyspozycji nadawcy i odbiorcy możemy dowolnie zmieniać rodzaj transportu w zależności od potrzeby.

Niezależnie od opcji ważne jest, że zakłada się możliwość przeplatania gałęzi. Może zdarzać się to w sposób planowy, założony podczas projektowania procesu transportowego. Innym przypadkiem jest zmiana rodzaju transportu w celu zminimalizowania strat związanych nieprzewidzianym zdarzeniem. Np. w razie uszkodzenia sieci kolejowej, towar można dostarczyć do najbliższego portu rzecznej i przeładować go na barki. W zależności od okoliczności, może to korzystnie wpłynąć na terminowość dostaw, jednak scenariusz przyjęty w niniejszej pracy nie uwzględnia awaryjnych podmian gałęzi transportowej.



Rys.2. Uproszczony model transportu łamanego wodno-kolejowego

Współpraca transportu kolejowego i śródlądowego jest o tyle mało efektywna, że różnice prędkości poruszania się obu tych rodzajów transportu są bardzo duże. Pociąg towarowy porusza się z prędkością około 60-80 km/h, podczas gdy prędkość statku nie przekracza 20km/h. Przeplatanie gałęzi może jednak okazać się efektywne, kiedy chodzi o ominięcie jakiegoś wąskiego gardła.

4. STRUKTURA NIEZAWODNOŚCIOWA

Stosowanie analizy struktury niezawodnościowej oparto na modelu rzeczywistego systemu transportu łamanego. Definiując w pierwszej kolejności elementy, a następnie strukturę, którą wykorzystano w obliczeniach bazujących na danych rzeczywistych.

4.1 Elementy struktury

W pierwszym kroku zdefiniowano elementy, z których następnie model niezawodnościowy został zbudowany. Dla przykładowego rzeczywistego systemu transportu łamanego określono, wykorzystując dekompozycje systemów, cztery grupy elementów:

- kolejowe odcinki między-stacyjne (elementy typu A),
- stacje kolejowe (elementy typu B),
- porty przeładunkowe (elementy typu C),
- śródlądowe odcinki między-śluzowe (elementy typu D).

Dla przypadku zdarzeń niepożądanych występujących w systemie transportu szynowego stwierdzono w badaniach własnych, że wzrasta ona proporcjonalnie wraz ze wzrostem długości linii (nie wliczając stacji kolejowych). Również praca, liczba pociągów oraz stan techniczny mają wpływ na występowanie błędów systemu [9]. Stąd dla grupy odcinków między-stacyjnych zdefiniowano podgrupy. Stosowane dalej rodzaje wynikają wprost z rozpatrywanego systemu. W innych przypadkach mogą być zdefiniowane odmiennie. Elementy typu A podzielono zatem na:

- pierwszego rodzaju (A1) – infrastruktura zmodernizowana, odległość między stacjami wynosi ok. 20 km,
- drugiego rodzaju (A2) – infrastruktura niezmodernizowana, odległość między stacjami wynosi ok. 10 km.

W podobny sposób podzielono na odcinki elementarne infrastrukturę transportu śródlądowego. Ze względu na małą liczbę zdarzeń [1] nie wyszczególniono infrastruktury punktowej jako osobne elementy niezawodnościowe, a zatem służy uwzględniane są w odcinkach między-śluzowych. Podział nastąpił ze względu na rodzaj drogi wodnej uzyskując:

- D1 – kanał żeglugowy,
- D2 – rzeka skanalizowana.

Dla rozpatrywanego przypadku długości między-śluzowe kanału i rzeki skanalizowanej różnią się, nie było to jednak głównym powodem takiego podziału. Decydującym był fakt, iż na kanale nie występowały zjawiska powodziowe.

Elementy typu B (stacje kolejowe) podzielono na:

- B1 – stacje węzłowe,
- B2 – stacje nie węzłowe.

Elementom typu C (porty) przyporządkowano również dwie podgrupy, w zależności od technologii przeładunku:

- C1 – port z żurawiami, rozładowującymi węglarki lub wagonu kubełkowe,
- C2 – port z taśmociągami, z wykorzystaniem wagonów samowyładowczych.

