

**Natalia Stasiak, Leszek Smolarek**

Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny, Katedra Transportu i Logistyki

## **MODELOWANIE STRUKTURY PRZEPIYU STRUMIENI POJAZDÓW NA PRZYKŁADZIE ŁADUNKÓW Z I DO TERMINALU BCT**

Rękopis dostarczono: maj 2017 r.

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono model struktury przepływu strumieni pojazdów opracowany w oparciu o dane przepływu ładunków z i do terminalu BCT Gdynia. W pracy zastosowano model stochastyczny który może być wykorzystany do modelu symulacyjnego zaimplementowanego w programie PTV Vissim. Artykuł jest analizą ruchu samochodów ciężarowych wjeżdżających i wyjeżdżających z portu BCT w Gdyni w latach 2008-2016.

**Słowa kluczowe:** strumień ładunków, model stochastyczny, analiza statystyczna

### **1. WSTĘP**

Infrastruktura transportowa w Gdyni pełni bardzo istotną funkcję powiązań transportu lądowego i morskiego o znaczeniu krajowym i międzynarodowym. Całościowo sieć uliczna w mieście Gdynia ma długość 396,5km<sup>1</sup>., w tym drogi krajowe: 5,8km., drogi wojewódzkie: 17,9km., drogi powiatowe 112,5km., drogi gminne 260,3km.

Bałtycki Terminal Kontenerowy jako międzynarodowy port morski o podstawowym znaczeniu polskiej gospodarki stanowi węzeł transportowy kategorii A wchodzący w skład VI Korytarza transeuropejskiej Sieci Transportowej (TEN-T), [1]. Ponieważ w porcie wykonywana jest wszelkiego typu obsługa ładunków, realizowana poprzez: przeładunek towarów w terminalach kontenerowym, drobnicowym, ro-ro i masowym niezbędna jest nowoczesna infrastruktura drogowa, dzięki której możliwy będzie transport ładunków przez samochody ciężarowe do i z portu. Priorytetem jest, aby ruch odbywał się w sposób bezkolizyjny i płynny. Rozwiązaniem jest Estakada Kwiatkowskiego, dzięki której możliwe jest przemieszczanie się ładunku do i z portu np. dostawa i odbiór kontenerów. Przy ulicy Kontenerowej znajduje się parking dla samochodów ciężarowych. Estakada w Gdyni jest drogą powiatową (docelowo droga krajowa) o wysokim znaczeniu gospodarczym

---

<sup>1</sup> Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Gdyni. Uwarunkowania zagospodarowania przestrzennego. Stan systemu transportowego, zatwierdzone uchwałą nr XVII/400/08 Rady Miasta Gdyni z dnia 27 lutego 2008 r., zmienione uchwałą nr XXXVIII/799/14 Rady Miasta Gdyni z dnia 15 stycznia 2014 r., zmienione uchwałą nr XI/190/15 Rady Miasta Gdyni z dnia 26 sierpnia 2015 r., Gdynia 2015

i ekonomicznym. Dodatkowym połączeniem, bardzo istotnym ze względu na komunikację jest ulica Janka Wiśniewskiego, która również została poddana licznym modernizacjom. W związku z tym powstało połączenie rejonów przeładunkowych Portu Wschodniego z Estakadą Kwiatkowskiego i z systemem dróg szybkiego ruchu. Spowodowało ono poprawę funkcjonowania dróg okołoportowych oraz umożliwiło sprawny transport ładunków. Jednym z ostatnich połączeń drogowych w Gdyni, jeżeli chodzi o relację transport drogowy-porty jest ulica Polska, Chrzanowskiego i Wendy. Dzięki rozbudowie parkingów dla samochodów ciężarowych możliwa jest większa kumulacja ładunków czekających na załadowanie w obrębie portów oraz większy dostęp do terminali wschodniej części Portu Gdynia. Trasa tych trzech ulic należy do VI korytarza transportowego sieci TEN-T. W związku z tym, że ulica Polska jest przedłużeniem dwujezdniowego połączenia terminalu promowego w porcie Gdynia z autostradą A-1 (przez ul. Janka Wiśniewskiego i Estakadę Kwiatkowskiego) stanowi ona priorytetowe ogniwo w transporcie ładunków oraz jest bezpośrednio powiązana z programem autostrad morskich i rozwojem żeglugi bliskiego zasięgu.

