



POLITECHNIKA POZNAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ZARZĄDZANIA

ROZPRAWA DOKTORSKA

Metodyka modelowania zakłóceń procesów logistycznych

mgr inż. Patrycja Hoffa-Dąbrowska

Promotor:

dr hab. inż. P. Pawlewski

Promotor pomocniczy:

dr inż. M. Jasiulewicz-Kaczmarek

Poznań, 2016

Podziękowania

***Dziękuję mojemu Promotorowi Panu
dr hab. inż. Pawłowi Pawlewskiemu
i Promotorowi pomocniczemu Pani
dr inż. Małgorzacie Jasiulewicz-
Kaczmarek za naukowe przewodnictwo,
cenne uwagi i inspirujące dyskusje, które
nadały kształt tej rozprawie oraz
za poświęcony czas na dokonanie
niezbędnych korekt.***

Patrycja Hoffa-Dąbrowska

Spis treści

Streszczenie	5
Spis oznaczeń i skrótów	7
1. Przesłanki podjęcia tematu pracy	15
1.1. Uzasadnienie podjęcia tematu badań	15
1.2. Cel pracy	16
1.3. Proponowana metodologia badań	20
Część I – rozważania teoretyczne	23
2. Terminologia związana z tematem pracy	23
2.1. Wprowadzenie	23
2.2. System logistyczny	23
2.3. Proces logistyczny	27
2.4. Zakłócenia w procesach logistycznych	32
2.5. Podsumowanie rozdziału	41
3. Modelowanie procesów logistycznych	42
3.1. Wprowadzenie	42
3.2. Model, modelowanie, symulacja komputerowa	42
3.3. Infrastruktura logistyczna i metody jej modelowania	52
3.4. Stosowane technologie informacyjne w branży logistycznej	65
3.5. Podsumowanie rozdziału	70
Część II – część empiryczna	72
4. Analiza procesów logistycznych w ujęciu 4-ro poziomowym	72
4.1. Wprowadzenie	72
4.2. Punkty infrastrukturalne w ujęciu 4-ro poziomowym	72
4.3. Modele organizacji zadań transportowych w ujęciu 4-ro poziomowym	78
4.4. Podsumowanie rozdziału	99
5. Modelowanie elementów systemu logistycznego	100
5.1. Wprowadzenie	100
5.2. Modelowanie symulacyjne sieci transportowych i środka transportowego	100
5.3. Modelowanie punktów załadunkowych, rozładunkowych, przeładunkowych	104
5.4. Mierniki stosowane do oceny procesu	108
5.5. Podsumowanie rozdziału	112

6. Metody modelowania zakłóceń procesów logistycznych.....	114
6.1. Wprowadzenie	114
6.2. Modelowanie zakłóceń w ujęciu analitycznym	114
6.3. Symulacyjne modelowanie wybranych zakłóceń	145
6.4. Podsumowanie rozdziału	167
7. Zastosowanie symulacji w modelowaniu procesu logistycznego.....	170
7.1. Wprowadzenie	170
7.2. Definicja modelowanego systemu	170
7.3. Eksperymenty symulacyjne	181
7.4. Podsumowanie rozdziału	194
8. Podsumowanie i dalsze kierunki badań	196
Bibliografia	199
Spis rysunków	207
Spis tabel.....	210
Załączniki.....	211

Streszczenie

Głównym celem pracy jest opracowanie metodyki modelowania zakłóceń procesów logistycznych sklasyfikowanych ze względu na podmiot odpowiedzialny za ich wystąpienie wraz z określeniem potencjalnych skutków ich wystąpienia. Dla kilku wybranych zakłóceń opracowano szczegółową metodykę modelowania z wykorzystaniem oprogramowania symulacyjnego FlexSim. W celu weryfikacji metodyki modelowania zakłóceń zbudowano model symulacyjny przedstawiający proces logistyczny z uwzględnieniem zaprojektowanych zdarzeń niepożądanych. Model systemu logistycznego uwzględnia procesy wykonywane w punkcie załadunku oraz rozładunku, a także proces transportu zewnętrznego. Procesy logistyczne realizowane w wybranych punktach infrastrukturalnych przeanalizowano stosując podejście 4-ro poziomowe. Umożliwiło to pokazanie zależności i zachodzących relacji pomiędzy procesami na różnych poziomach analizy. Dla poszczególnych elementów systemu logistycznego, tj.: środka transportowego, punktu załadunku i rozładunku opisano metodykę modelowania. Zgodnie z tą metodyką zaprojektowano wymienione elementy systemu logistycznego podczas budowy modelu symulacyjnego. Budując model symulacyjny systemu logistycznego zaprezentowano praktyczne wykorzystanie opisanych teoretycznie metod dotyczących: modelowania sieci transportowych, modelowania punktów infrastrukturalnych, modelowania zakłóceń procesów logistycznych oraz modelowania podstawowych mierników służących ocenie procesu logistycznego (dotyczących czasu oraz kosztu realizacji procesu).

Dla zbudowanego modelu systemu logistycznego przeprowadzono eksperymenty w celu pokazania poprawności działania zaprojektowanych elementów. Pozwoliło to na zweryfikowanie modelu symulacyjnego uwzględniającego zakłócenia. Analiza wyników poszczególnych eksperymentów pokazała, że model działa zgodnie z przyjętymi założeniami (oczekiwaniem). Dodatkowo, przeprowadzenie szeregu eksperymentów na zbudowanym modelu pozwoliło na uzyskanie podstawowych informacji dotyczących realizacji procesu logistycznego: czasu wykonania czynności w poszczególnych punktach, oraz czasu przejazdu pomiędzy punktem załadunku a rozładunku. Ponadto dla transportu zewnętrznego określono koszt przejazdu oraz ilość wygenerowanych emisji spalin.

Abstract

The main objective of the dissertation is to develop the methodology of modelling disturbances in logistics processes classified according to the subject responsible for their occurrence and to determine their potential outcome. For a few selected disturbances, the detailed modelling methodology has been developed with use of FlexSim simulation software. In order to verify the methodology of modelling disturbances, a simulation model has been created, which shows a logistics process taking into consideration the projected adverse events. The model of a logistics system takes into account processes performed at the loading and unloading point, as well as the internal transport service. Logistics processes implemented in the selected infrastructure points have been analysed with use of four-level approach. Therefore, it is possible to show the dependencies and relations between processes at different levels of the analysis. The methodology of modelling has been described for the particular elements of the logistics system, i.e. means of transport, loading and unloading points. According to this methodology, in the course of developing the simulation model, the particular elements of the logistics system have been designed. In the developed simulation model of the logistics system, methods described theoretically can be used in practice, i.e. modelling transport networks, modelling infrastructure points, modelling disturbances in logistics processes and modelling basic measures used to evaluate the logistics process (referring to the time and cost of process implementation).

For the created model of the logistics process, experiments have been carried out in order to prove that the designed elements work properly. Therefore, the simulation model, which takes disturbances into account, has been verified. The analysis of results of particular experiments shows that the model works according to our assumptions (it meets our expectations). Moreover, owing to a number of experiments performed on the created model, it has been possible to acquire basic information about the logistics process: duration of actions performed at particular points and duration of transport from a loading to an unloading point. Moreover, the cost of travel and the amount of emitted fumes have been determined for the external transport.

Spis oznaczeń i skrótów¹

Ra_o	Awizowany (oczekiwany) termin dostawy
Ra'	Najwcześniejszy termin dostawy
Ra	Najpóźniejszy termin dostawy
Z_0	Termin załadunku
Pd	Prawdopodobieństwo dotarcia dostawy w określonym przedziale czasu
DES	Modelowanie dyskretne (ang. Discrete-Event Simulation)
ABS	Modelowanie agentowe (ang. Agent Based Simulation)
$T_{PROC_{PX}}$	Czas realizacji procesów w określonym punkcie
$T_{ZAKproc_{PX}}$	Czas zakończenia realizacji procesów w określonym punkcie
$T_{ROZproc_{PX}}$	Czas rozpoczęcia realizacji procesów w określonym punkcie
TC_{FC}	Całkowity koszt zużytego paliwa przez środek transportowy
C_{FC}	Koszt 1 litra oleju napędowego
FC	Całkowita ilość zużytego paliwa przez środek transportowy
s_i	Długość analizowanego dystansu
$FC(v_i)$	Zużycie paliwa przez środek transportowy w zależności od prędkości przemieszczania się
s	Całkowita długość pokonanego dystansu przez środek transportowy w ramach analizowanej trasy
TSL	Transport – Spedycja – Logistyka
TMS	Tymczasowe miejsce składowania
PM	Proces multimodalny
PC	Proces cykliczny
PL	Proces lokalny
PPO	Punkt poboru opłat
SOCILAPP	Centrum Symulacji i Optymalizacji Procesów Logistycznych i Produkcyjnych
CO_emisja	Ilość generowanego tlenku węgla podczas realizacji analizowanej trasy
CO_emisja_{NEuro}	Ilość generowanego tlenku węgla zgodnie z normą emisji spalin
HC_emisja	Ilość generowanych węglowodorów podczas realizacji analizowanej trasy

¹ Spis utworzony jest w kolejności zgodnej z występowaniem oznaczenia/skrótu w niniejszej pracy.

HC_emisja_{NEuro}	Ilość generowanych węglowodorów zgodnie z normą emisji spalin
NOx_emisja	Ilość generowanych tlenków azotu podczas realizacji analizowanej trasy
NOx_emisja_{NEuro}	Ilość tlenków azotu zgodnie z normą emisji spalin
PM_emisja	Ilość generowanych cząsteczek stałych (PM) podczas realizacji analizowanej trasy
PM_emisja_{NEuro}	Ilość generowanych cząsteczek stałych (PM zgodnie z normą emisji spalin
S	Oznaczenie sieci
W	Oznaczenie węzła w sieci
L	Oznaczenie łuku w sieci
A	Atrybut
A_w	Atrybut węzła
A_l	Atrybut łuku
$T_{MTBF_{\zeta T}}$	Średni czas pomiędzy wystąpieniem kolejnych awarii dla środka transportowego
$T_{MTTR_{\zeta T}}$	Średni czas potrzebny na naprawę awarii środka transportowego
P_{OP}	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „opóźnienie podstawienia pojazdu pod rampę załadunkową”
x_{OP}	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „opóźnienie podstawienia pojazdu pod rampę załadunkową”
T_{OP}	Czas zablokowania pojazdu w związku z wystąpieniem zakłócenia pt. „opóźnienie podstawienia pojazdu pod rampę załadunkową”
μ_{TOP}	Średni czas zablokowania pojazdu w związku z wystąpieniem zakłócenia pt. „opóźnienie podstawienia pojazdu pod rampę załadunkową”
σ_{TOP}	Odchylenie czasu zablokowania pojazdu w związku z wystąpieniem zakłócenia pt. „opóźnienie podstawienia pojazdu pod rampę załadunkową”
P_{NP}	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „niepodstawienie pojazdu”
x_{NP}	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „niepodstawienie pojazdu”
T_{NP}	Czas zablokowania pojazdu w związku z wystąpieniem zakłócenia pt. „niepodstawienie pojazdu”
T_{SYM}	Czas trwania symulacji
P_{KR}	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „kongestia ruchu”

x_{KR}	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „kongestia ruchu”
r_{KR}	Promień (zasięg) działania zakłócenia pt. „kongestia ruchu”
y_{KR}	Zakładana wartość promienia działania zakłócenia pt. „kongestia ruchu”
y_{KRmax}	Maksymalna wartość promienia działania zakłócenia pt. „kongestia ruchu”
V_{KR}	Prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia pt. „kongestia ruchu”
$\mu_{V_{KR}}$	Średnia prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia pt. „kongestia ruchu”
$\sigma_{V_{KR}}$	Odchylenie prędkości przejazdu w obszarze działania zakłócenia pt. „kongestia ruchu”
V_{KRmax}	Maksymalna prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia pt. „kongestia ruchu”
V_{Przep}	Prędkość przejazdu zgodna z przepisami w danym obszarze
P_{ZD}	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe bez udziału pojazdu realizującego zlecenie”
x_{ZD}	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe bez udziału pojazdu realizującego zlecenie”
r_{ZD}	Promień (zasięg) działania zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe bez udziału pojazdu realizującego zlecenie”
y_{ZD}	Zakładana wartość promienia działania zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe bez udziału pojazdu realizującego zlecenie”
y_{ZDmax}	Maksymalna wartość promienia działania zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe bez udziału pojazdu realizującego zlecenie”
V_{ZD}	Prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe bez udziału pojazdu realizującego zlecenie”
$\mu_{V_{ZD}}$	Średnia prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe bez udziału pojazdu realizującego zlecenie”
$\sigma_{V_{ZD}}$	Odchylenie prędkości przejazdu w obszarze działania zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe bez udziału pojazdu realizującego zlecenie”
P_{ZDP}	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe z udziałem pojazdu realizującego zlecenie”
x_{ZDP}	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe z udziałem pojazdu realizującego zlecenie”
r_{ZDP}	Promień (zasięg) działania zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe z udziałem pojazdu realizującego zlecenie”

V_{ZDP}	Prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe z udziałem pojazdu realizującego zlecenie”
P_{TWPiN}	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
x_{TWPiN}	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
R_{TWPiN}	Promień (zasięg) działania całego obszaru zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
y_{TWPiN}	Zakładana wartość promienia działania zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
$y_{TWPiN_{max}}$	Maksymalna wartość promienia działania zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
r_{TWPiN}	Promień (zasięg) działania obszaru zwanego centrum zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
$X_{r_{TWPiN}}$	Współczynnik określający stosunek promienia centrum do promienia obrzeża ² dla zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
V_{OTWPiN}	Prędkość przejazdu w obszarze obrzeża zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
$\mu_{V_{OTWPiN}}$	Średnia prędkość przejazdu w obszarze obrzeża zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
$\sigma_{V_{OTWPiN}}$	Odchylenie prędkości przejazdu w obszarze obrzeża zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
V_{CTWPiN}	Prędkość przejazdu w obszarze centrum zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
$X_{V_{CTWPiN}}$	Współczynnik określający stosunek prędkości centrum do prędkości obrzeża dla zakłócenia pt. „trudne warunki pogodowe”
$T_{MPPOWE1}$	Czas pobrania biletu w Punkcie poboru opłat (PPO) przez jeden pojazd w sytuacji poboru opłaty w sposób manualny bądź nieaktywnego viaAUTO lub niskiego stanu konta
$T_{MPPOWY1}$	Czas uregulowania opłaty przez 1-en pojazd na wyjeździe z płatnego odcinka
T_{MPPOWE}	Czas pobrania biletu (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wjeździe na płatny odcinek w sytuacji oczekiwania w kolejce do 5-ciu pojazdów
$\mu_{T_{MPPOWE}}$	Średni czas pobrania biletu (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wjeździe na płatny odcinek w sytuacji oczekiwania w kolejce do 5-ciu pojazdów

² Jako obrzeże zmian pogodowych definiowany jest pierścień otaczający centrum zmian pogodowych.