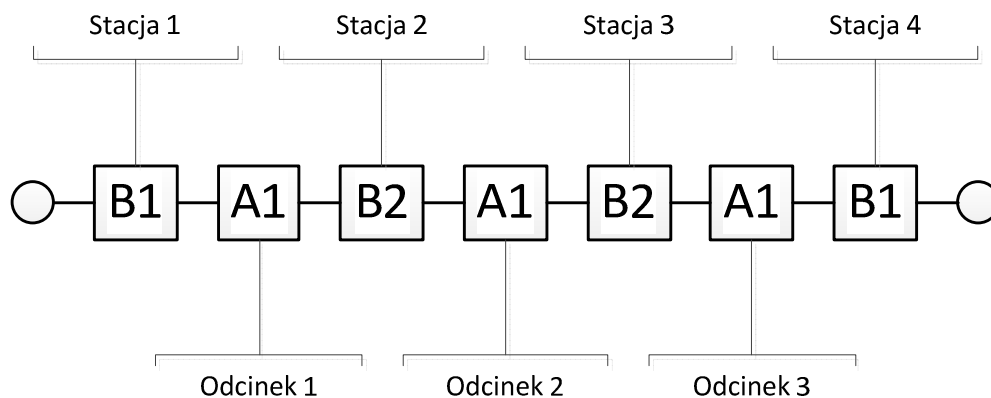
4.2 Założenia do modelu

Przejście do stanu niezdatności interpretowane jest jako opóźnienie. Uzyskane prawdopodobieństwo, mówiące o niezawodności rozumiane jest w związku z tym jako prawdopodobieństwo punktualnej realizacji procesu transportowego.

Stosowanie analizy struktury niezawodnościowej dla systemu transportowego wymaga przyjęcia mocnych założeń. Na rysunku 3 pokazano przykładową strukturę szeregową, złożoną z czterech elementów reprezentujących stacje oraz trzech elementów międzystacyjnych.

Uszkodzenie się stacji 3, powoduje niezdatność całej struktury, pojawienie się opóźnień na każdym z odcinków, dla każdego z pociągów. Taka sytuacja może mieć miejsce tylko wówczas, gdy na linii rozkładowa rezerwa czasowa dla pociągów będzie równa zero. Ponadto pociągi musiałyby przemieszczać się po linii w minimalnym odstępnie pozwalającym na jazdę z maksymalną dozwoloną prędkością, równą dla wszystkich pociągów.

Założenie minimalnego odstępnie między pociągami powoduje, że w przypadku odcinków dwutorowych nie można uwzględnić tego niewłaściwego, po którym poruszałyby się pociągi również w minimalnym odstępnie bez rezerwy.



Rys.3. Przykładowa struktura szeregową linii kolejowej

Błąd w działaniu stacji pierwszej z rysunku 3 powoduje analogicznie do sytuacji stacji czwartej niezdatność całej linii. To mocne założenie, wynikające wprost z teorii analizy struktury niezawodnościowej, jest rozbieżne z rzeczywistością, bowiem wszystkie pociągi będące za pierwszą stacją mają jeszcze szansę na planową realizację przewozu. Nie mniej jednak na tym etapie zostało ono świadomie przyjęte.