Porty morskie należą do punktowych elementów w infrastrukturze transportu. Znajdujące się na obszarach wodnych i lądowych są traktowane jako morsko-lądowe węzły transportowe, połączone między sobą drogami wodnymi z innymi portami i szlakami komunikacyjnymi lub multimodalnymi korytarzami transportowym z miejscami docelowymi na lądzie. Porty stanowiące centra dystrybucyjno-logistyczne o międzynarodowym zasięgu są częścią łańcucha transportowego rozumianego jako przestrzenno-czasowa kombinacja zintegrowanych elementów, [6]. W skali makroekonomicznej porty morskie umożliwiają bezpośrednie wykorzystanie transportu morskiego jako środka dostępu do odległych źródeł zaopatrzenia i rynków zbytu na obszarze całego świata. W konsekwencji czego, porty morskie przyczyniają się znacznie do osiągnięcia korzyści ekonomicznych i wzrostu wskaźników gospodarczych z racji uczestnictwa w międzynarodowej wymianie handlowej. Porty morskie są strategicznymi węzłami w europejskich sieciach transportowych, gdyż towary stanowiące przedmiot handlu zagranicznego krajów UE w 90% są obsługiwane w portach i transportowane morzem, natomiast w handlu międzynarodowym pomiędzy krajami UE, w około 40%. Odgrywają istotną rolę w wymianie ładunkowej w rejonie Morza Bałtyckiego, [3]. Główne potoki ruchu jeżeli chodzi o dojazd i wyjazd pojazdów zostały przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Główne potoki ruchu w kierunku Estakady Kwiatkowskiego w Gdyni. Lokalizacja bram terminala BCT.

Źródło: Opracowanie własne

W artykule wykorzystujemy do analizy ruch pojazdów rejestrowany na bramach Terminalu Kontenerowego, który odbywał się na przestrzeni 8 lat, z podziałem na konkretne miesiące. Na rysunku, Rysunek 2, został przedstawiony widok poszczególnych bram – 5 wjazdowych i 4 wyjazdowe.

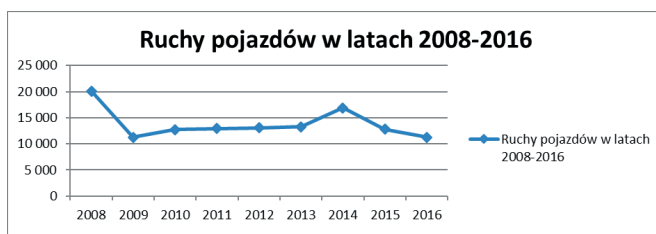


Rys. 2. Układ bram w Bałtyckim Terminalu Kontenerowym

Źródło: [http://www.gospodarkamorska.pl/\\_upload/catalog\\_positions\\_images/1393/thumbs3/bct\\_gdynia\\_2.jpg](http://www.gospodarkamorska.pl/_upload/catalog_positions_images/1393/thumbs3/bct_gdynia_2.jpg), dostęp [12.05.2017r]

## 2. DANE

Dane, wykorzystane do wykonania analizy przepływu dobowych strumieni pojazdów, zostały udostępnione przez Bałtycki Terminal Kontenerowy. Omawiana analiza będzie dotyczyła badanego okresu tzn. lat 2008-2016 dla danych miesięcznych ilości samochodów ciężarowych wychodzących i wchodzących do portu. Będą brane pod uwagę liczby pojazdów przechodzących przez bramy terminala. Uśrednione relacje odnoszące się do poszczególnych lat zostały przedstawione na wykresie, Rysunek 3.