$\sigma_{T_{MPPOWE}}$	Odchylenie czasu pobrania biletu (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wjeździe na płatny odcinek w sytuacji oczekiwania w kolejce do 5-ciu pojazdów
$T_{MPPOWEmin}$	Minimalny czas pobrania biletu (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wjeździe na płatny odcinek w sytuacji oczekiwania w kolejce do 5-ciu pojazdów
$T_{MPPOWEmax}$	Maksymalny czas pobrania biletu (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wjeździe na płatny odcinek w sytuacji oczekiwania w kolejce do 5-ciu pojazdów
T_{MPPOWY}	Czas uregulowania opłaty (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wyjeździe z płatnego odcinka w sytuacji oczekiwania w kolejce do 5-ciu pojazdów
$\mu_{T_{MPPOWY}}$	Średni czas uregulowania opłaty (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wyjeździe z płatnego odcinka w sytuacji oczekiwania w kolejce do 5-ciu pojazdów
$\sigma_{T_{MPPOWY}}$	Odchylenie czasu uregulowania opłaty (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wyjeździe z płatnego odcinka w sytuacji oczekiwania w kolejce do 5-ciu pojazdów
$T_{MPPOWYmin}$	Minimalny czas uregulowania opłaty (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wyjeździe z płatnego odcinka w sytuacji oczekiwania w kolejce do 5-ciu pojazdów
$T_{MPPOWYmax}$	Maksymalny czas uregulowania opłaty (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wyjeździe z płatnego odcinka w sytuacji oczekiwania w kolejce do 5-ciu pojazdów
P_{MPPO}	Prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji manualnego poboru opłat
χ_{MPPO}	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia sytuacji manualnego poboru opłat
$T_{EPPOWEWY1}$	Czas zatrzymania na bramkach elektronicznego poboru na wjeździe i wyjeździe dla 1-go pojazdu
$T_{EPPOWEWY}$	Czas zatrzymania na bramkach elektronicznego poboru na wjeździe i wyjeździe
$\mu_{T_{EPPOWEWY}}$	Średni czas zatrzymania na bramkach elektronicznego poboru na wjeździe i wyjeździe
$\sigma_{T_{EPPOWEWY}}$	Odchylenie czasu zatrzymania na bramkach elektronicznego poboru na wjeździe i wyjeździe
$T_{EPPOWEWYmin}$	Minimalny czas zatrzymania na bramkach elektronicznego poboru na wjeździe i wyjeździe
$T_{EPPOWEWYmax}$	Maksymalny czas zatrzymania na bramkach elektronicznego poboru na wjeździe i wyjeździe
P_{EPPO}	Prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji elektronicznego poboru opłat

x_{EPPO}	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia sytuacji elektronicznego poboru opłat
P_{MKW}	Prawdopodobieństwo wystąpienia miejsca kontroli wjazdu
x_{MKW}	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia miejsca kontroli wjazdu
$P_{BWZ_{ZAŁ}}$	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „brak wymaganych zasobów w punkcie załadunkowym”
$x_{BWZ_{ZAŁ}}$	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „brak wymaganych zasobów w punkcie załadunkowym”
$T_{BW_{ZAŁ}}$	Czas trwania zakłócenia pt. „brak wymaganych zasobów w punkcie załadunkowym”
$\mu_{T_{BW_{ZAŁ}}}$	Średni czas trwania zakłócenia pt. „brak wymaganych zasobów w punkcie załadunkowym”
$\sigma_{T_{BW_{ZAŁ}}}$	Odchylenie czasu trwania zakłócenia pt. „brak wymaganych zasobów w punkcie załadunkowym”
$P_{ZINF_{ZAŁ}}$	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „opóźnienie załadunku z powodu złych danych”
$x_{ZINF_{ZAŁ}}$	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „opóźnienie załadunku z powodu złych danych”
$T_{ZINF_{ZAŁ}}$	Czas trwania zakłócenia pt. „opóźnienie załadunku z powodu złych danych”
$\mu_{T_{ZINF_{ZAŁ}}}$	Średni czas trwania zakłócenia pt. „opóźnienie załadunku z powodu złych danych”
$\sigma_{T_{ZINF_{ZAŁ}}}$	Odchylenie czasu trwania zakłócenia pt. „opóźnienie załadunku z powodu złych danych”
$P_{NzZINF_{ZAŁ}}$	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „niezrealizowanie zlecenia z powodu złych informacji dotyczących załadunku”
$x_{NzZINF_{ZAŁ}}$	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „niezrealizowanie zlecenia z powodu złych informacji dotyczących załadunku”
$T_{NzZINF_{ZAŁ}}$	Czas trwania zakłócenia pt. „niezrealizowanie zlecenia z powodu złych informacji dotyczących załadunku”
$P_{BWZ_{ROZ}}$	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „brak wymaganych zasobów w punkcie rozładunkowym”
$x_{BWZ_{ROZ}}$	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „brak wymaganych zasobów w punkcie rozładunkowym”
$T_{BWZ_{ROZ}}$	Czas trwania zakłócenia pt. „brak wymaganych zasobów w punkcie rozładunkowym”

$\mu_{TBWZROZ}$	Średni czas trwania zakłócenia pt. „brak wymaganych zasobów w punkcie rozładunkowym”
$\sigma_{TBWZROZ}$	Odchylenie czasu trwania zakłócenia pt. „brak wymaganych zasobów w punkcie rozładunkowym”
$P_{ZINFROZ}$	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „opóźnienie rozładunku z powodu złych danych”
$x_{ZINFROZ}$	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „opóźnienie rozładunku z powodu złych danych”
$T_{ZINFROZ}$	Czas trwania zakłócenia pt. „opóźnienie rozładunku z powodu złych danych”
$\mu_{TZINFROZ}$	Średni czas trwania zakłócenia pt. „opóźnienie rozładunku z powodu złych danych”
$\sigma_{TZINFROZ}$	Odchylenie czasu trwania zakłócenia pt. „opóźnienie rozładunku z powodu złych danych”
P_{MDK}	Prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji pt. „realizacja zlecenia przez kierowcę z małym stażem”
x_{MDK}	Zakładana wartość prawdopodobieństwa sytuacji zakłócenia pt. „realizacja zlecenia przez kierowcę z małym stażem”
$P_{\dot{S}DK}$	Prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji pt. „realizacja zlecenia przez kierowcę z średnim stażem”
$x_{\dot{S}DK}$	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia sytuacji pt. „realizacja zlecenia przez kierowcę z średnim stażem”
P_{DDK}	Prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji pt. „realizacja zlecenia przez kierowcę z dużym stażem”
x_{DDK}	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia sytuacji pt. „realizacja zlecenia przez kierowcę z dużym stażem”
T_{proc}	Czas procesów realizowanych przez kierowcę
$T_{WprocMDK}$	Czas wydłużenia T_{proc} w związku z realizacją procesu przez kierowcę o małym doświadczeniu
y_{MDK}	Zakładany współczynnik wydłużenia czasu realizacji procesów przez kierowcę z małym stażem
$T_{Wproc\dot{S}DK}$	Czas wydłużenia T_{proc} w związku z realizacją procesu przez kierowcę o średnim doświadczeniu
$y_{\dot{S}DK}$	Zakładany współczynnik wydłużenia czasu realizacji procesów przez kierowcę z średnim stażem
$T_{START-PrzerwaK}$	Czas pomiędzy rozpoczęciem pracy a wystąpieniem krótkiej przerwy w pracy kierowcy samochodu ciężarowego
$T_{START-PrzerwaD}$	Czas pomiędzy rozpoczęciem pracy a wystąpieniem długiej przerwy w pracy kierowcy samochodu ciężarowego

$t_{PrzerwaK}$	Czas trwania krótkiej przerwy w pracy kierowcy samochodu ciężarowego
$t_{PrzerwaD}$	Czas trwania długiej przerwy w pracy kierowcy samochodu ciężarowego
$P_{KNiISSR}$	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$x_{KNiISSPR}$	Zakładana wartość prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia pt. „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$r_{KNiISSR}$	Promień (zasięg) działania obszaru zwanego centrum zakłócenia pt. „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$X_{r_{KNiISSR}}$	Współczynnik określający stosunek promienia centrum do obrzeża ³ dla zakłócenia pt. „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$R_{KNiISSR}$	Promień (zasięg) działania całego obszaru zakłócenia pt. „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$y_{KNiISSR}$	Zakładana wartość promienia działania zakłócenia pt. „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$y_{KNiISSR_{max}}$	Maksymalna wartość promienia działania zakłócenia pt. „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$V_{CKNiISSR}$	Prędkość przejazdu w obszarze zwanego centrum zakłócenia „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$X_{V_{CKNiISSR}}$	Współczynnik określający stosunek prędkości centrum do prędkości obrzeża dla zakłócenia pt. „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$V_{OKNiISSR}$	Prędkość przejazdu w obszarze obrzeża zakłócenia pt. „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$\mu_{V_{OKNiISSR}}$	Średnia prędkość przejazdu w obszarze obrzeża zakłócenia pt. „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$\sigma_{V_{OKNiISSR}}$	Odchylenie prędkości przejazdu w obszarze obrzeża zakłócenia pt. „katastrofy naturalne lub inne sytuacje spowalniające ruch”
$T_{MTBF_{SI}}$	Średni czas pomiędzy wystąpieniem kolejnych awarii systemu informatycznego
$T_{MTTR_{SI}}$	Średni czas potrzebny na naprawę awarii systemu informatycznego
$P_{zakł_{ZD}}$	Prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia pt. „zdarzenie drogowe”

³ Tak jak w przypadku zakłócenia „trudne warunki pogodowe”

1. Przesłanki podjęcia tematu pracy

1.1. Uzasadnienie podjęcia tematu badań

Procesy logistyczne pełnią bardzo ważną rolę w działalności każdego przedsiębiorstwa. Przywołując definicję Krawczyka (2001, s. 42) proces logistyczny to „proces, w którym rozmieszczenie, stan, przepływy jego składowych, czyli ludzi, dóbr materialnych, informacji i środków finansowych, wymagają koordynacji z innymi procesami, ze względu na kryteria lokalizacji, czasu, kosztów i efektywności spełniania pożądanych celów organizacji”. Trudno wyobrazić sobie prawidłowo funkcjonujące przedsiębiorstwo, które ma problemy z przepływem dóbr materialnych lub osób. Przykładowo – przedsiębiorstwo produkcyjne w sytuacji nieotrzymania surowców zgodnie z harmonogramem, nie jest w stanie realizować według założeń swojego głównego celu, czyli wytwarzania dóbr. Żadna organizacja nie może funkcjonować bez pracowników – już nawet kilkunastominutowe spóźnienie osoby do pracy może wywołać szereg następstw (co najlepiej widoczne jest na przykładzie linii montażowej – spóźnienie się pracownika do pracy oznacza opóźnienie całego procesu montażu). Ważne są więc kontrola i usprawnianie procesów logistycznych realizowanych w obszarze organizacji, a także wpływanie na poprawę procesów zewnętrznych, powiązanych z tą organizacją. Przez sprawną realizację procesów logistycznych w przedsiębiorstwie możliwe jest spełnienie oczekiwań klientów (zarówno dotyczących otrzymania wyrobu gotowego jak i realizacji zaoferowanej usługi).

Realizacja każdego procesu, w tym procesu logistycznego, związana jest z występowaniem zdarzeń, które mogą mieć niekorzystny wpływ na jego skuteczność i efektywność. Te niekorzystne zdarzenia w literaturze nazywane są zakłóceniami. Zakłócenia procesów logistycznych są głównym obszarem badań prezentowanych w pracy. Skupiono się na typach występujących zakłóceń i ich wpływie na realizowany proces, a także na możliwościach odwzorowania ich za pomocą modelowania symulacyjnego. Analiza literatury umożliwiła znalezienie luki badawczej, dotyczącej sposobu modelowania określonego zakłócenia oraz jego wpływu na realizację procesu logistycznego, w szczególności na czas i związany z nim koszt realizacji. Dlatego też postanowiono opracować metodykę modelowania zakłóceń procesów logistycznych, ze szczególnym uwzględnieniem zakłóceń występujących podczas realizacji procesów w punkcie załadunkowym, rozładunkowym oraz na trasie przejazdu z jednego punktu do drugiego.

Interesująca jest również odpowiedź na pytanie: czy znając termin rozładunku, zdefiniowany jako przedział czasowy $Ra_o \in (Ra'; Ra)$, możliwe jest określenie terminu załadunku Z_o , który zagwarantuje z zadaniem prawdopodobieństwem Pd , dostawę w oczekiwanym terminie Ra_o . Podczas modelowania symulacyjnego procesów logistycznych postanowiono podjąć próbę odpowiedzi na postawione pytanie.

1.2. Cel pracy

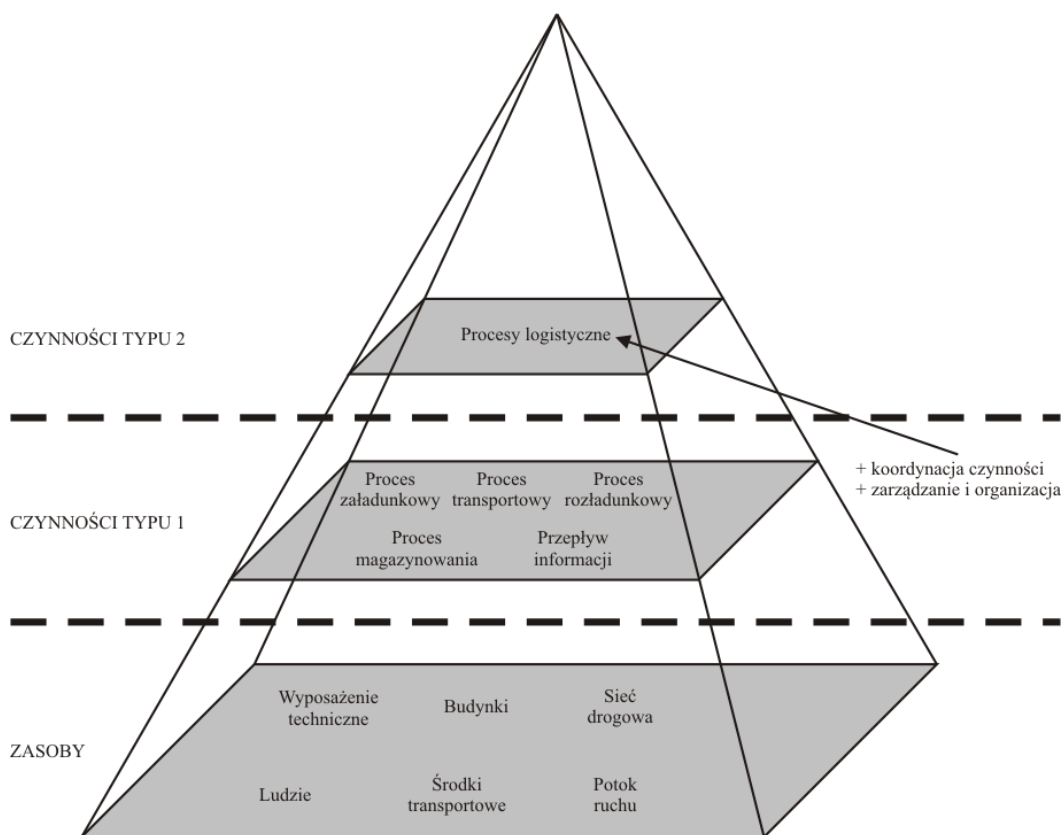
Celem niniejszej pracy jest opracowanie metodyki modelowania zakłóceń procesów logistycznych. Zakres pracy dotyczy procesów logistycznych, natomiast obiektem badań są działania realizowane w trzech obszarach:

- w punkcie załadunku,
- w punkcie rozładunku,
- podczas realizacji procesu transportowego pomiędzy punktem załadunku i rozładunku.

Analizę powyższych obszarów przeprowadzono z perspektywy trzech poziomów (rys. 1.2.1):

- poziomu zasobów, który reprezentuje elementy stałe i ruchome niezbędne do realizacji czynności typu pierwszego oraz drugiego;
- poziomu czynności typu pierwszego, który reprezentuje procesy realizowane w poszczególnych obszarach (w miejscu załadunku, rozładunku, na trasie przejazdu) z uwzględnieniem przepływu informacji; większość z tych procesów realizowana jest w sposób powtarzalny (cykliczny);
- poziomu czynności typu drugiego, który reprezentuje procesy logistyczne; czynności typu drugiego uwzględniają czynności typu pierwszego wraz z zachodzącymi między nimi relacjami, a także czynnik zarządzania, organizacji i koordynacji procesów.

Dla każdej zaprezentowanej na rysunku 1.2.1 czynności typu pierwszego (z wyjątkiem przepływu informacji) wyróżnić można system transportowy w skład, którego wchodzi określone zasoby (np. środki transportowe, infrastruktura). Agregując elementy z poziomu zasobów z elementami z poziomu czynności typu pierwszego budować możemy różne systemy transportowe.