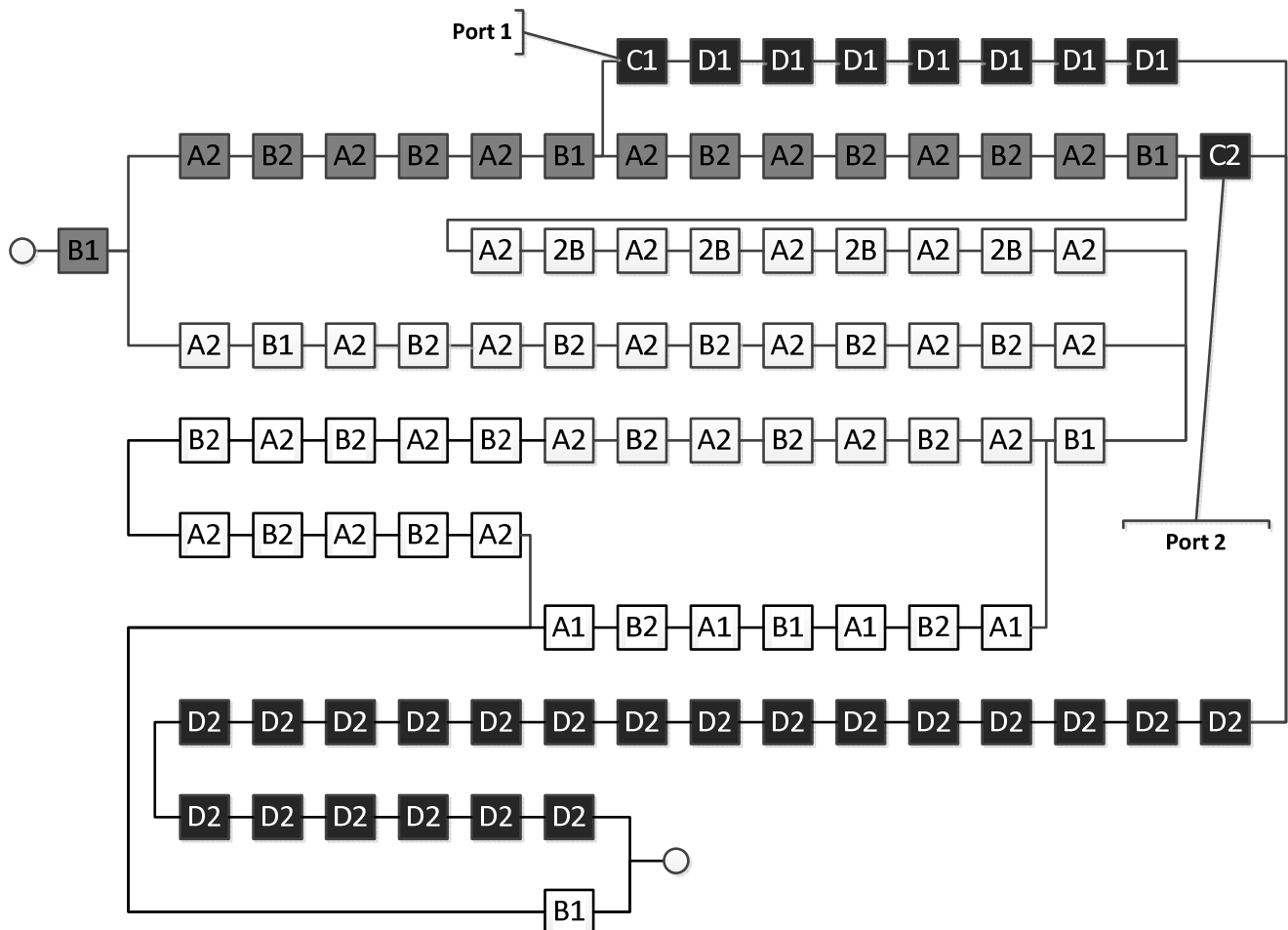
Zbieżna z rzeczywistością jest natomiast możliwość niezależnego uszkodzenia się elementów.

4.3 Model

Korzystając z zdefiniowanych elementów zbudowano model dla przeprowadzenia analizy struktury niezawodnościowej. Całkowity model zawierający dwie przecinające się trasy kolejowe oraz dwuodcinkowy szlak żeglugowy z portem pośrednim pokazano na rysunku 4.

Kolorem szarym oznaczono na rysunku 4 elementy niezawodnościowe reprezentujące odcinki i stacje kolejowe biorące udział w dowozie ładunków do portów śródlądowych. Kolorem białym oznaczono pozostałe odcinki i stacje kolejowe. Elementy z czarnym wypełnieniem reprezentują szlaki wodne i porty (port 2 obecnie nie jest eksploatowany).

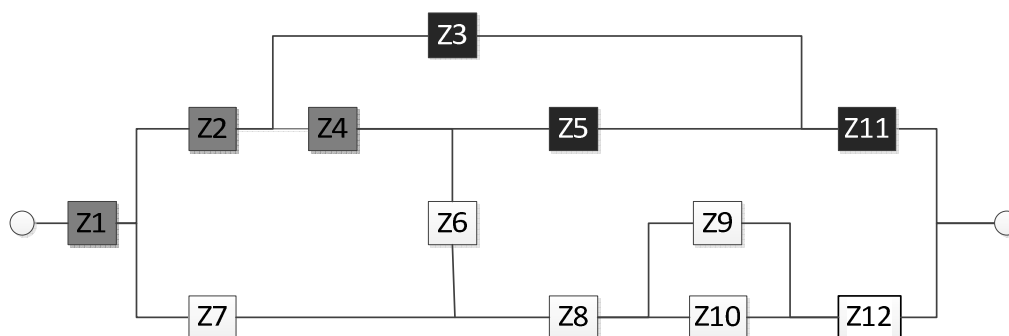
Model nie uwzględnia załadunku u nadawcy, pierwszym elementem struktury jest umownie przyjęta stacja kolejowa w obszarze pozyskiwania surowców. Również nie uwzględniono rozładunku u odbiorcy.