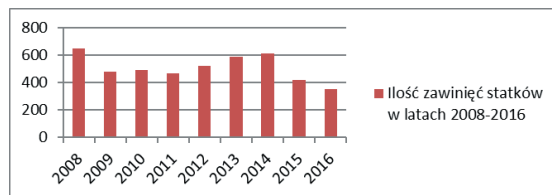


Rys. 3. Wykres rocznej ilości ruchu pojazdów z i do portu BCT w latach 2008-2016

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych z BCT

Z wykresu można wyraźnie zauważyć, iż w 2008 roku odbyło się najwięcej przejazdów przez bramy portu BCT. Dodatkowo w 2014 roku odnotowany został wzmożony ruch pojazdów. W latach 2009-2014 średni miesięczny ruch samochodów był porównywalny

i utrzymywał się na poziomie 13000 samochodów na miesiąc w relacji import oraz eksport. Wahania wynikają z ilości liczby zawinięć statków w poszczególnych latach, co zostało przedstawione na rysunku 4.

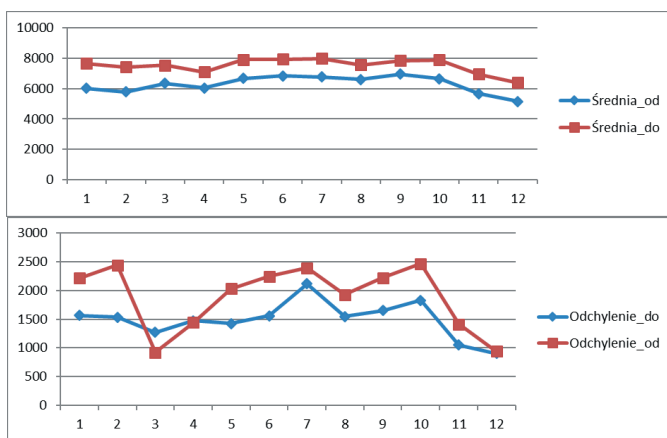


Rys. 4. Histogram ilości zawinięć statków w BCT w latach 2008-2016

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych z BCT

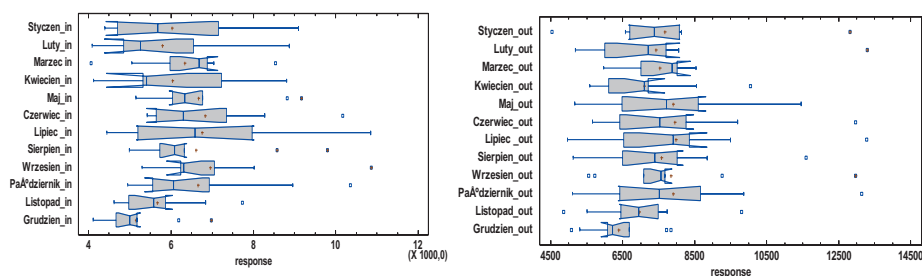
### 3. MODEL LICZBY POJAZDÓW W RELACJI Z I DO PORTU BCT W GDYNI

Celem modelowania jest określenie rozkładu prawdopodobieństwa liczby pojazdów w obu relacjach dla poszczególnych miesięcy. W pierwszym etapie badana jest jednorodność 12 populacji dla poszczególnych miesięcy. Analiza danych dotyczy porównania prób opisujących liczby pojazdów, dla poszczególnych miesięcy, przechodzących przez bramy terminala BCT. Celem analizy było sprawdzenie zgodności prób dla poszczególnych miesięcy w roku poprzez weryfikację zgodności charakterystyk liczbowych takich jak średnią, wariancja czy też mediana. Na początku zostały poddane analizie poszczególne charakterystyki próby, czyli miesięczne ilości samochodów wjeżdżających i wyjeżdżających z portu. Wyniki przedstawiono na wykresach rysunki 5 i 6.