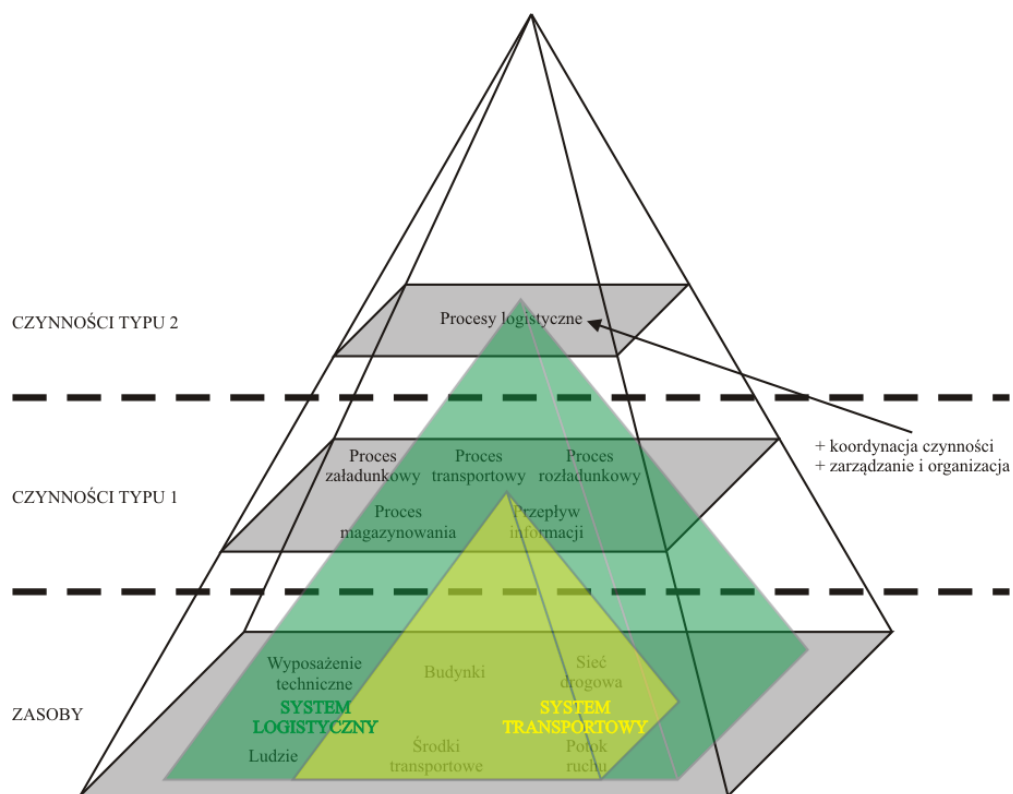


Rys. 1.2.1. Trzypoziomowy model analizy procesów

Źródło: opracowanie własne

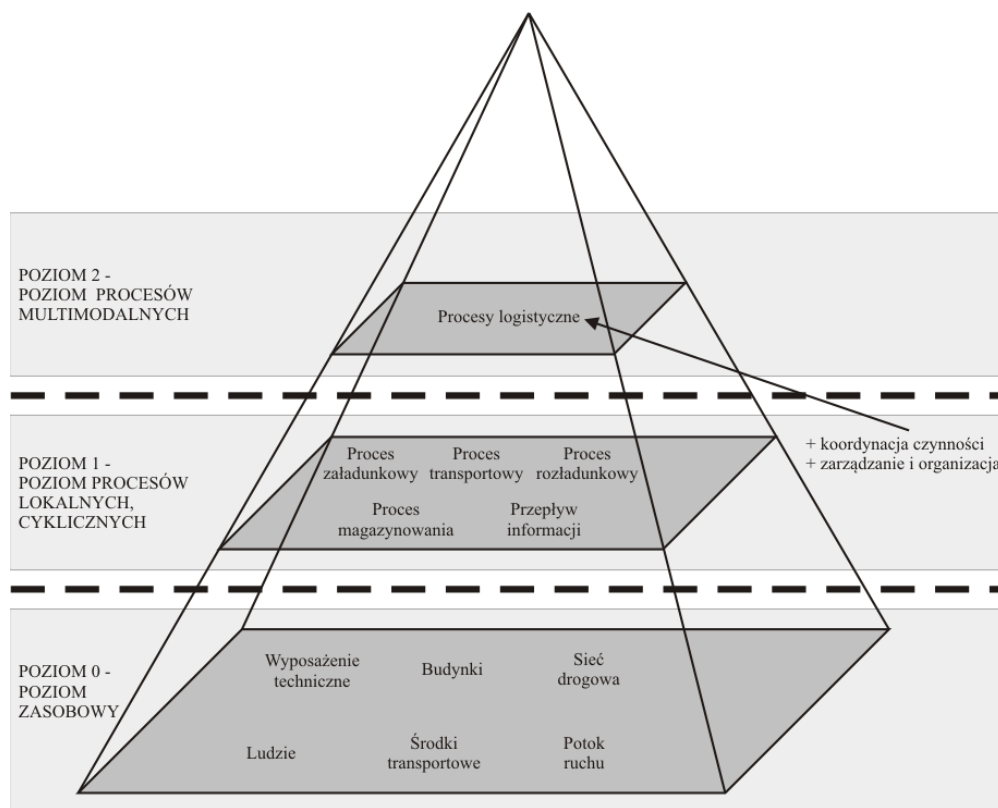
Rozważając dodatkowo zależności pomiędzy zdefiniowanymi procesami na poziomie czynności typu pierwszego z uwzględnieniem procesów zarządzania, organizacji i koordynacji tych czynności, zdefiniować można system logistyczny (rys. 1.2.2). Powołując się na Twaroga (2016, s. 30) „system logistyczny to celowo zorganizowany i zintegrowany w ramach danego układu gospodarczego przepływ materialny i połączony z nim przepływ informacji”.

Zgodnie z tematyką rozprawy, przedmiotem rozważań jest proces logistyczny uwzględniający realizowane procesy w trzech wymienionych obszarach badań. Analizę tych procesów przeprowadzono wykorzystując tzw. podejście 4-ro poziomowe. Na rysunku 1.2.3 zaprezentowano trzy z czterech poziomów dla przedstawionego obszaru analizy. Wyróżniony na rysunku 1.2.1 poziom zasobów odpowiada poziomowi 0 w 4-ro poziomowej analizie, poziom czynności typu pierwszego to poziom procesów lokalnych, cyklicznych, natomiast poziom czynności typu drugiego to poziom procesów multimodalnych. Ze względu na zakres pracy, przeprowadzona analiza nie obejmuje poziomu biznesowego (najwyższy poziom w podejściu 4-ro poziomowym).



Rys. 1.2.2. Zakres systemu transportowego vs systemu logistycznego

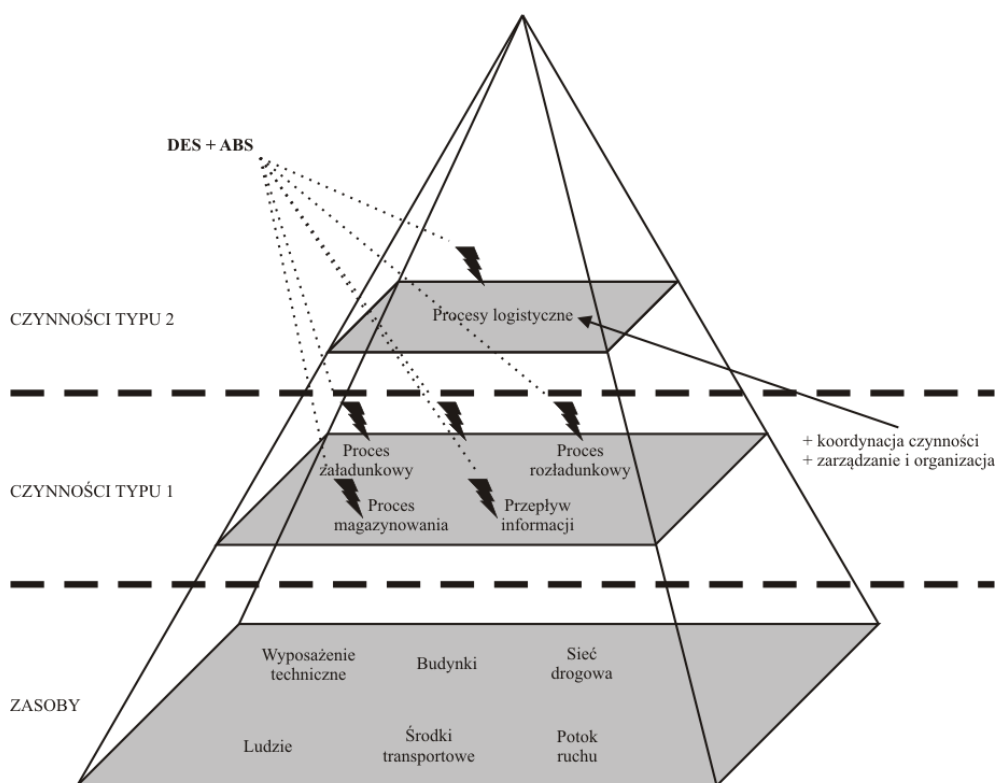
Źródło: opracowanie własne



Rys. 1.2.3. Analizowany obszar badań w skróconym ujęciu 4-ro poziomowym


Źródło: opracowanie własne

Jak wspomniano wcześniej, zidentyfikowana została luka badawcza, dotycząca występowania zakłóceń w realizacji procesów logistycznych. W literaturze odnaleźć można artykuły poświęcone wybranym zakłóceniom i ich wpływowi na procesy logistyczne. Jednak opisy te są dość ogólne, w głównej mierze wykorzystywane do analizy ryzyka funkcjonowania przedsiębiorstwa. Brak jest jednak szczegółowego opisu dotyczącego sposobu modelowania i przewidywania występowania danego zakłócenia oraz jego wpływu na realizację procesu logistycznego, na czas i związany z nim koszt realizacji. Dlatego też postanowiono opracować metodykę modelowania zakłóceń procesów logistycznych, ze szczególnym uwzględnieniem zakłóceń występujących podczas realizacji procesów w punkcie załadunkowym, rozładunkowym oraz na trasie przejazdu z jednego punktu do drugiego. Dla zdefiniowanych zakłóceń przedstawiono teoretyczny sposób ich modelowania, a dla przykładowych opisano również praktyczny sposób ich modelowania. Dodatkowo w celu zaprezentowania wpływu danego zakłócenia na realizację procesu logistycznego został zbudowany model symulacyjny reprezentujący przykładowy proces logistyczny (obejmujący trasę transportową, punkt załadunku oraz rozładunku), z uwzględnieniem występowania wybranych zakłóceń.



Rys. 1.2.4. Miejsca występowania zakłóceń analizowanych w rozprawie wraz z określeniem metody ich modelowania

Źródło: opracowanie własne

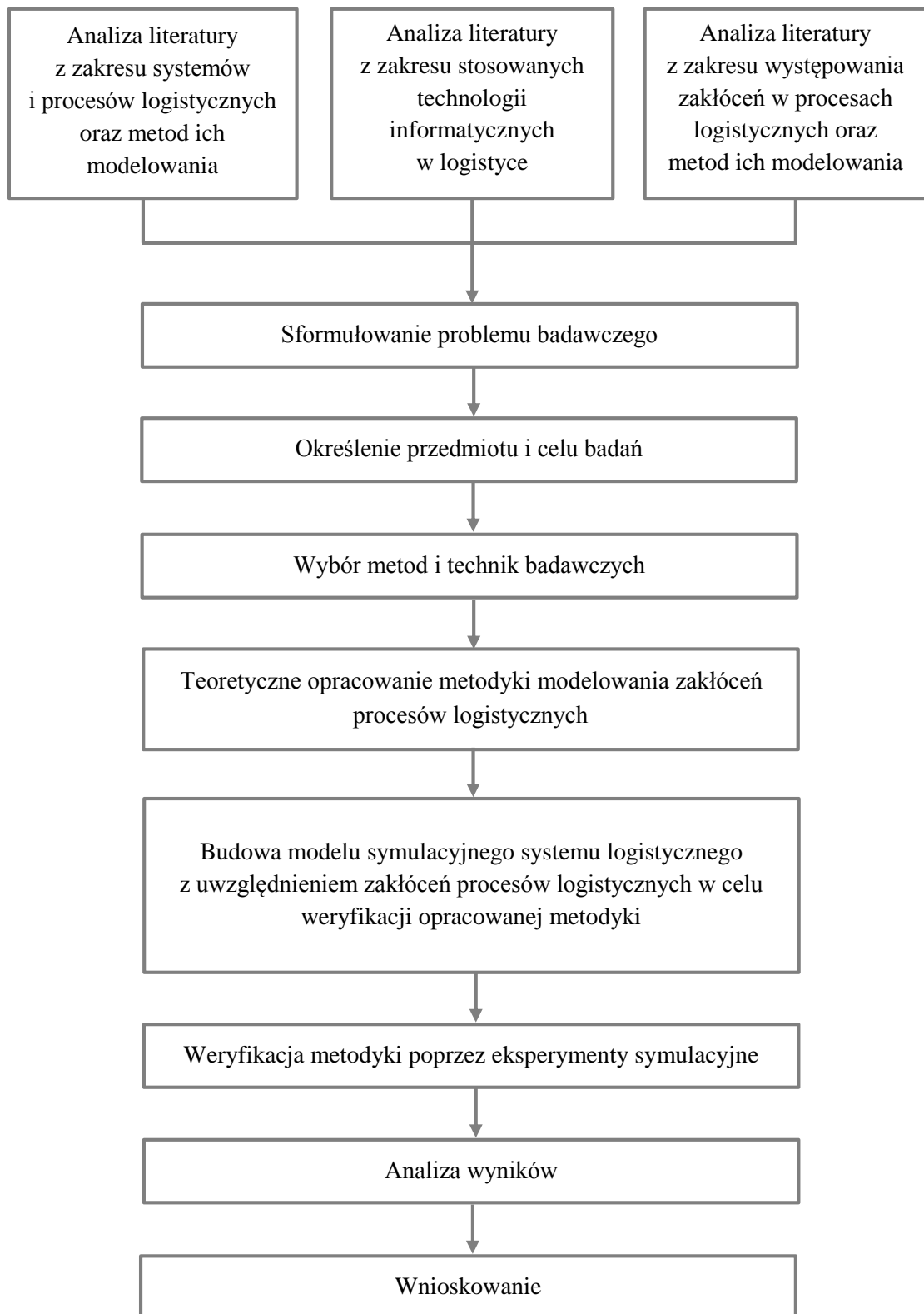
Na rysunku 1.2.4 przedstawiono potencjalne miejsca występowania zakłóceń poddanych analizie w ramach niniejszej rozprawy wraz z wskazaniem metod ich modelowania. Za pomocą symbolu  oznaczono miejsca występowania analizowanych zakłóceń. Procesy modelowane będą w sposób dyskretny (DES). Natomiast zakłócenia modelowane będą z wykorzystaniem modelowania dyskretnego (DES) oraz agentowego (ABS).

1.3. Proponowana metodologia badań

Metodologia, w sensie ogólnym, to zespół lub spójna całość metod i technik (instrumentów) w określonej dziedzinie wiedzy do badań (Bazewicz, 1995, s. 23). Metodologia badań to logiczny model wnioskowania, który pozwala badaczowi prezentować powiązania pomiędzy zmiennymi objętymi danym badaniem. Opracowywane rozwiązanie w ramach metodologii badań nie może dotyczyć jednego studium przypadku. Rozwiązanie to powinno być przekładalne na większą populację (jednak z zachowaniem obszaru badań, którego dotyczyło) lub możliwe do zastosowania w innych warunkach (np. modelowanie zakłóceń w transporcie zewnętrznym jak i wewnętrznym) (Yin, 1994, s. XVII – XIX). Celem metodologii badań jest opis i analiza nie obiektu czy produktu, ale samego procesu badania naukowego, aby zbadać możliwości i ograniczenia poszczególnych technik dla wyjawienia ukrytych założeń i ich konsekwencji epistemologicznych, zasugerować wytłumaczenia sukcesów i porażek, rozwinąć i testować uogólnienia naukowych procedur (Cempel, 2003a, s. 21-22).

Podstawowym celem niniejszej rozprawy jest opracowanie metodyki modelowania zakłóceń procesów logistycznych. Metodyka to „zbiór zasad dotyczących sposobów wykonywania jakiejś pracy lub trybu postępowania prowadzącego do określonego celu” (Słownik języka polskiego, 1982, s. 144). Opracowana metodyka modelowania zakłóceń procesów logistycznych ma posłużyć do budowy zakłóceń procesów logistycznych z zastosowaniem oprogramowania symulacyjnego, w celu pokazania ich wpływu na analizowany proces. Poprzez modelowanie procesów logistycznych z uwzględnieniem zakłóceń możliwe jest sprawniejsze zarządzanie analizowanym procesem, dzięki przewidywaniu możliwych skutków wystąpienia określonego zakłócenia. Weryfikację metodyki modelowania zakłóceń procesów logistycznych przeprowadzono na modelu symulacyjnym odwzorowującym proces logistyczny uwzględniający trzy wymienione już wcześniej obszary badań.

W ramach niniejszej rozprawy przyjęto następującą koncepcję badań (rys. 1.3.1):



Rys. 1.3.1. Przyjęta koncepcja badań

Źródło: opracowanie własne

Na potrzeby niniejszej pracy skorzystano z różnych metod i technik badawczych. Metoda badawcza rozumiana jest jako „konkretny sposób postępowania w określonej sytuacji problemowej w stosunku do sformułowanego problemu badawczego” (Apanowicz, 2005, s. 55). Zaś techniki badawcze to „czynności postępowania przeznaczone do specjalnego celu, elementu lub okresu. Są to szczegółowe czynności wykonywania różnych badań cząstkowych” (Apanowicz, 2005, s. 57). W niniejszej rozprawie zastosowano następujące metody badawcze:

- metodę analizy i syntezy piśmiennictwa;
- metodę monograficzną,
- metodę obserwacji,
- metodę statystyczną,
- metodę symulacji komputerowej,
- metodę eksperymentalną,

oraz następujące techniki badawcze:

- obserwacja,
- modelowanie komputerowe.

Korzystając z wymienionych technik i metod opracowana została metodyka modelowania zakłóceń procesów logistycznych.

Część I – rozważania teoretyczne

2. Terminologia związana z tematem pracy

2.1. Wprowadzenie

Rozdział ten zawiera definicje podstawowych pojęć powiązanych z tematyką rozprawy. Opisano metodę analizy procesów w ujęciu 4-ro poziomowym, która stosowana jest w części empirycznej do analizy modeli organizacji zadań transportowych.