Rys.4. Opracowany model struktury niezawodnościowej transportu łamanego dla rozpatrywanego systemu; A1, A2 – kolejowe odcinki między-stacyjne; B1, B2 – stacje kolejowe; C1, C2 – porty śródlądowe; D1, D2 – śródlądowe odcinki między-śluzowe

4.4 Zredukowany model

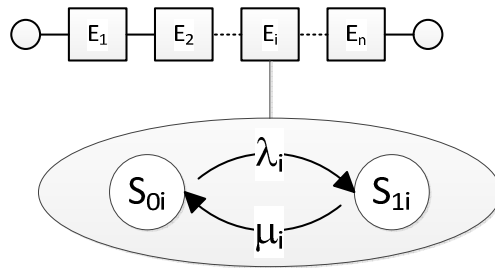
W celu uzyskania większej czytelności modelu zredukowano elementy w układach szeregowych do zespołów, uzyskując wypadkową niezawodność. Tak uproszczony model pokazano na rysunku 5. Kolory zespołów odpowiadają kolorom elementów składających się na nie. System ma zatem strukturę szeregowo-równoległą z dwoma mostkami (Z3 i Z6).



Rys.5. Uproszczony model struktury niezawodnościowej rozpatrywanego systemu

5. DANE DO MODELU

Danymi źródłowymi z jakich korzystano są [1] oraz [7]. Pozyskano z nich czasy między zdarzeniami dla zdarzeń niepożądanych dotyczących poszczególnych elementów oraz czasy do napraw (opóźnienie pociągów w ramach zdarzeń). Do czasów między zdarzeniami i opóźnień udało się dopasować wykładnicze rozkłady gęstości prawdopodobieństwa opisane odpowiednio intensywnością uszkodzeń lub intensywnością obsługi. Korzystając następnie z dwustanowego modelu Markowa wyznaczono stacjonarną wartość gotowości, rozumianej jako punktualności (rys. 6).



Rys.6. Dwustanowy model Markowa wykorzystany do obliczenia punktualności elementów struktury

Ponieważ nie było możliwości pozyskania danych na temat zdarzeń niepożądanych w portach, a ponadto w eksploatowanym porcie 1 istnieją znaczne rezerwy w zdolności przeładunkowej, zdecydowano się na pominięcie tych elementów.

6. ZASTOSOWANIE METODY

Korzystanie z metody analizy struktury niezawodnościowej związane jest z przyjęciem mocnych założeń. W związku z tymi założeniami należy stwierdzić, że metoda nie nadaje się do oceny niezawodności całego systemu transportowego. Prawdopodobieństwo realizacji zadania przewozowego bez opóźnienia dla całego systemu przedstawionego na rysunku 5 wynosi $P=0,991$. Tak wysoka wartość została uzyskana w wyniku istnienia kilku minimalnych ścieżek zdatności, które w modelu są dowolnie wykorzystywane, jednak w rzeczywistości ładunek jest powiązany z konkretną trasą przewozu, a elastyczność jej zmian w trakcie realizacji procesu jest niewielka.

Metodę można jednak wykorzystać do porównania niezawodności alternatywnych dróg transportowych. Wyniki uzyskane dla wybranych ścieżek przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Prawdopodobieństwa punktualnej realizacji przewozów dla różnych wariantów tras

Wariant	Trasa (elementy uwzględniane w wariantcie)	Prawdopodobieństwo realizacji na czas
1	Z1, Z2, Z4, Z6, Z7, Z8, Z9, Z10, Z12	0,974
2	Z1, Z2, Z3, Z4, Z5*, Z11	0,873
3	Z1, Z2, Z4, Z6, Z8, Z9, Z12	0,852
4	Z1, Z2, Z4, Z6, Z8, Z10, Z12	0,869
5	Z1, Z7, Z8, Z10, Z12	0,901
6	Z1, Z7, Z8, Z9, Z12	0,884
7	Z1, Z2, Z4, Z5*, Z11	0,848
8	Z1, Z2, Z3, Z11	0,857

* - ze względu na m.in. brak danych przyjęto niezawodność $R_{Z5}=1$

Pierwsze dwa warianty zawierają połączenia równoległe, których ocena dla przypadku systemu transportowego nie jest wystarczająco dokładna. Mają one zatem charakter wyłącznie poglądowy.