Rys. 5. Wykresy charakterystyk liczbowych dla 12 prób do i 12 prób z portu

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 6. Wykres skrzynkowy prezentacji rozkładu cechy statystycznej dla 12 prób do i 12 prób z portu

Źródło: Opracowanie własne

Kolejnym krokiem analizy było testowanie istotność różnic między poszczególnymi próbami, z wykorzystaniem analizy wariancji, Tabele 2-4.

Tabela 1

**Test zgodności dla średnich metoda: 95,0 % LSD**

	Średnia	Grupy jednorodne		Średnia	Grupy jednorodne
Grudzien do	5145,44	X	Grudzien od	6392,78	X
Listopad do	5668,44	XX	Listopad od	6953,22	X
Luty do	5789,89	XX	Kwiecien od	7090,33	X
Styczen do	6023,67	XX	Luty od	7426,0	X
Kwiecien do	6045,11	XX	Marzec od	7532,89	X
Marzec do	6335,22	XX	Sierpień od	7571,33	X
Sierpień do	6611,11	X	Styczeń od	7662,11	X
Październik do	6659,11	X	Wrzesień od	7837,33	X
Maj do	6665,33	X	Październik od	7898,11	X
Lipiec do	6759,67	X	Maj od	7908,44	X
Czerwiec do	6833,67	X	Czerwiec od	7944,56	X
Wrzesień do	6951,44	X	Lipiec od	7985,22	X

Źródło: Opracowanie własne

Wiersze zawierające X w tej samej kolumnie tworzą grupę, w których nie ma statystycznie istotnych różnic dla średniej. Metodą stosowaną do rozróżnienia między średnimi jest procedura Fisher'a, najmniej znacząca różnica (LSD). Przy tej metodzie istnieje 5% ryzyko, błąd. Wskaźnik F jest stosunkiem oszacowania między grupami do oszacowania wewnątrz grupy.

Tabela 2

**ANOVA Tabela danych „do”**

Źródło	Suma kwadratów	Df	Średnia kwadratowa	F-wskaźnik	P-Wartość
Pomiędzy grupami	3,07196E7	11	2,79269E6	1,20	0,2950
W grupach	2,22709E8	96	2,31989E6		
Całość	2,53429E8	107			

Źródło: Opracowanie własne

Ponieważ wartość P testu F jest większa lub równa 0,05, nie ma statystycznie istotnej różnicy między średnimi dla 12 miesięcznych prób na poziomie ufności 95,0%.

Tabela 3

## ANOVA Tabela danych „od”

Źródło	Suma kwadratów	Df	Średnia kwadratowa	F-wskaźnik	P-Wartość
Pomiędzy grupami	2,33949E7	11	2,12681E6	0,55	0,8626
W grupach	3,69939E8	96	3,85353E6		
Całość	3,93334E8	107			

Źródło: Opracowanie własne

Ponieważ wartość P testu F jest większa lub równa 0,05, nie ma statystycznie istotnej różnicy między średnimi dla 12 miesięcznych prób na poziomie ufności 95,0%. Przeprowadzono także test Moodsa dla mediany który nie wykazał istnienia różnic statystycznie istotnych dla badanych prób na poziomie ufności 95,0%.

Wyniki analiz statystycznych, przeprowadzonych za pomocą programu Statgraphics Centurion, były podstawą do poszukiwania jednorodnego modelu losowego dla miesięcznej ilości pojazdów z kontenerami wjeżdżających oraz wyjeżdżających z BCT, Tabele 5-6.