W dalszej części rozdziału zdefiniowano kluczowe dla rozprawy pojęcie zakłócenia. Ponadto przedstawiono przegląd literaturowy dotyczący zakłóceń procesów logistycznych oraz przeprowadzono ich klasyfikację ze względu na podmiot odpowiedzialny za ich wystąpienie oraz przedmiot, którego dotyczą. Określono potencjalne skutki wystąpienia zdarzenia niepożądanego i wstępnie zdefiniowano sposób ich modelowania. Zakłócenia zdefiniowane w tym rozdziale są danym wejściowymi do drugiej części rozprawy – praktycznej, polegającej na opracowaniu i przedstawieniu metodyki ich modelowania.

2.2. System logistyczny

Pojęcie „system” wywodzi się z języka greckiego (*systema*) i oznacza rzecz złożoną. Jest pojęciem posiadającym wiele znaczeń – w zależności od nauki, której dotyczy ma inne znaczenie. Inne znaczenie będzie miał system informatyczny, inne odpornościowy, inne polityczny, a jeszcze inne produkcyjny czy też logistyczny. Definicje systemu w ogólnym ujęciu zestawiono w tabeli 2.2.1.

Tab. 2.2.1. System – definicje

Lp.	Autor/Źródło	Definicja
1.	Bertalanffy von (1984)	Obiekt fizyczny lub abstrakcyjny, w którym można wyodrębnić zespół lub zespoły elementów wzajemnie powiązanych w układy, realizujących jako całość funkcję nadrzędną lub zbiór takich funkcji.
2.	Cempel (2003b)	„(...) system – S zdefiniujemy jako zbiór (zespół, kompleks) współdziałających ze sobą elementów – E , stanowiący celowo zorientowaną jedną całość . $S = B(E, A, R)$, $E = \{E_1, \dots, E_n\}$, $A = \{A_1, \dots, A_m\}$, $R = \{R_1, \dots, R_r\}$, gdzie: E to zbiór elementów systemu, A – zbiór atrybutów (właściwości), R – zbiór relacji między elementami i atrybutami.”

Lp.	Autor/Źródło	Definicja
3.	Gordon (1974)	System „to zbiór obiektów powiązanych określonymi wzajemnymi zależnościami lub oddziaływaniami.”
4.	Jacyna (2009a)	System „oznacza pewną funkcjonalną całość, składającą się z takiej liczby elementów pozostających ze sobą w ściśle ustalonych powiązaniach (relacjach), która jest niezbędna do tego, by całość pełniła przypisane jej funkcje. (...) System jest (...) odwzorowaniem właściwości elementów obiektu i powiązań między nimi (właściwościami elementów) ze względu na zdefiniowany cel badań.”
5.	Powierża (1997)	„System to funkcjonalna całość, złożona ze zbioru elementów i zbioru relacji systemotwórczych.” $S = \langle A, R \rangle$ gdzie: S – system, A – zbiór elementów, R – zbiór relacji systemotwórczych między elementami.
6.	Sadowski (1978)	„(...) przez system w pierwszym przybliżeniu rozumie się zbiór wzajemnie powiązanych elementów występujących jako określona całość. Idea lub zasada systemowości dopuszcza możliwość badania dużej klasy obiektów jako systemów. Akcent w takim badaniu zostaje położony na ujawnienie różnorodności sprzężeń i relacji zachodzących zarówno wewnątrz badanego obiektu, jak i jego wzajemnych relacji z otoczeniem.”

Źródło: (Bertalanffy von, 1984; Cempel, 2003b; Gordon, 1974, s. 17; Jacyna, 2009a, s.17; Powierża, 1997, s. 23-24; Sadowski, 1978, s. 26-27)

W niniejszej pracy, system definiowany jest, jako obiekt wyodrębniony z rzeczywistości, dla którego określone są właściwości oraz powiązania (relacje), zgodnie z przyjętym celem badań. Obiekty znajdujące się poza obszarem zdefiniowanego systemu tworzą jego otoczenie. Pomiędzy system a otoczeniem zachodzą relacje, które należy sprecyzować podczas definiowania systemu. Dla tego samego obiektu możliwe jest określenie różnych systemów, w zależności od przyjętego celu badań. Przykładowo dla obiektu rzeczywistego – przedsiębiorstwa transportowego, wyróżniony zostanie inny system w celu analizy obsługi transportowej, a inny w sytuacji analizy dostępnego taboru w przedsiębiorstwie. W zależności od celu badań uwzględniane będą inne właściwości oraz powiązania pomiędzy elementami a głównym obiektem.

Według Jacyny (2009b, s. 12-14) najważniejszymi właściwościami systemu są:

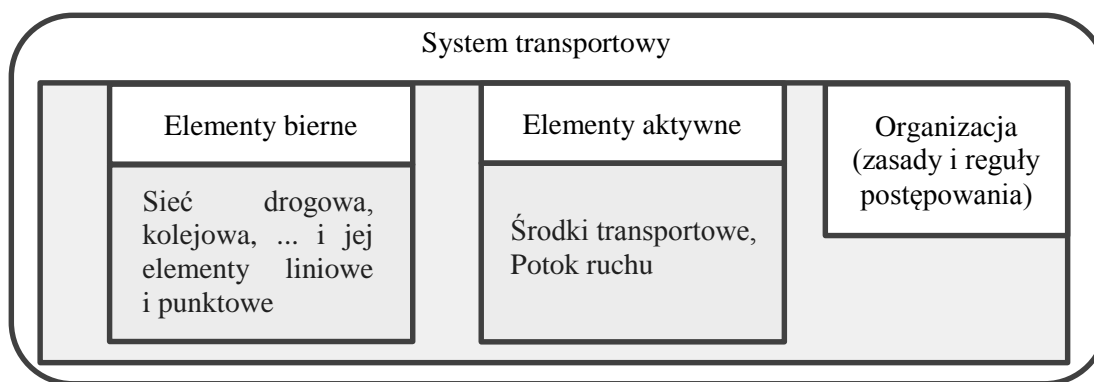
- 1) Kompleksowość – niezależnie od wielkości system stanowi pewną całość o określonych sposobach zachowania i relacjach pomiędzy elementami systemu.
- 2) Dekomponowalność – każdy system może być zdekompowany na mniejsze elementy (podsystemy), które są ze sobą ściśle powiązane; w sytuacji rozbicia systemu na podsystemy – jeden z nich określany jest, jako główny element analizy, natomiast pozostałe są traktowane, jako jego otoczenie.
- 3) Odosobnienie – element wchodzi w skład albo rozpatrywanego systemu albo jego otoczenia, nie może przynależeć jednocześnie do obu miejsc; przy czym istnieją relacje i zależności pomiędzy systemem a otoczeniem.
- 4) Identyfikowalność – każdy z elementów systemu i otoczenia jest rozróżniany, możliwa jest myślowa klasyfikacja i charakteryzacja każdego elementu.
- 5) Różnorodność w jedności – każdy element systemu może posiadać własne stany i sposób zachowania się, które mogą być inne od stanów i sposobów zachowania się innych elementów systemu, jednak w ogólnej całości funkcjonują one razem.
- 6) Odwzorowywalność – osoba budująca model systemu musi posiadać określoną wiedzę o systemie, tak by odwzorować go w sposób wystarczający do sformułowania i rozwiązania zadania; odwzorowanie rzeczywistości nigdy nie jest idealne – model jest zawsze uproszczeniem rzeczywistości.
- 7) Nieokreśloność – należy zdawać sobie sprawę z tego, iż obserwator obiektów/systemu nie jest w stanie określić wszystkich jego właściwości i relacji.
- 8) Niezawodność – jest to zdolność do wykazania w zdefiniowanych warunkach brzegowych w modelu, określonego sposobu zachowania się systemu dla przyjętych założeń. Miarą niezawodności systemu jest jego prawidłowe funkcjonowanie w pewnym okresie czasu.
- 9) Adaptacyjność – system reaguje na zmiany swojego stanu, a także zmiany stanów otoczenia. Jeżeli system potrafi utrzymać zmienne istotne (zależy od nich działanie systemu) w założonym przedziale to można go określić adaptacyjnym.
- 10) Współzależność – istnieje zależność pomiędzy elementami systemu, zmiana stanu jednego z nich wywołuje zmiany (reakcje) w innych elementach.

Z punktu widzenia tematu i zakresu niniejszej pracy istotne są dwa pojęcia: system logistyczny oraz system transportowy. Systemy te posiadają wspólny obszar, jednakże system logistyczny jest elementem nadrzędnym w stosunku do systemu transportowego. W tej sytuacji system transportowy należy potraktować, jako podsystem systemu logistycznego⁴. System transportowy pełni rolę usługową dla systemu logistycznego – to system logistyczny wyznacza zadania systemowi transportowemu i współdecyduje o jego efektywności. Jednak system logistyczny nie jest w stanie prawidłowo funkcjonować bez systemu transportowego (nie zostanie zrealizowany wtedy główny cel logistyki: przepływ dóbr materialnych lub osób) (Jacyna i in., 2014, s. 17-19). W niniejszej pracy system logistyczny zdefiniowano jako „celowo zorganizowany i zintegrowany w ramach danego układu gospodarczego przepływ materialny i połączony z nim przepływ informacji” (Twaróg, 2016, s. 30).

Natomiast system transportowy odpowiada za przemieszczanie w czasoprzestrzeni ludzi, ładunków i wiadomości. (Merkisz i in., s. 509-510). W skład systemu transportowego wchodzi (Merkisz i in., s. 509-510; Jacyna, 2009b, s. 26 i s. 42):

- elementy aktywne – tj.: potok ruchu oraz środki transportowe,
- elementy bierne – tj.: sieć drogowa, kolejowa, itd., oraz jej elementy liniowe i punktowe (np. punkt przeładunkowy),
- zasady i reguły odpowiedzialne za przemieszczanie osób i ładunków z punktów początkowych (nadania), poprzez ewentualne punkty przeładunkowe, do punktów końcowych (odbioru) – tzw. organizacja.

Elementy wchodzące w skład systemu transportowego przedstawiono na rysunku 2.2.1.



Rys. 2.2.1. Elementy systemu transportowego

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Jacyna, 2009b, s. 26 i s. 42)

⁴ W dalszej części rozprawy podsystem transportowy traktowany jest jako system. Wynika to z faktu, iż traktowany jest on jako wyodrębniony system, z określonymi elementami oraz zachodzącymi między nimi relacjami.

Elementy przepływające przez system (tzw. potok ruchu) uznano za element aktywny, ponieważ charakteryzują się zmiennością w czasie (zarówno zmienna jest ich ilość jak i lokalizacja). Aby można było mówić o jakimkolwiek przepływie materiałów w systemie niezbędna jest organizacja realizowanych procesów, dlatego też element ten został uwzględniony jako składowa systemu.

2.3. Proces logistyczny

W ramach wyodrębnionego systemu realizowane są określone procesy. Z punktu widzenia niniejszej pracy w ramach systemu logistycznego uwzględniane są procesy realizowane w punkcie załadunku i rozładunku oraz proces transportu ładunku pomiędzy tymi punktami. W literaturze odnaleźć można różne interpretacje pojęcia procesu. Tabela 2.3.1 przedstawia przykładowe definicje tego terminu.

Tab. 2.3.1. Proces – definicje

Lp.	Autor/Źródło	Definicja
1.	Hammer (s. 15)	Powiązana grupa zadań, których wspólny rezultat stanowi wartość dla klienta
2.	Hamrol, Mantura (s. 119)	Występujący w czasie ciąg zdarzeń, któremu podlega określony obiekt
3.	Powierża (s. 34)	Sekwencja wzajemnie powiązanych stanów fragmentu rzeczywistości występujących po sobie w czasie $P(t) = \langle S(t), R(t) \rangle$, $S(t) = \{S_k(t); k = 1, K\}$ gdzie: $S(t_i)$ – stan systemu w chwili t_i , $S_k(t_i)$ – wartość chwilowa zmiennej S_k , $R(t)$ – relacje między $S(t_i)$ a $S(t_{i-1})$
4.	Pszczółowski (s. 185)	Fragment toku zdarzeń, powiązanych przyczynowo
5.	Norma ISO 9000:2015 (s. 33)	Zbiór działań wzajemnie powiązanych lub wzajemnie oddziałujących, które przekształcają wejścia w wyjścia.

Źródło: (Jasiulewicz-Kaczmarek, 2005, s. 28)

W niniejszej pracy jako obowiązującą definicję procesu przyjęto definicję przedstawioną w normie ISO 9000:2015. Nawiązując do tematu rozprawy niezbędne jest określenie definicji procesu logistycznego. Według Fijałkowskiego (2003, s. 168) „proces logistyczny obejmuje przemieszczanie, manipulowanie, transport i składowanie „obiektów”, tj. materiałów, informacji i energii. W ramach tego procesu obiekty są przekształcane ze swego stanu początkowego w stan końcowy, przy czym co najmniej jeden z elementów, takich jak czas, miejsce, liczba i artykuł zmienia się w taki sposób,

że nie wywołuje to niepożądanych zmian cech obiektów”. Natomiast Krawczyk definiując proces logistyczny dodatkowo podkreśla ważność skoordynowania wykonywanych procesów z pozostałymi procesami. Jego zdaniem proces logistyczny to (Krawczyk, 2001, s. 42): „proces, w którym rozmieszczenie, stan, przepływy jego składowych, czyli ludzi, dóbr materialnych, informacji i środków finansowych, wymagają koordynacji z innymi procesami, ze względu na kryteria lokalizacji, czasu, kosztów i efektywności spełniania pożądanych celów organizacji”. W pracy za obowiązującą definicję procesu logistycznego przyjęto definicję Krawczyka.

Realizowane procesy w ramach wyodrębnionego systemu wpływają na jego prawidłowe i sprawne funkcjonowanie. Dlatego też poddawane są analizie, w celu określenia możliwych do wprowadzenia zmian i usprawnień. W ramach niniejszej rozprawy do analizy procesów logistycznych postanowiono skorzystać z podejścia 4-ro poziomowego. Pozwala ono na analizowanie procesów z różnych perspektyw – od spojrzenia ogólnego (biznesowego), po operacje jednostkowe wykonywane na poszczególnych stanowiskach przez określone podmioty. Zestawienie wszystkich poziomów na jednym schemacie ułatwia analizę zależności pomiędzy różnymi poziomami, a także wpływ poszczególnych zmian na realizację głównego procesu.

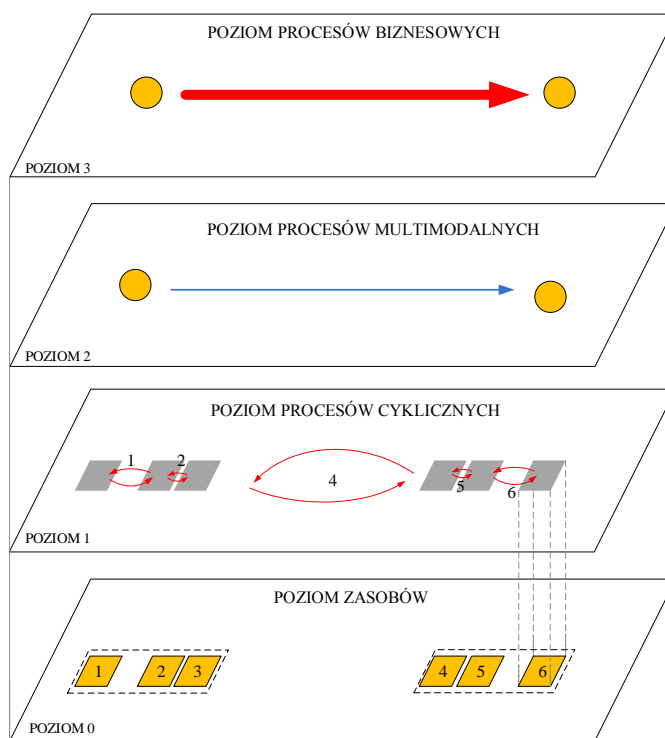
W podejściu 4-ro poziomowym definiowane są następujące warstwy (Pawlewski, 2013a, s. 2110-2115):

- Warstwa 3 – poziom procesów biznesowych – przedstawia główny proces realizowany w ramach prowadzonej analizy.
- Warstwa 2 – poziom procesów multimodalnych – prezentuje procesy multimodalne, które wchodzi w skład procesu głównego. Procesy multimodalne to procesy złożone z procesów cyklicznych (lub ich części), wykonywanych na tym samym obiekcie przez ten sam środek transportowy. W sytuacji zmiany opakowania (przepakowania) lub zmiany środka transportowego mamy do czynienia z nowym procesem multimodalnym.
- Warstwa 1 – poziom procesów cyklicznych – przedstawia procesy wykonywane przez ten sam zasób (np. pracownika, wózek widłowy, środek transportowy) w określonym miejscu, często wykonywane są powtarzalnie (cyklicznie). Realizacja procesów cyklicznych ma bezpośredni wpływ na proces multimodalny. Na tym poziomie poza procesami cyklicznymi należałoby uwzględnić również procesy lokalne, rozumiane jako procesy powtarzalne, dla których realizacja całego cyklu przerwana jest przez inne czynności. Procesy

te nie są realizowane w typowym ujęciu (idź – zrób – wróć), tylko wykonywany jest pewien proces, który powtarzany jest dopiero po zrealizowaniu szeregu innych procesów przez odrębny podmiot (idź – czekaj, inny podmiot realizuje procesy związane z elementem analiz [czynność A – czynność B – ...] – wróć). Przykłady procesów lokalnych przedstawiono w rozdziale 4.3 podczas analizy modeli organizacji zadań transportowych za pomocą podejścia 4-ro poziomowego.