Warianty 3, 4, 5 i 6 są szeregowymi ścieżkami w systemie transportu szynowego. W tym przypadku możliwe jest porównanie rozwiązań w aspekcie punktualności. Wariant 5 ma największą wartość prawdopodobieństwa punktualnej realizacji rozkładu.

Spośród dwóch kombinacji opartych o transport kolejowo-wodny większe prawdopodobieństwo uzyskał wariant 8, zawierający odcinek rzeki skanalizowanej oraz kanał.

Innych kombinacji nie uwzględniono, ponieważ w rzeczywistym systemie byłyby nieracjonalne, np. ze względu na czas przewozu.

7. PODSUMOWANIE

Obszary stosowania metody analizy struktury niezawodnościowej są ograniczone, ze względu na konieczność przyjęcia mocnych założeń podczas modelowania. Wykonanie oceny niezawodnościowej systemu w układzie szeregowo-równoległym może być obciążone błędem, co wynika z ograniczonej elastyczności zmian tras w trakcie realizacji przewozu.

W przypadku układów szeregowych, to znaczy wybranych ścieżek z systemu, możliwe jest oszacowanie prawdopodobieństwa punktualnej realizacji, w celu porównania różnych rozwiązań. Ocena porównawcza w oparciu o analizę struktury niezawodnościowej może stanowić uzupełnienie do oceny wielokryterialnej ścieżek transportowych (uwzględniającej również czas jazdy, koszty itd.)

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bogucki J.: *Przerwy żeglugowe na Odrze skanalizowanej w latach 1980-2008*, Wrocław 2009.
- [2] Komisja Europejska: *Biała Księga Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu*; 2011
- [3] Kulczyk J. (red.): *Logistyczne uwarunkowania transportu łamanego węgla w korytarzu transportowym Odrzańskiej Drogi Wodnej*; Praca powstała w ramach realizacji programu badawczego rozwojowego Nr 10-0003-04 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.
- [4] Kulczyk J., Skupień E.: *Analiza możliwości wykorzystania dla potrzeb transportu planowanego Kanału Śląskiego łączącego drogę wodną Górnej Wisły z przewidywanym połączeniem Odra – Dunaj – Łaba*; praca wykonana na zlecenie Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie; Wrocław 2010
- [5] Kulczyk J. Skupień E.: *Koszty a technologie transportu na Odrzańskiej Drodze Wodnej*, Logistyka 2011, nr 4, s. 514-521.
- [6] Kulczyk J. Lisiewicz T. Skupień E.: *Model transportu łamanego węgla do Elektrowni Opole*, Logistyka 2011, nr 3, s. 1439-1448.
- [7] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.: *Dane eksploatacyjne dla wybranego regionu oraz rozkładu jazdy*, Warszawa 2010.
- [8] Restel F. Skupień E.: *Analiza niezawodności transportu łamanego na przykładzie korytarza transportowego Odrzańskiej Drogi Wodnej*, Logistyka 2011, nr 6, s. 3543-3552
- [9] Restel F.J.: *Measures of reliability and safety of rail transportation system*, Advances in Safety, Reliability and Risk Management 2012, s. 2714 – 2719.
- [10] Skupień E.: *Odra jako źródło korzyści dla nadodrzańskich przedsiębiorstw*; *Rozwój powiązań kooperacyjnych nauka, przemysł, samorząd - Kanał Odra - Dunaj - Łaba szansa czy konieczność?* Warszawa : Krajowa Izba Gospodarcza, 2011. s. 134-146

Prace zostały zrealizowane w ramach V edycji projektu stypendialnego „Rozwój potencjału dydaktyczno-naukowego młodej kadry akademickiej”. Stypendium współfinansowane przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