Tabela 4

## Parametry badanych rozkładów

Zmienne danych: „do”		Zmienne danych „od”	
Odwrotny Gauss	Największa wartość	Odwrotny Gauss	Największa wartość
średnia = 6290,68	tryb = 5608,04	średnia = 7516,86	tryb = 6689,7
skala = 18,7586	skala = 1130,86	skala = 17,9341	skala = 1385,16

Tabela 5

## Testy zgodności dla danych „do”

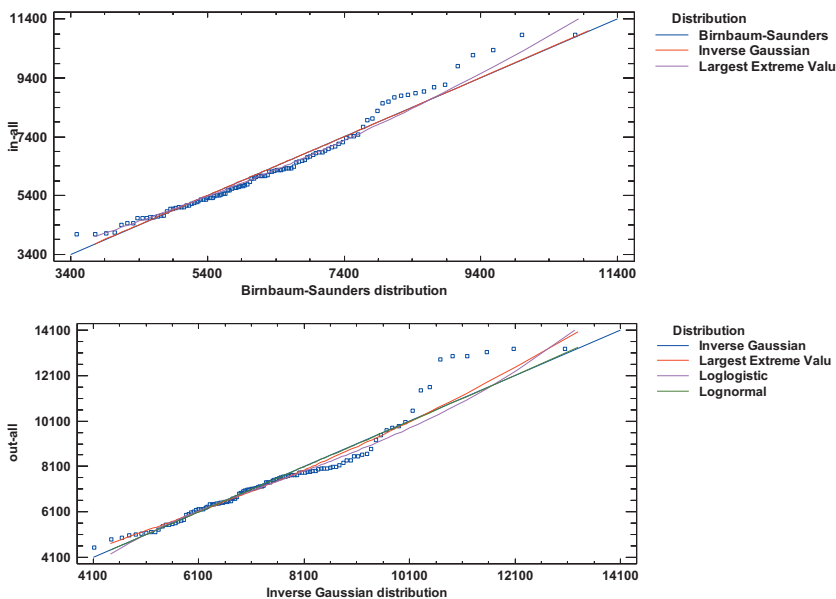
<b>Kuiper V</b>	0,137411	0,106895
Forma zmodyfikowana	1,45249	1,11089
P-Wartość	>=0.10*	>=0.10*
<b>Watson U^2</b>	0,111382	0,0473284
Forma zmodyfikowana	0,111283	0,0482392
P-Wartość	>=0.10*	>=0.10*
<b>Anderson-Darling A^2</b>	0,947082	0,437541
Forma zmodyfikowana	0,947082	0,445962
P-Wartość	>=0.10*	>=0.10*

## Testy zgodności dla danych „od”

<b>Kuiper V</b>	0,16141	0,12909
Forma zmodyfikowana	1,70616	1,36453
P-Wartość	<0.10	>=0.10
<b>Watson U^2</b>	0,153761	0,0998333
Forma zmodyfikowana	0,153975	0,0996486
P-Wartość	<0.10	>=0.10
<b>Anderson-Darling A^2</b>	1,32349	0,780896
Forma zmodyfikowana	1,32349	0,780896
P-Wartość	>=0.10	>=0.10

\* wskazuje, że wartość P została porównana z tabelami wartości krytycznych specjalnie skonstruowanymi w celu dopasowania wybranego rozkładu. W tabelach pokazano wyniki

testów w celu określenia, czy wszystkie mogą być odpowiednio modelowane przez różne dystrybucje. Wartości P poniżej 0,05 wskazywałyby, że model dla in albo out nie pochodzi z wybranego rozkładu z 95% pewnością, [4,7].



Rys. 7 Wykres kwantylowy rozkładu miesięcznej liczby samochodów dla 12 prób do i 12 prób z portu

Źródło: Opracowanie własne

Przez badanie wykresu kwantyl-quantyl (nazywanego także wykresem kwantylowym), Rysunek 7, możemy sprawdzać dopasowanie teoretycznego rozkładu do zaobserwowanych danych. Na wykresie tego typu zaobserwowane wartości zmiennej są wykreślane w funkcji kwantyli rozkładu teoretycznego. Wykres ten będzie wskazywał na dobre dopasowanie rozkładu teoretycznego do zaobserwowanych wartości w przypadku, gdy wykreślane wartości będą tworzyły linię prostą.