- Warstwa 0 – poziom zasobów – określa niezbędne zasoby fizyczne i osobowe do realizacji analizowanych procesów cyklicznych i multimodalnych.

Analizując procesy za pomocą podejścia 4-ro poziomowego w efekcie końcowym uzyskuje się schemat, na którym prezentowane są wszystkie analizowane warstwy (rys. 2.3.1).



Rys. 2.3.1. Schemat 4-ro poziomowego podejścia do analizy procesów
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Pawlewski, 2013a, s. 2110-2115)

Przedstawienie za pomocą 4-ro poziomowego podejścia, informacji o procesach umożliwia wizualizację zależności pomiędzy poszczególnymi warstwami. Pozwala to na identyfikację zależności zachodzących nie tylko w obrębie sąsiadujących procesów, lecz także ich wpływu na znajdujące się na poziomie wyższym i niższym procesy. Ponadto możliwe jest zaobserwowanie procesów niedodających wartości z punktu widzenia przedsiębiorstwa, np. powrót środka transportowego z miejsca

rozładunku (klienta) do bazy przedsiębiorstwa. W zależności od przyjętego poziomu szczegółowości informacje przedstawione na schemacie dla podejścia 4-ro poziomowego będą się różnić. Przykładowo analizując transport produktu z punktu A do B można skupić się tylko na analizie zasobów ogólnych – środek transportowy, miejsce nadania, miejsce rozładunku, infrastruktura drogowa. Natomiast analizując bardziej szczegółowo – można rozbudować miejsce nadania i rozładunku – i przedstawić wykonywane podstawowe czynności, związane bezpośrednio z realizacją zlecenia transportowego, np. załadunek z miejsca odkładczego przy rampie na naczepę samochodu ciężarowego czy też rozładunek z naczepy na tymczasowe miejsce składowania.

Procesy poddawane są również ocenie, która ma za zadanie określenie ich skuteczności w odniesieniu do przyjętego celu badań. W celu oceny procesu należy zdefiniować mierniki wraz z ich atrybutami (formułą miernika, procedurą obliczania, źródłem pozyskiwania danych). W ogólnym ujęciu wyróżnia się mierniki (Słowiński, 2010, s. 70):

- zasileń (charakteryzują informacje i zasoby wejściowe),
- zasobów (opisują zużycie zasobów w trakcie realizacji procesu),
- rezultatów (podają informacje o efektach końcowych).

Zestawienie i szczegółowy opis mierników i wskaźników logistycznych przedstawiono w książce Mierniki i wskaźniki logistyczne (Twaróg, 2005).

Na potrzeby niniejszej pracy zdefiniowano trzy grupy mierników służących do oceny procesów logistycznych:

- 1) mierniki służące ocenie procesu logistycznego pod względem czasu,
- 2) mierniki służące ocenie procesu logistycznego pod względem kosztu,
- 3) mierniki służące ocenie procesu logistycznego pod względem aspektu zanieczyszczania środowiska.

W grupie pierwszej mierzony jest czas realizacji dla trzech procesów:

- 1) Realizowanych w punkcie załadunku – czas ten obejmuje czynność pobrania palety z ładunkiem z miejsca składowania w magazynie, dostarczenie i rozładowanie jej w miejscu tymczasowego składowania przy rampie załadunkowej, a następnie ponowne pobranie, przetransportowanie i rozładowanie na naczepie samochodu ciężarowego. Czynności te powtarzane są tyle razy ile jest przypisanych palet do danego zlecenia. Przyjęta jednostka dla tego miernika to [h].

- 2) Realizowanych w punkcie rozładunku – czas ten obejmuje czynność pobrania palety z ładunkiem z naczepy samochodu ciężarowego, przetransportowanie jej i rozładowanie w miejscu tymczasowego składowania znajdującego się przy rampie, a następnie pobrania palety z ładunkiem, przetransportowanie i rozładowanie w miejscu składowania w magazynie. Przyjęta jednostka dla tego miernika to [h].
- 3) Transportu ładunku z miejsca załadunku do miejsca rozładunku. Przyjęta jednostka dla tego miernika to [h].

Ogólny wzór stosowany do obliczenia każdego z opisanych czasów jest następujący:

$$T_{PROC_{PX}} = T_{ZAKproc_{PX}} - T_{ROZproc_{PX}} [h] \quad (2.3.1)$$

W grupie drugiej uwzględniane są dwa mierniki:

- 1) koszt przejazdu płatnymi odcinkami dróg, przyjęta jednostka dla tego miernika to [PLN],
- 2) koszt paliwa zużytego na przejazd określonego dystansu przez samochód ciężarowy obliczany jest zgodnie z wzorem:

$$TC_{FC} = C_{FC} * FC [PLN] \quad (2.3.2)$$

Ilość zużytego paliwa obliczana jest zgodnie z wzorem:

$$FC = \sum_{i=1}^n s_i * FC(v_i) [l] \quad (2.3.3)$$

Zużycie paliwa przez samochód ciężarowy zależy od prędkości poruszania się samochodu ciężarowego oraz pokonanego dystansu. Końcowa wartość jest sumą obliczonych wartości cząstkowych (dystans dzielony jest na odcinki, dla których obliczana jest wartość zużytego paliwa w zależności od prędkości poruszania się na tym odcinku). W zależności od prędkości poruszania się samochodu ciężarowego wartość zużywanego paliwa obliczana jest zgodnie z artykułem (Clark i in., 2009, s. 38). Obliczoną wartość spalania dla silnika wysokoprężnego stosowanego w ciężarówkach dla każdej całkowitej prędkości z przedziału <0 ; 80> km/h przedstawiono w załączniku nr 1. Dla miernika kosztu zużytego paliwa przyjęto jednostkę [PLN].

W trzeciej grupie uwzględniane są cztery mierniki:

- 1) ilość generowanego tlenu węgla, obliczana zgodnie z wzorem:

$$CO_{emisja} = s * CO_{emisja_{NEuro}} \left[\frac{g}{km} \right] \quad (2.3.4)$$

Przyjęta jednostka dla tego miernika to $\left[\frac{g}{km} \right]$.

2) ilość generowanych węglowodorów, obliczana zgodnie z wzorem:

$$HC_emisja = s * HC_emisja_{NEuro} \left[\frac{g}{km} \right] \quad (2.3.5)$$

Przyjęta jednostka dla tego miernika to $\left[\frac{g}{km} \right]$.

3) ilość generowanych tlenków azotu, obliczana zgodnie z wzorem:

$$NOx_emisja = s * NOx_emisja_{NEuro} \left[\frac{g}{km} \right] \quad (2.3.6)$$

Przyjęta jednostka dla tego miernika to $\left[\frac{g}{km} \right]$.

4) ilość generowanych cząsteczek stałych, obliczana zgodnie z wzorem:

$$PM_emisja = s * PM_emisja_{NEuro} \left[\frac{g}{km} \right] \quad (2.3.7)$$

Przyjęta jednostka dla tego miernika to $\left[\frac{g}{km} \right]$.

Ilość wygenerowanych emisji substancji szkodliwych (CO, HC, NOx, PM) zależy od przyjętej normy Euro dla samochodu ciężarowego oraz pokonanego dystansu (tab. 2.3.2).

Tab. 2.3.2. Przyjęte normy ilości generowanych spalin

Klasa emisji spalin	CO [g/km]	HC [g/km]	NOx [g/km]	PM [g/km]
Euro 1	3,16	0	0	0,14
Euro 2	1	0,15	0,55	0,08
Euro 3	0,64	0,06	0,5	0,05
Euro 4	0,5	0,05	0,25	0,009
Euro 5	0,5	0,05	0,18	0,005
Euro 6	0,5	0,09	0,08	0,005

Źródło: (<http://www.ngk.de/pl>, data dostępu: 15.10.2015), (<http://noxy.eu/pl/normy-technologie-scr>, data dostępu: 15.10.2015)

Zgodnie z obowiązującymi normami wraz ze wzrostem klasy emisji spalin (tzw. Normy Euro) maleją wartości generowanych substancji szkodliwych.

2.4. Zakłócenia w procesach logistycznych

Podczas realizacji procesów wystąpić mogą sytuacje wpływające na przebieg procesu, tzw. zakłócenia. Zakłócenie najogólniej określić można jako czynność nieplanowaną, niepożądaną, która zmienia przebieg danego procesu, a w szerszym ujęciu założony sposób funkcjonowania systemu. Według Słownika języka polskiego (1982, s. 914) „zakłócić to znaczy spowodować nieprawidłowość lub nieregularność”. Zakłócenie powszechnie traktowane jest jako synonim pojęć, tj.: incydent, wypadek, usterka, awaria, zagrożenie, zaburzenie. Inną definicję, bardziej nawiązującą do tematyki

pracy, zdefiniowano w Normie BS 25999 (2007): „zakłócenie to wydarzenie spodziewane bądź nie, powodujące niezaplanowane, negatywne odchylenia w procesach dostarczania produktów i usług prowadzonych zgodnie z celami organizacji”. Przegląd literaturowy definicji pojęcia zakłócenie przedstawiono w pracy Jasiulewicz-Kaczmarek i Bartkowiak (2016). Definicję przedstawioną w Normie BS 25999 (2007) przyjęto jako obowiązującą w niniejszej pracy. Na podstawie analizy literaturowej wyróżniono następujące kryteria podziału zakłóceń procesów logistycznych:

- 1) ze względu na ogniwo odpowiedzialne za zaistnienie zakłócenia (Kramarz, Kramarz, 2012, s. 436):
 - a. niezależnie od żadnej stron,
 - b. wynikające z winy przedsiębiorstwa bazowego,
 - c. wynikające z winy przewoźnika,
 - d. wynikające z winy dostawcy/podwykonawcy,
 - e. wynikające z winy odbiorcy,
- 2) ze względu na częstotliwość występowania (Marley, 2006, s.87-90) :
 - a. normalne (związane z codziennymi czynnościami realizowanymi przez przedsiębiorstwo):
 - i. awarie komunikacji,
 - ii. opóźnienia w transporcie,
 - iii. problemy lub błędy operacyjne,
 - iv. kwestie związane z awariami systemów informatycznych,
 - b. anormalne (niezwiązane z codziennymi czynnościami wykonywanymi przez przedsiębiorstwo):
 - i. terroryzm,
 - ii. negatywne działania zamierzone,
 - iii. katastrofy powstałe w wyniku złych warunków pogodowych,
- 3) ze względu na obszar funkcjonowania procesów logistycznych (Gaschi-Uciecha, 2015, s. 136-139):
 - a. w zaopatrzeniu,
 - b. w produkcji,
 - c. w dystrybucji,
 - d. w transporcie,
 - e. dla magazynowania,
 - f. oraz dla procesów wspomagających.

W tabeli 2.4.1 przedstawiono wybrane zakłócenia w zależności od obszarów funkcjonowania procesów logistycznych.

Tab. 2.4.1. Zakłócenia w procesach logistycznych przedsiębiorstwa produkcyjnego

Zakłócenia	
Zaopatrzenie	<ul style="list-style-type: none"> – błędna ocena jakości materiałów, – błędny wybór dostawców, – opóźnienia w terminach realizacji dostaw, – niedotrzymanie warunków umów przez przewoźników, operatorów logistycznych itp., – brak ścisłej współpracy z dostawcami, – brak ogólnej oceny wszystkich podstawowych dostawców, – zmienność cen materiałów, – niedotrzymanie przez dostawców norm technicznych, – nieterminowość dostaw, – zmiany warunków dostaw, – stosunki z kontrahentami, – nieodpowiednie dostawy materiałów pod względem ilości, jakości, czasu, miejsca oraz kosztów, – problemy z przepływem informacji, – kwalifikacje oraz doświadczenie pracowników, – zły system informatyczny, – niedobór pracowników,
Produkcja	<ul style="list-style-type: none"> – duże zapasy produkcyjne, – brak znajomości wszystkich wąskich gardeł w produkcji, – długie drogi przepływu materiałów oraz produktów, – awarie maszyn oraz urządzeń, – kwalifikacje oraz doświadczenie pracowników, – niedobór pracowników, – niezbilansowanie układu produkcyjnego, – niedobory czynników produkcji, – niedotrzymanie czasu realizacji zamówień, – wada w realizacji zamówienia, – nietrafne przewidywanie potrzeb klienta, – nieodpowiedni poziom świadczonych usług, – błąd w oszacowaniu opłacalności klienta, – błąd wyboru strategii zarządzania kanałami dystrybucji, – brak równowagi między oczekiwaniami klientów a możliwościami wszystkich ogniw łańcucha dostaw, – zmienność popytu, – niezrozumienie potrzeb rynku, – brak integracji z klientami,

Zakłócenia	
Dystrybucja	<ul style="list-style-type: none"> – brak lub niewystarczający przepływ informacji o popycie z punktów sprzedaży i od kluczowych klientów, – nieodpowiednie metody prognozowania, – siły konkurencyjne na rynku, – siła oddziaływania środków promocji oraz reklamy, – potencjał rynku, – inflacja, – substytucja produktów, – zmienność regulacji prawnych, – struktura i siła odbiorców, – kwalifikacje i doświadczenie pracowników, – niedobór pracowników, – niedotrzymanie czasu realizacji zamówień, – stosunki z kontrahentami, – nietrafienie w gusta pracowników, – spadek liczby zamówień.
Transport	<ul style="list-style-type: none"> – brak odpowiednich środków transportu, – uszkodzenia podczas transportu, – przestoje z powodu oczekiwania na środek transportu, – brak systemu organizacji przewozów wewnątrzzakładowych, – awarie samochodów, – czas pracy kierowców, – kwalifikacje oraz doświadczenie kierowców, – niedobór kierowców, – wypadki, – brak dostępnych kierowców.
Magazynowanie	<ul style="list-style-type: none"> – brak podziału magazynu na materiały szybkiej oraz wolnej rotacji, – nieodpowiednie zarządzanie gospodarką materiałową, – brak odpowiedniego oznakowania pól znakowania, – brak klasyfikacji materiałów, – występowanie braków materiałowych, – system kontroli jakości materiałów, – posiadanie zapasów zbędnych, – uszkodzenia podczas magazynowania, – wady ukryte materiałów, – kwalifikacje oraz doświadczenie pracowników, – niedobór pracowników.
Procesy wspomagające	<ul style="list-style-type: none"> – problem ze zidentyfikowaniem kluczowych klientów lub grup nabywców, – niedostosowanie oferty świadczeń logistycznych do segmentu, – nieodpowiednie metody prognozowania popytu, problemy dotyczące przepływu informacji, – brak regulacji recyrkulacji odpadów.

Źródło: (Gaschi-Uciecha, 2015, s. 136-139)

W niniejszej rozprawie doktorskiej rozpatrywany jest proces logistyczny, w skład którego wchodzi procesy realizowane w punkcie załadunku, rozładunku oraz procesy transportowe. W punktach załadunku i rozładunku uwzględniane są: proces transportu oraz magazynowania ładunków. Przykładowe zakłócenia dla obszaru magazynowania oraz transportu przedstawiono w tabeli 2.4.1. Z kwestią procesu transportowego wiąże się również następujące zagadnienia:

- ryzyka związanego z transportem materiałów niebezpiecznych (Brussaard i in., 2004, s. 2660-2665; Gheorghe i in., 2004, s. 2499-2504; Marseguerra i in., 2003, s. 1085-1092; Tixier i in., 2006, s. 177-122),
- występowania kongestii ruchu w miastach (Wappa, Halicka, 2011, s. 63-75; Jain i in., 2012),
- sposobu definiowania i mierzenia kongestii ruchu (ECMC, 2007).

Przedstawione powyżej zagadnienia związane z transportem nie wyczerpują tematu. Przykładowo, można by również uwzględnić wpływ rozłożenia towaru na środek ciężkości pojazdu, co przekłada się na stabilność pojazdu, a zatem na bezpieczeństwo.

Na potrzeby niniejszej rozprawy sklasyfikowano zakłócenia procesów logistycznych ze względu na podmiot odpowiedzialny za ich powstanie lub przedmiot, którego dotyczą. Wyróżnione zakłócenia wraz z opisem potencjalnego wpływu na realizację procesu, zaprezentowano w tabeli 2.4.2. Zakłócenia te przedstawiono dla procesu transportu towaru z jednego przedsiębiorstwa do drugiego z uwzględnieniem procesów załadunkowych i rozładunkowych.

Tab. 2.4.2. Przyjęta w rozprawie klasyfikacja zakłóceń

Typ ogólny	Rodzaj	Wpływ na realizowany proces
Dotyczące środka transportowego	1. Uszkodzenie środka transportowego	– oczekiwanie na pomoc oraz wydłużenie czasu związanego z naprawą usterki, – awaria środka transportowego tworzącego otoczenie (czyli tworzącego określone natężenie ruchu) – wiąże się z zablokowaniem danej drogi na określony przedział czasu bądź zmniejszeniem prędkości innych uczestników znajdujących się w określonym obszarze,
	2. Brak środka transportowego w punkcie załadunku w określonym momencie (np. nie podstawienie pojazdu z powodu kradzieży)	– wydłużenie rozpoczęcia realizacji zadania transportowego (związane z poszukiwaniem zastępczego auta) bądź też niezrealizowanie zadania,

Typ ogólny	Rodzaj	Wpływ na realizowany proces
Dotyczące trasy	3. Kongestia ruchu	– wydłużenie czasu realizacji zadania transportowego,
	4. Zdarzenie drogowe (wypadek ⁵ lub kolizja ⁶)	– wydłużenie czasu realizacji zadania w związku z oczekiwaniem w obszarze zdarzenia drogowego – w sytuacji, gdy pojazd realizujący zlecenie nie jest uczestnikiem zdarzenia drogowego, – wydłużenie czasu realizacji zadania w związku z oczekiwaniem na udzielenie pomocy drogowej, może wiązać się z niemożliwością realizacji (w wyniku poniesionych szkód) – w sytuacji, gdy środek transportowy realizujący zadanie jest uczestnikiem zdarzenia drogowego
	5. Trudne warunki pogodowe, mokra lub śliska nawierzchnia drogi	– wydłużenie czasu realizacji zadania transportowego związane z mniejszą prędkością poruszania się,
	6. Miejsca kontroli wjazdu (np. wjazd na teren odgradzony szlabanem) lub poniesienia opłaty (punkty poboru opłat na odcinkach płatnych)	– wydłużenie czasu realizacji zadania transportowego w związku z oczekiwaniem w miejscu kontroli wjazdu; czas oczekiwania w miejscu kontroli wjazdu zależy od ilości aut oczekujących, oraz cech indywidualnych osób zaangażowanych w proces,
Wynikające z winy nadawcy	7. Brak wymaganych zasobów do realizacji procesu w danej chwili (np. brak pracowników lub brak wolnej rampy załadunkowej)	– wydłużenie czasu załadunku,
	8. Źle podana data, ilość, miejsce załadunku	– wydłużenie czasu załadunku lub jego niezrealizowanie,

⁵ Wypadek drogowy definiuje się jako - „(...) sytuację, w której wystąpiło zdarzenie drogowe w ruchu lądowym w postaci nieumyślnego naruszenia obowiązujących zasad bezpieczeństwa czego skutkiem jest zniszczenie mienia oraz śmierć jednego z uczestników lub obrażenia ciała powodujące naruszenie czynności narządu ciała lub rozstrój zdrowia trwające dłużej niż 7 dni. To, czy rozstrój zdrowia trwał dłużej czy krócej niż 7 dni określa biegły sądowy lekarz w opinii sądowo-lekarskiej” (źródło: <http://dziurkiewicz.eu>, data dostępu 29.03.2016).

⁶ Kolizja drogowa to – „(...) zdarzenie w ruchu lądowym, wynikłe z nieumyślnego naruszenia zasad bezpieczeństwa obowiązujących w tym ruchu – skutkiem, którego są straty materialne lub też jeden z uczestników doznał obrażeń ciała powodujących naruszenie czynności narządu ciała lub rozstrój zdrowia trwające poniżej 7 dni albo nie doznał obrażeń” (źródło: <http://dziurkiewicz.eu>, data dostępu: 29.03.2016).

Typ ogólny	Rodzaj	Wpływ na realizowany proces
Wynikające z winy odbiorcy Wynikające z winy odbiorcy	9. Brak wymaganych zasobów do realizacji procesu w danej chwili (np. brak pracowników lub brak wolnej rampy rozładunkowej)”	– wydłużenie czasu rozładunku,
	10. Źle podana data, ilość, miejsce rozładunku	– wydłużenie czasu rozładunku lub jego niezrealizowanie,
Dotyczące kierowcy	11. Umiejętności kierowcy	– możliwe wydłużenia czasu procesu w związku z wolniejszym wykonywaniem niektórych czynności okołozładunkowych i rozładunkowych przez kierowcę, tj.: podjazd pod rampę załadunkową, rozpięcie naczepy, oraz w związku z mniejszą prędkością jazdy wynikającą z aktualnego doświadczenia kierowcy,
	12. Czas pracy kierowcy	– powoduje wydłużenie czasu realizacji zlecenia transportowego w związku z uwzględnianiem obowiązujących przerw w czasie pracy kierowcy,
Inne	13. Katastrofy naturalne (huragany, powodzie, ...) i inne sytuacje spowalniające ruch na drodze (np. strajki)	– wydłużenie czasu realizacji zlecenia (związane z mniejszą prędkością poruszania się) bądź też niezrealizowanie go w terminie,
	14. Awaria systemu informacyjnego za pomocą, którego przedsiębiorstwa komunikują się lub systemu w obszarze magazynowym	– wydłużenie czasu realizacji zlecenia, może skutkować niezrealizowaniem go w terminie.

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Hoffa, Pawlewski, 2014b, s. 146)

Przedstawione zakłócenia mogą zostać sklasyfikowane również ze względu na ich skutek – wpływ na realizowany proces logistyczny. Zakłócenia te, w zależności od typu oraz intensywności wydłużają czas realizacji procesu bądź też powodują niemożliwość jego zrealizowania.

W tabeli 2.4.3 sklasyfikowano wyróżnione zakłócenia ze względu na ich wpływ na proces logistyczny.

Tab. 2.4.3. Klasyfikacja zakłóceń ze względu na skutki

Skutek	Przyczyna
Wydłużenie czasu realizacji analizowanego procesu	<ul style="list-style-type: none"> – kongestia ruchu, – trudne warunki pogodowe, mokra lub śliska nawierzchnia drogi – miejsca kontroli wjazdu (np. wjazd na teren odgrodzony szlabanem) lub poniesienia opłaty, – brak wymaganych zasobów do realizacji procesu w danym momencie, – umiejętności kierowcy, – czas pracy kierowcy,
Wydłużenie czasu realizacji analizowanego procesu bądź niemożliwość zrealizowania procesu	<ul style="list-style-type: none"> – awaria środka transportowego, – brak środka transportowego w punkcie załadunku w określonym momencie, – zdarzenie drogowe (wypadek lub kolizja), – źle podana data, ilość, miejsce załadunku/rozładunku, – katastrofy naturalne i inne sytuacje spowalniające ruch na drodze (np. strajki), – awaria systemu informatycznego za pomocą, którego przedsiębiorstwa komunikują się.

Źródło: opracowanie własne

Obecnie panująca konkurencja na rynku powoduje, iż przedsiębiorstwa nie mogą pozwolić sobie na niezrealizowanie zlecenia produkcyjnego, transportowego, itd. Należy zatem identyfikować potencjalne zakłócenia i ich przyczyny, określać ich wpływ na skuteczność realizowanych procesów oraz poszukiwać alternatywnych rozwiązań umożliwiających osiągnięcie celu procesu. Ważne jest także poszukiwanie różnych rozwiązań w sytuacjach kryzysowych (np. w sytuacji awarii środka transportowego realizującego zlecenie rozwiązaniem może być podstawienie nowego środka transportowego i przepakowanie ładunku (jeśli jest to możliwe), co doprowadzi do wydłużenia realizacji zlecenia, jednak zostanie ono wykonane).

Poszukiwanie rozwiązań alternatywnych możliwe jest dzięki modelowaniu. Modelowanie zakłóceń umożliwia poznanie ich charakteru i istoty. Dla każdego ze zidentyfikowanych w tabeli 2.4.2 zakłóceń przedstawiony został sposób modelowania (tab. 2.4.4).

Tab. 2.4.4. Sposoby modelowania poszczególnych zakłóceń

Typ ogólny	Rodzaj	Sposób modelowania
Dotyczące środka transportowego	1. Uszkodzenie środka transportowego	DES
	2. Brak środka transportowego w punkcie załadunku w określonym momencie	DES
Dotyczące trasy	3. Kongestia ruchu	ABS
	4. Zdarzenie drogowe (wypadek lub kolizja)	ABS
	5. Trudne warunki pogodowe, mokra lub śliska nawierzchnia drogi	ABS
	6. Miejsca kontroli wjazdu lub poniesienia opłaty	DES
Wynikające z winy nadawcy	7. Brak wymaganych zasobów do realizacji procesu w danym momencie (np. brak pracowników lub brak wolnej rampy załadunkowej)	DES
	8. Źle podana data, ilość, miejsce załadunku	DES
Wynikające z winy odbiorcy	9. Brak wymaganych zasobów do realizacji procesu w danym momencie (np. brak pracowników lub brak wolnej rampy rozładunkowej)	DES
	10. Źle podana data, ilość, miejsce rozładunku	DES
Dotyczące kierowcy	11. Umiejętności kierowcy	DES
	12. Czas pracy kierowcy	DES
Inne	13. Katastrofy naturalne (huragany, powódzie, ...) i inne sytuacje spowalniające ruch na drodze (np. strajki)	ABS
	14. Awaria systemu informatycznego za pomocą, którego przedsiębiorstwa komunikują się lub systemu w obszarze magazynowym	DES

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 1468-149)

W celu modelowania zakłóceń skorzystano z modelowania dyskretnego (DES) oraz agentowego (ABS), które zostały opisane szczegółowo w podrozdziale 3.2. Zakłócenia, które występują w określonym miejscu i wpływają na konkretny obiekt w danej chwili czasu, modelowane są z wykorzystaniem modelowania dyskretnego. Stanowią one większość przypadków zdarzeń niepożądanych. W przypadku zakłóceń, które mogą oddziaływać na większą ilość obiektów w danej chwili zastosowano modelowanie agentowe. Są to zakłócenia, dla których należy zdefiniować zasięg oddziaływania (np. trudne warunki pogodowe, zdarzenie drogowe).

2.5. Podsumowanie rozdziału

W rozdziale drugim zdefiniowano podstawowe pojęcia związane z tematyką rozprawy, tj.: system, system logistyczny, system transportowy, proces oraz proces logistyczny. Zaprezentowano również kwestie zakłóceń w procesach logistycznych. Na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej zaprezentowano trzy klasyfikacje zakłóceń procesów logistycznych:

- ze względu na ogniwo odpowiedzialne za zaistnienie zakłócenia,
- ze względu na częstotliwość występowania,
- ze względu na obszar funkcjonowania procesów logistycznych.

W związku z zdefiniowanym w niniejszej rozprawie procesem logistycznym uwzględniającym procesy w punkcie załadunkowym, rozładunkowym oraz transport pomiędzy tymi punktami, postanowiono sklasyfikować zakłócenia logistyczne ze względu na podmiot odpowiedzialny za ich powstanie lub przedmiot, którego dotyczą.

Sklasyfikowano czternaście zakłóceń, każde z nich przydzielono do jednej z następujących grup:

- zakłócenia dotyczące środka transportowego,
- zakłócenia dotyczące trasy,
- zakłócenia wynikające z winy nadawcy
- zakłócenia wynikające z winy odbiorcy,
- zakłócenia dotyczące kierowcy,
- inne zakłócenia.

Dla każdego z zdefiniowanych zakłóceń określono potencjalny wpływ na realizację procesu. Powodują one wydłużenie czasu analizowanego procesu bądź prowadzą do niezrealizowania procesu. Analizując procesy realizowane w obszarze przedsiębiorstwa lub podczas realizacji transportu zewnętrznego zdefiniować można wiele nieplanowanych, ale przewidywalnych zdarzeń, które mogą mieć negatywny wpływ na analizowany proces. Możliwe jest również zidentyfikowanie negatywnych zdarzeń występujących losowo, dla których problemowe jest zdefiniowanie prawdopodobieństwa wystąpienia oraz skutków tego zdarzenia.

3. Modelowanie procesów logistycznych

3.1. Wprowadzenie

Rozdział trzeci poświęcony jest modelowaniu procesów logistycznych. Zdefiniowano pojęcia: model, modelowanie, symulacja komputerowa oraz scharakteryzowano metodę modelowania dyskretnego (ang. Discrete-Event Simulation – DES) i modelowania agentowego (ang. Agent Based Simulation – ABS).

Następnie zaprezentowano metody modelowania infrastruktury logistycznej, ze szczególnym uwzględnieniem sieci transportowej oraz środka transportowego i jego ruchu. Przedstawiono również stosowane przez przedsiębiorstwa oprogramowania symulacyjne służące do modelowania procesów logistycznych, z uwzględnieniem procesów transportowych, tj.: VISUM, VISIM, Arena, AnyLogic, FlexSim oraz opisano technologie informatyczne służące do komunikacji i wymiany informacji, tj.: giełdy transportowe oraz portale korporacyjne.

3.2. Model, modelowanie, symulacja komputerowa

Systemy logistyczne wraz z realizowanymi w nich procesami można odwzorować za pomocą modelu. Definiując za Powierzą (1997, s. 89) „modelem nazywać będziemy zastępującą oryginał przyjętą formę jego reprezentacji wykorzystywaną do wyjaśniania i przewidywania zachowania się oryginału w sposób adekwatny z punktu widzenia celu rozważań”. Na potrzeby niniejszej rozprawy zaprezentowaną definicję należy uzupełnić o stwierdzenie, iż modele mogą reprezentować zarówno stany istniejące jak i nieistniejące. W ostatnich latach, coraz większą popularność zyskują modele stanów nieistniejących. Przetestowanie różnych rozważanych opcji na wirtualnym systemie jest zarówno bezpieczniejsze jak i tańsze.

Modele można klasyfikować ze względu na różne kryteria (tab. 3.2.1).

Tab. 3.2.1. Klasyfikacja modeli

Kryterium klasyfikacji	Typ modelu
stopień abstrakcji (stopień uproszczenia odwzorowania obiektu rzeczywistego)	opisowy, który przedstawia właściwości obiektu w sposób opisowy, werbalny
	fizyczny wykorzystujący wielkości fizyczne w celu ukazania zachodzących działań w rzeczywistym systemie
	analogowy ukazujący jedne właściwości za pomocą innych
	matematyczny (zwane symbolicznym) przedstawiający obiekty i ich atrybuty za pomocą zmiennych matematycznych, natomiast działania jako funkcje matematyczne

Kryterium klasyfikacji	Typ modelu
zakres badań	rozwojowy, tzw. ewolucyjny
	model funkcjonalny
	model optymalizacyjny np. w wieloaspektowych ujęciach i analizach teoretyczno-praktycznych
pełniona funkcja	wyjaśniający np. istotę awarii maszyn
	ocenowy np. dotyczące oceny jakości grupy
	decyzyjny np. ułatwiający wprowadzenie na rynek produktu

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Jacyna, 2009a, s.30-31; Korczak, 2010, s.102-103)

Model jest rezultatem procesu modelowania i ma na celu odwzorowanie systemu będącego przedmiotem analizy i zachodzących w nim zależności. Celem modelowania jest uzyskanie wiarygodnego modelu, który umożliwi prześledzenie sposobów zachowania się obiektu w różnych warunkach. Według Machaczka (1998, s. 42) „modelowanie jest zawsze wynikiem kompromisu między dążeniem do jak najdokładniejszego odwzorowania zjawiska a usiłowaniem jego maksymalnego uproszczenia”.

Z punktu widzenia epistemologicznego specjalną kategorią modeli są modele matematyczne, a wśród nich symulacyjne (Gospodarek, 2009, s. 76). Słowo symulacja wywodzi się z języka łacińskiego od słowa *similis*, mającego znaczenie: podobieństwo, podobny. Współczesne rozumienie pojęcia symulacji w niektórych językach ma także etymologiczne źródło w greckim słowie *mimeisthai*, znaczącym tyle, co naśladować, grać rolę oraz łacińskim *imitatio*, oznaczającym naśladowanie. W sensie znaczeniowym słowo symulacja ma zatem także swoje znaczenia bliskoznaczne: imitacja, mimika, mimetyzm. Definicji i określeń pojęcia symulacja jest wiele. W tabeli 3.3.2 przedstawiono kilka z nich.