Wyniki analizy pozwalają przyjąć rozkład inverse Gaussian jako model liczby pojazdów. Rozkład ten jest dwuparametrowym rozkładem typu ciągłego, którego nośnikiem jest przedział  $(0, \infty)$ . Gęstość rozkładu prawdopodobieństwa opisana jest wzorem (1):

$$f(x; \mu, \lambda) = \left[ \frac{\lambda}{2\pi x^3} \right]^{1/2} \cdot \exp \left\{ \frac{-\lambda(x - \mu)^2}{2\mu^2 x} \right\} \quad (1)$$

dla  $x > 0$ , gdzie  $\mu > 0$  jest średnią zaś  $\lambda > 0$  parametrem kształtu, [2]. Parametry  $\mu$  i  $\lambda$  można, dla poszczególnych miesięcy, oszacować wykorzystując metodę największej wiarygodności i wynikające z niej wzory (2):

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i X_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad \frac{1}{\hat{\lambda}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i \left( \frac{1}{X_i} - \frac{1}{\hat{\mu}} \right). \quad (2)$$

## 4. WNIOSKI

Przeprowadzone analizy wykazały, że ruch ciężarowy generowany przez BCT wpływa na obciążenie systemu transportu w sieci miejskiej w szczególności Estakady Kwiatkowskiego. Zwiększenie ruchu towarowego generowanego przez port może utrudnić ruch osobowy na tej trasie, a tym samym wpłynąć na niezawodność operacyjną badanej sieci transportowej. Analizując dane w skali roku, stwierdzono, że liczba samochodów wjeżdżających i wyjeżdżających w ciągu miesiąca do BCT może być modelowana jednym z dwóch rozkładów, Rysunek 7. Nie zauważono istotnego, jakościowego wpływu miesiąca roku na wartości badanej cechy. Mogło by to wynikać z dużego udziału w przewozach kontenerowych, regularnych połączeń portu BCT. Otrzymane wyniki wskazują tylko istnienie takiego oddziaływania. Ze względu na ograniczenia w dostępie do danych, analizy przeprowadzono na poziomie zmian miesięcznych w skali roku. Otrzymane wyniki nie pozwalają na dokładniejsze opisanie charakteru wpływu np. w skali tygodnia czy też doby. Analizy dzienne lub tygodniowe pozwoliłyby na wyznaczenie okresów w ciągu dnia lub dni w tygodniu, gdy wpływ ruchu generowanego przez port jest istotnym czynnikiem ograniczenia przepustowości Estakady Kwiatkowskiego dla ruchu osobowego. Problem ten jest celem dalszych badań.

### Bibliografia

1. Bursztyński A., Dostępność komunikacyjna portów Gdańska i Gdyni w aspekcie rozbudowy sieci drogowej zaplecza portowego, *Logistyka* 2011, nr 5/2011/1013.
2. Chhikara, Raj; Folks, Leroy (1989). *The inverse Gaussian distribution: theory, methodology and applications*. New York: Marcel Dekker. ISBN 0-8247-7997-5.
3. Christowa Cz., Algorytm badań systemów zarządzania procesami eksploatacyjnymi i usługowymi w polskich portach morskich o podstawowym znaczeniu dla gospodarki narodowej., Akademia Morska w Szczecinie. Szczecin, 2010r.
4. Gajek, L., Kałużka, M., *Wnioskowanie statystyczne*, WNT, Warszawa 2000.
5. Fassò A., Cameletti M., A Unified Statistical Approach for Simulation, Modeling, Analysis and Mapping of Environmental Data, *SIMULATION*, Vol. 86, Issue 3, March 2010, 139–154.
6. Koźlak A., Dostępność portów morskich od strony zaplecza jako czynnik ich konkurencyjności, *Logistyka*, 2009, nr 6
7. Zieliński, R., *Rachunek prawdopodobieństwa z elementami statystyki matematycznej*, WSiP, Warszawa 1976.