Tab. 3.2.2. Symulacja – definicje

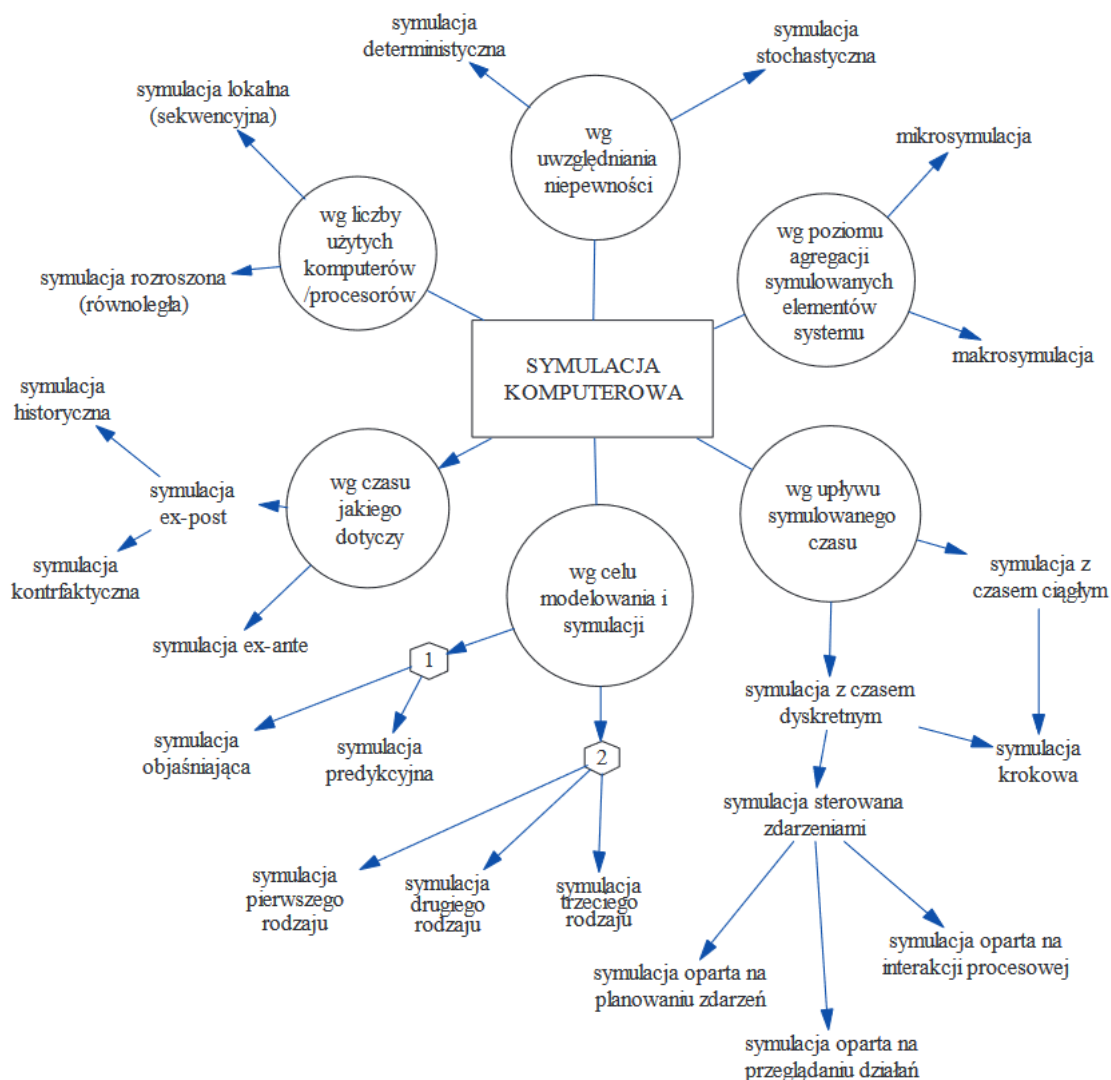
Lp.	Autor/Źródło	Definicja
1.	Evans i Olson (2002)	to proces projektowania modelu matematycznego lub logicznego systemu rzeczywistego lub problemu decyzyjnego, a następnie prowadzenie na tym modelu eksperymentów (najczęściej komputerowych) w celu uzyskania wiedzy na temat zachowań systemu rzeczywistego lub pomocy w rozwiązywaniu problemu decyzyjnego
2.	Fishman (1981)	czynność przedstawiania systemu za pomocą modelu symbolicznego, którym można łatwo operować i na podstawie którego otrzymujemy wyniki numeryczne

Lp.	Autor/Źródło	Definicja
3.	Gordon (1974)	technika rozwiązywania problemów, polegająca na śledzeniu w czasie zmian zachodzących w dynamicznym modelu systemu
4.	Naylor (1974)	technika numeryczna służąca do dokonania eksperymentów na pewnych rodzajach modeli matematycznych, które opisują przy pomocy maszyny cyfrowej zachowanie się złożonego systemu w ciągu długiego czasu
5.	Słowiński (2010)	(łac. simulare – udawać, upodabniać się) jest metodą prowadzenia eksperymentu, w którym decydent buduje model imitujący działanie rzeczywistego procesu (...). Dzięki symulacji można określić, jak wymodelowany proces zachowa się w praktyce, określić koszty i czas wykonania procesu i poszczególnych działań

Źródło: na podstawie (Mielczarek, 2009, s. 15-16; Słowiński, 2010, s.70)

Symulacja to obszerny zbiór metod, służących do naśladowania (odtworzenia) systemów rzeczywistych poprzez analizę modeli, zwykle za pomocą komputera i odpowiedniego oprogramowania. Dlatego też słowo symulacja najczęściej łączone jest ze słowem komputer i wówczas mówimy o symulacji komputerowej. Symulacja komputerowa polega na odwzorowaniu badanego zjawiska lub procesu przy pomocy programu komputerowego nazywanego także modelem komputerowym. Model komputerowy utworzony jest z wykorzystaniem modelu matematycznego. Można zatem rzec, że symulacja komputerowa jest metodą badawczą, szczególnie przydatną w procesach dynamicznych opisujących zmiany zachodzące w funkcji czasu (Mielczarek, 2009, s. 16). Modelowanie symulacyjne „jest natomiast paradygmatem naukowym, rozumianym jako zbiór wzorcowych mechanizmów analizy złożonych systemów rzeczywistych, które umożliwiają budowę modelu uproszczonej wersji systemu, a następnie eksperymentowanie na nim w celu poznania struktury systemu i opisanie jego zachowania” (Mielczarek, 2009, s. 16).

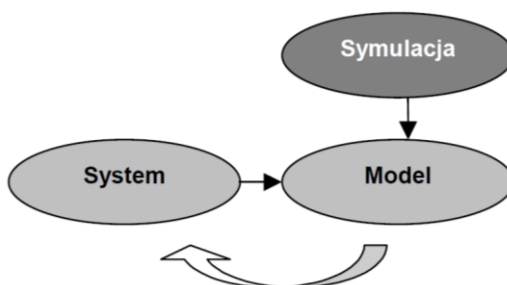
Symulacje komputerowe możemy porządkować ze względu na różne kryteria (rys. 3.2.1). W niniejszej rozprawie symulacja komputerowa traktowana będzie jako metoda umożliwiająca odwzorowanie zarówno istniejącego systemu jak i projektowanego.



Rys. 3.2.1. Rozszerzony schemat klasyfikacji logicznej metody symulacji komputerowej

Źródło: (Łatuszyńska, 2011, s. 172)

Na podstawie założeń dotyczących struktury oraz procesów realizowanych w systemie tworzony jest model systemu. Model ten odwzorowywany jest za pomocą symulacji komputerowej, przy pomocy której przeprowadzane są (zgodnie z przyjętymi założeniami) badania symulacyjne (rys. 3.2.2).



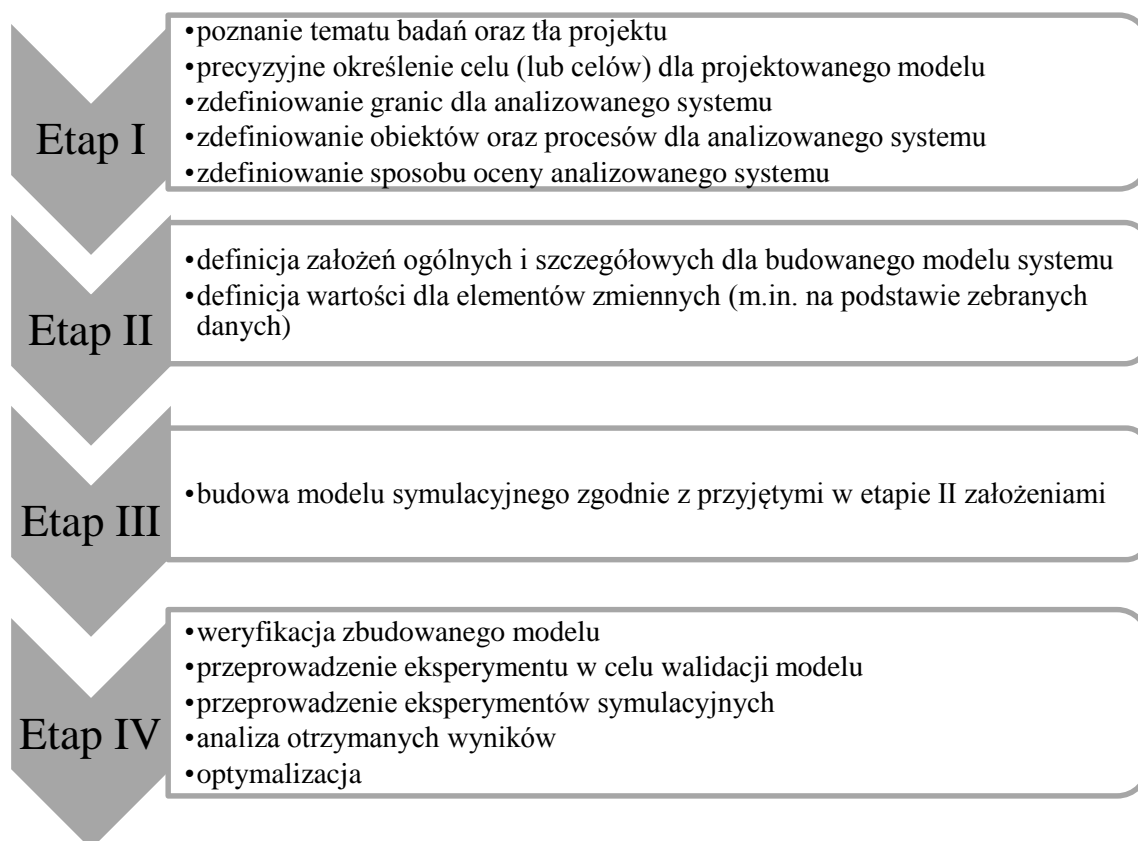
Rys. 3.2.2. Związek pomiędzy systemem, modelem i symulacją

Źródło: (Mielczarek, 2009, str. 15)

W ramach badań symulacyjnych wyróżniono cztery etapy postępowania (Beaverstock i in., 2011, s. 75-81; Gordon, 1974, s. 33-39; Pawlewski i in., 2011, s. 12-16; Sturrock, 2012, s. 1921-1928):

- etap I – zdefiniowanie systemu oraz problemu,
- etap II – zdefiniowanie danych wejściowych oraz założeń do modelu,
- etap III – budowa modelu symulacyjnego,
- etap IV – przeprowadzenie eksperymentów oraz analiza wyników.

Czynności realizowane w ramach każdego z etapów przedstawiono na rysunku 3.2.3.

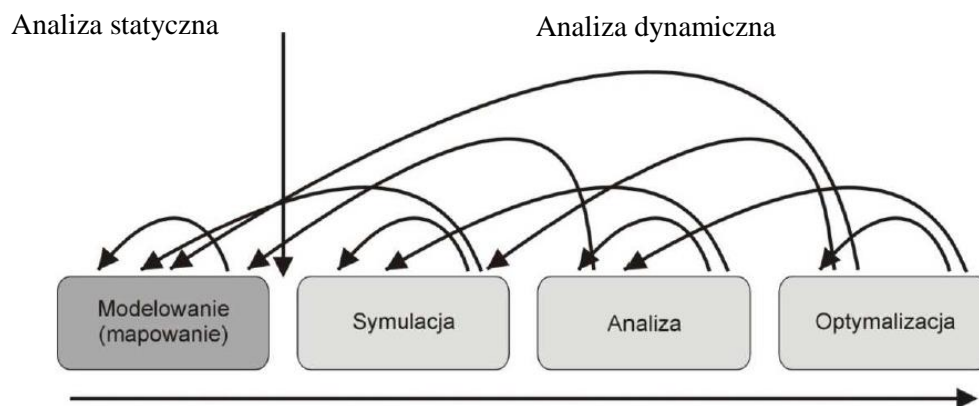


Rys. 3.2.3. Czynności realizowane w kolejnych etapach badań symulacyjnych
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Beaverstock i in., 2011, s. 75-81; Gordon, 1974, s. 33-39; Pawlewski i in., 2011, s. 12-16; Sturrock, 2012, s. 1921-1928)

Czynności wykonywane w czwartym etapie wymagają zdefiniowania terminu weryfikacji oraz walidacji. Weryfikacja modelu polega na przeprowadzeniu przykładowego eksperymentu, a następnie analizie otrzymanych wyników, w celu skonfrontowania sposobu funkcjonowania modelu z założeniami. Nie jest problemem, jeżeli uzyskano niespodziewane, ale wytłumaczalne wyniki. Problem powstaje, gdy model tworzy niewytłumaczalne wyniki. Należy wtedy przeanalizować ponownie wszystkie założenia w modelu tak, aby znaleźć przyczynę powstawania tych wyników.

Następnie należy wyeliminować wszelkie rozbieżności i nieprawidłowości. Po weryfikacji następuje walidacja modelu. Przeprowadzana jest w celu określenia czy model reprezentuje rzeczywistość oraz realizuje założenia. Pożądanym jest, aby w procesie walidacji uczestniczyły osoby bezpośrednio związane z modelowanym systemem, ponieważ to one są w stanie ocenić czy model reprezentuje rzeczywisty system oraz czy działa poprawnie. Walidacja jest bardzo ważna, ponieważ pozwala określić poziom wiarygodności rezultatów. Ma ona na celu ukazanie, że stworzony model posiada wymagany poziom szczegółowości. (Pawlewski i in., 2016). Po przeprowadzeniu eksperymentów i przeanalizowaniu wyników kolejnym krokiem może być optymalizacja danego procesu. Optymalizacja to metoda wyznaczania najlepszego rozwiązania z punktu widzenia określonego kryterium (Pawlewski, 2013b, s. 130-134).

Kroki podejmowane w ramach każdego z etapów muszą być ze sobą spójne. W modelowaniu symulacyjnym nie może być przypadkowości w ramach podejmowanych czynności – kolejny krok wynika z poprzedniego (rys. 3.2.4). Na każdym z etapów, w zależności od uzyskiwanych rezultatów i wprowadzanych zmian, może nastąpić powrót oraz ponowna realizacja poszczególnych kroków. Działanie to ma na celu poszukiwanie jak najlepszego rozwiązania.



Rys. 3.2.4. Miejsce symulacji w analizie procesowej

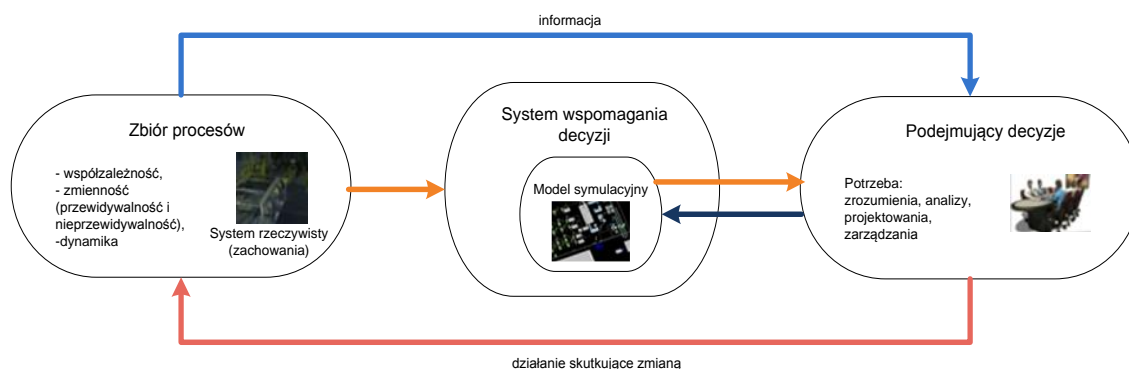
Źródło: (Pawlewski i in., 2011, s.12)

Stały rozwój oprogramowania symulacyjnego oraz wzrost świadomości przedsiębiorstw o możliwościach zastosowania symulacji komputerowej przyczynia się do coraz większego zainteresowania tą technologią i jej implementacją w różnych obszarach funkcjonowania przedsiębiorstwa: od modelowania operacji wykonywanych na pojedynczej maszynie produkcyjnej, po modelowanie fabryki produkcyjnej czy też przepływu materiałów w globalnym łańcuchu dostaw. Obszar modelowania zależy od celu, jaki chce osiągnąć osoba zlecająca zbudowanie modelu i przeprowadzenie

eksperymentów badawczych. Przykładowymi obszarami, w których symulacja znajduje zastosowanie są (<http://informs-sim.org>, data dostępu: 27.07.2015):

- modelowanie procesów biznesowych,
- modelowanie czynności w zakresie służby zdrowia, np. symulacja zapotrzebowania materiałów do operacji czy ewakuacji szpitala,
- modelowanie linii montażowych,
- symulacja systemów produkcyjnych oraz planów produkcyjnych,
- symulacja w obszarze wojskowym, np. rozlokowania grup bojowych.

Symulacja może pełnić rolę systemu wspomagającego podejmowanie decyzji (rys. 3.2.5). Przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych odwzorowujących różne scenariusze realizacji procesu, pozwala na uzyskanie informacji o poszczególnych przebiegach. Zestawienie i analiza tych wyników umożliwia porównanie oraz wybór najlepszego rozwiązania dla danych warunków brzegowych oraz określonej funkcji celu.



Rys. 3.2.5. Miejsce symulacji w procesie podejmowania decyzji
Źródło: (Hoffa i in., 2013, s. 67)

Niewątpliwą zaletą stosowania symulacji komputerowej jest zmniejszenie ryzyka związanego z wprowadzaniem zmian w procesie już funkcjonującym w przedsiębiorstwie, ponieważ różne warianty przebiegu działań przeprowadzane są bez ingerencji w rzeczywisty proces – dzieje się to w zaprojektowanym wirtualnym modelu. Ponadto możliwe jest przeprowadzanie szeregu eksperymentów w poszukiwaniu najlepszego rozwiązania. Natomiast do wad zaliczyć można konieczność poznania języka programowania stosowanego w oprogramowaniu symulacyjnym, co może okazać się czasochłonne. Ponadto stosowanie symulacji nie gwarantuje zidentyfikowania optymalnego rozwiązania. Podczas eksperymentu badane są tylko warianty podane przez użytkownika.

Modelowanie systemów z wykorzystaniem symulacji komputerowej może być przeprowadzane przy wykorzystaniu różnych metod. Najczęściej stosowanymi metodami są: modelowanie dyskretne (DES – ang. Discrete-Event Simulation) oraz modelowanie agentowe (ABS – ang. Agent Based Simulation).

Metoda DES stosowana jest do zaprezentowania procesów ciągłych z rzeczywistości w sposób nieciągły, tzn. określając moment zdarzeń wpływających na proces (definiujących go). Poprzez zdarzenie należy rozumieć wystąpienie zmiany stanu systemu w pewnej chwili czasu, które może wywołać zmianę atrybutów obiektu lub rozpocząć bądź zatrzymać działania w procesie. W kontekście procesów logistycznych do zdarzeń takich można zaliczyć, np.:

- podjazd samochodu ciężarowego pod rampę załadunkową,
- zakończenie rozładunku samochodu ciężarowego,
- osiągnięcie określonego poziomu zapasu przez dany produkt.

Modelując w sposób dyskretny przejazd pojazdu z punktu A do punktu B, analizowany będzie moment rozpoczęcia trasy i moment zakończenia, to co dzieje się pomiędzy tymi momentami jest pomijane (pod warunkiem, że nie wystąpiło żadne zdarzenie mające wpływ na realizację procesu). Następuje skok czasu od pierwszego zdarzenia do kolejnego. W przypadku symulacji zdarzeń dyskretnych stan modelu zmienia się tylko w dyskretnych momentach zwanych zdarzeniami/krokami czasowymi. Należy zaznaczyć, że kroki czasowe mogą być stałe (mamy wtedy do czynienia z metodą stałego kroku) lub określane w sposób losowy (metoda zdarzeń dyskretnych) (Schriber, Brunner, 2014, s. 132-146). Metoda DES znajduje swoje zastosowanie w sytuacjach, gdy mamy do czynienia z procesami znanymi, dla których sytuacje niepewności można zdefiniować za pomocą rozkładów statystycznych (Banks i in., 2004, s. 68-86; Cassandras, Lafortune, 2008, s. 557-615; Siebers i in., 2010, s. 204-210). Jest ono wykorzystywane do symulacji kolejkowych oraz złożonych sieci kolejek.

Drugą metodą modelowania jest symulacja bazująca na agentach (ABS). Pomaga ona lepiej zrozumieć systemy świata rzeczywistego, w których przedstawiane lub modelowane są indywidualne byty mające swoje autonomiczne zachowania. Modelując z wykorzystaniem ABS należy zwrócić uwagę na zachowania i cechy poszczególnych agentów, a także na zachodzące relacje pomiędzy agentem a agentem oraz agentem a otoczeniem, w którym się znajduje (Macal, North, 2013, s. 362-376).

Podejście ABS charakteryzuje się (Siebers i in., 2010, s. 204-210):

- podejściem z dołu do góry, skupieniem się na modelowaniu zachowań jednostek i interakcji pomiędzy nimi,
- posiadaniem przez każdego agenta swojego własnego ośrodka sterowania (decentralizacja),
- aktywnością jednostek, przejawiającą się jako zdolność do podejmowania inicjatywy zrobienia czegoś; inteligencja jest reprezentowana wewnątrz jednostki,
- brakiem wykorzystania teorii kolejek,
- brakiem koncepcji przepływu, makro zachowania nie są modelowane, zależą od decyzji w skali mikro indywidualnego agenta.

Agent potocznie oznacza „kogoś oddelegowanego do pracy w określonym miejscu i tam wykonującego określone zadania zgodnie z wcześniej przyjętymi założeniami” (Wieczerzycki, Wieliński, 2003, s. 42-45). W odniesieniu do aspektów informatycznych mówi się o agencie programowym, czyli o programie, który wykonuje zadania zdalnie (na innym komputerze lub w sieci komputerów) zgodnie z założeniami użytkownika. (Kawa, 2008, s. 2-3). Wyróżnia się następujące cechy agenta (Kawa, 2008, s. 3; Bodendorf, Zimmermann, 2005, s. 68):

- działa w zdefiniowanym środowisku, na które wpływa poprzez swoje zachowanie, podejmowane decyzje,
- działa autonomicznie, tak by osiągnąć narzucony mu przez użytkownika cel,
- ma możliwość monitorowania obserwowanego obszaru przez 24 godziny (Kawa, 2011, s. 120),
- jest inteligentny, tzn. na podstawie zebranych informacji uczy się, tak by dalsze wykonywane przez niego czynności były coraz lepsze w odniesieniu do założonego celu, ponadto w ten sposób dostosowuje się do zmiennych warunków otoczenia, w którym się znajduje,
- cechuje go mobilność, tzn. może zmienić środowisko, w którym pracuje tak by osiągnąć założony cel.

Mobilność i inteligencja w przypadku agentów to cechy przeciwstawne, tzn.: im bardziej agent jest mobilny tym mniej inteligentny i odwrotnie. Wynika to z faktu, iż aby nadać dużą inteligencję agentowi należy stworzyć rozbudowany kod, który trudno przesłać do innych miejsc, do których „podróżuje” agent. Problem ten rozwiązywany jest

przez tworzenie grupy agentów mobilnych (zbierających informacje) i inteligentnych (zarządzających), które współpracują ze sobą w określonym celu.

Powołując się na AnyLogic (<http://www.anylogic.com>, data dostępu: 11.08.2015) do modelowania procesów logistycznych i łańcucha dostaw najlepszym rozwiązaniem jest modelowanie agentowe. Przykładowe pozycje literaturowe poświęcone modelowaniu agentowemu dla łańcucha dostaw i procesów transportowych przedstawiono w tabeli 3.2.3.

Tab. 3.2.3. Modelowanie agentowe w logistyce – przegląd literaturowy

Lp.	Autor	Tytuł, opisywane zagadnienie w artykule
1.	Allwood, Lee (2005)	<i>The design of an agent for modeling supply chain network dynamics</i> – dotyczy modelowania łańcucha dostaw, wyboru poszczególnych ogniw uczestniczących w łańcuchu za pomocą agentów.
2.	Baykasoglu, Kaplanoglu, (2011)	<i>A multi-agent approach to load consolidation in transportation</i> – opisuje czynności załadunkowe w transporcie przy pomocy podejścia wieloagentowego.
3.	Janssen (2005)	<i>The architecture and business value of a semi-cooperative, agent-based supply chain management system</i> – prezentuje system wieloagentowy do zarządzania łańcuchem dostaw.
4.	Krejci, Beamon (2012)	<i>Modeling food supply using Multi-Agent Simulation</i> – dotyczy modelowania łańcucha żywności przy pomocy modelowania wieloagentowego.
5.	Lau i in. (2002)	<i>Impacts Of Sharing Production Information on Supply Chain Dynamics: A Multi-Agent Simulation Study</i> – dotyczy zagadnienia współpracy agentów na różnych poziomach w łańcuchu dostaw, a także wymiany informacji pomiędzy poszczególnymi podmiotami.
6.	Liang, Huang (2006)	<i>Agent-based demand forecast in multi-echelon supply chain</i> – opisuje zastosowanie agentów do sterowania poziomem zapasów w łańcuchu dostaw, tak by obniżyć całkowite koszty związane z łańcuchem dostaw.
7.	Mangina, Vlachos (2005)	<i>The changing role of information technology in food and beverage logistics management: beverage network optimization using intelligent agent technology</i> – opisuje model inteligentnego łańcucha dostaw dla żywności, autorzy wykazują, że zastosowanie agentów może pomóc w optymalizacji łańcucha dostaw.
8.	Nawarecki, Koźlak (2009)	<i>Agentowy model systemu logistycznego</i> – prezentuje szkic koncepcji formalizacji projektowania systemów logistycznych; opisuje aspekt modelowania systemu zarządzania i optymalizacji łańcuchów dostaw.
9.	Zhan, Huang (2011)	<i>Plan and Coordination of Agile Supply Chain Based on Multi-Agent</i> – opisuje planowanie i koordynacje zwinnego łańcucha dostaw przy pomocy modelowania wieloagentowego

Źródło: na podstawie (Allwood, Lee, 2005, s. 4875-4898; Baykasoglu, Kaplanoglu, 2011, s. 477-490; Janssen, 2005, s. 315-328; Krejci, Beamon, 2012, s.1167-1178; Lau i in., 2002, s.527-532; Liang, Huang, 2006, s. 390-407; Mangina, Vlachos, 2005, s. 403-420; Nawarecki, Koźlak, 2009, s. 493-500; Zhan, Huang, 2011, s. 10134-10142)

Systemy agentowe stosowane są do rozwiązywania problemów w sytuacji rozproszenia podmiotów decyzyjnych, a także wykorzystywania różnorodnych metod podejmowania decyzji. Systemy oparte na technologii agentowej są efektywnym narzędziem do rozwiązywania problemów o złożonej naturze (Li, Sheng, 2011, s. 5737-5753).

Rozwinięciem technologii agentowej są tzw. systemy wieloagentowe (ang. Multi-Agent System – MAS). Systemy te cechują się zastosowaniem w jednym środowisku wielu samodzielnych agentów, mających swoje zadania do zrealizowania. Poprzez wprowadzenie grupy agentów uzyskuje się większą efektywność, ponieważ każdy z nich wykonuje swoje zadanie przy jednoczesnym pozostawianiu w relacjach i komunikacji z pozostałymi. Dlatego też niezbędne są ujednolicone zasady komunikacji pomiędzy agentami. Jednym z takich standardów jest ACL (ang. Agent Communications Language) stworzony przez organizację FIPA (ang. Foundation for Intelligent Physical Agents) (Kawa, 2011, s. 121-123).

3.3. Infrastruktura logistyczna i metody jej modelowania

Podczas realizacji procesów logistycznych wykorzystywane są określone urządzenia i budowle techniczne oraz środki przetwarzania informacji. Elementy te wchodzi w skład infrastruktury logistycznej. Całokształt infrastruktury logistycznej tworzą następujące grupy środków technicznych (Korzeń, 1998, s. 17):

- „środki transportu i manipulacji, służące przemieszczaniu materiałów między przedsiębiorstwami, a także wewnątrz nich;
- budowle i konstrukcje magazynowe, umożliwiające składowanie i ochronę zapasów oraz niezbędne wyposażenie magazynów umożliwiające realizację ich podstawowych funkcji;
- opakowanie stanowiące ochronę ładunków, często także ułatwiające transport i manipulację oraz spełniające funkcję marketingową;
- środki przetwarzania informacji (urządzenia i ich systemy oraz programy użytkowe).”

W przedstawionej definicji infrastruktury logistycznej brakuje aspektu sieci drogowej umożliwiającej przemieszczanie towarów pomiędzy punktem początkowym a punktem końcowym. Sieć drogowa rozpatrywana jest jako element infrastruktury drogowej (Engelhardt, 2007, s. 39).

Metody modelowania sieci transportowych

Pojęcie sieci odnaleźć można w wielu różnych dziedzinach nauki i życia – od pajęczej sieci, poprzez sieci telekomunikacyjne, wodociągowe, po sieci neuronowe i cybernetyczne. W nawiązaniu do tematu rozprawy, uwaga została skupiona na sieciach transportowych oraz sposobach ich projektowania. Prawdopodobnie, część rozwiązań z innych dziedzin można by przenieść na grunt sieci transportowych i z sukcesem je zaimplementować, jednak nie to jest celem niniejszej pracy. Sieć transportowa (S) rozumiana jest jako zbiór punktów transportowych (punkt załadunku, rozładunku, ...) tworzących wierzchołki grafu (W), oraz odcinki dróg naturalnych i sztucznych tworzących zbiór łuków (L) pomiędzy tymi wierzchołkami.

Sieci transportowe projektowane są za pomocą różnych metod i technik. W zależności od przyjętego poziomu szczegółowości modelowania oraz poziomu skomplikowania sieci stosowane będą inne metody (Yang i in., 2011, s. 4460-4672; Lu, Shi, 2007, s. 204-213; XU i in., 2013, s. 193-198; Keechoo, Jang, 2000, s. 129-146). Prostą sieć składającą się z jednego nadawcy i odbiorcy można w łatwy sposób opisać tylko za pomocą grafu. Natomiast dla bardziej skomplikowanych przypadków (większa liczba nadawców i odbiorców) lepszym rozwiązaniem okaże się zastosowanie algorytmów bądź też zastosowanie symulacji komputerowej, która nie tylko zawiera informacje dotyczące odległości, ale także wizualizację sytuacji.

Do podstawowych metod modelowania sieci transportowych zaliczamy:

- modelowanie za pomocą grafu,
- modelowanie za pomocą algorytmów (np. algorytmy wyszukiwania najkrótszej ścieżki),
- oraz symulacyjne modelowanie sieci.

Modelowanie sieci za pomocą grafu

Jedną z metod modelowania sieci transportowych jest opisanie jej za pomocą grafów (Chen i in., 2009, s. 130-135; Mishkovski i in., 2011, s. 341-349; Żochowska, 2012, s.83-104). W tym ujęciu sieć składa się z węzłów oraz odcinków łączących je (tzw. łuków). W przestrzeni dwuwymiarowej sieć można opisać jako:

$$S = \langle W, L \rangle \quad (3.3.1)$$

$$W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\} \quad (3.3.2)$$

$$W = n \quad (3.3.3)$$

$$L = \{l_1, l_2, l_3, \dots, l_m\} \quad (3.3.4)$$

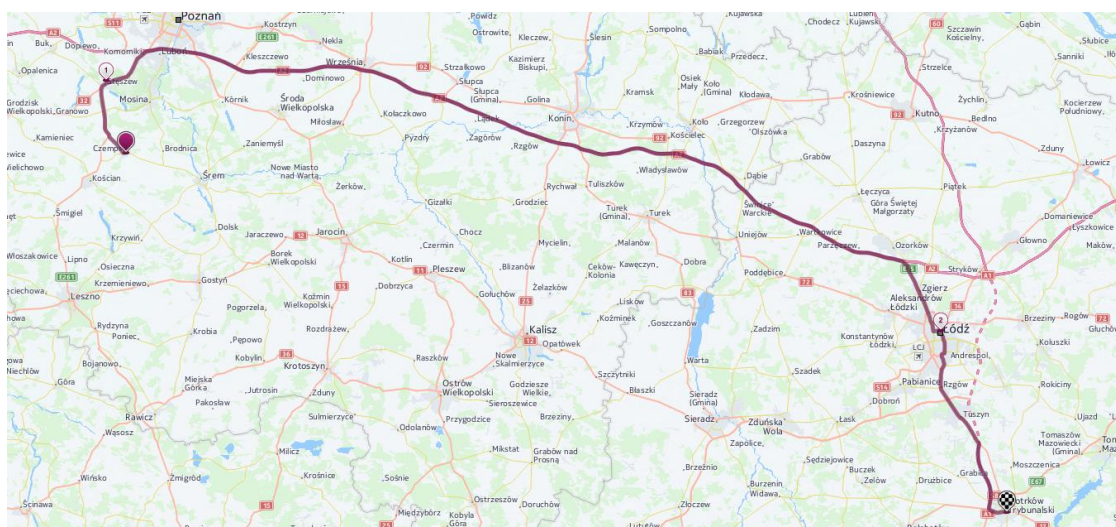
$$L = m \quad (3.3.5)$$

Dla zdefiniowanych węzłów (W) oraz łuków (L) należy przypisać atrybuty dotyczące np. odległości, prędkości przejazdu. W tym celu niezbędne jest wprowadzenie kolejnej zmiennej (A):

$$A = \{A_w, A_l\} \quad (3.3.6)$$

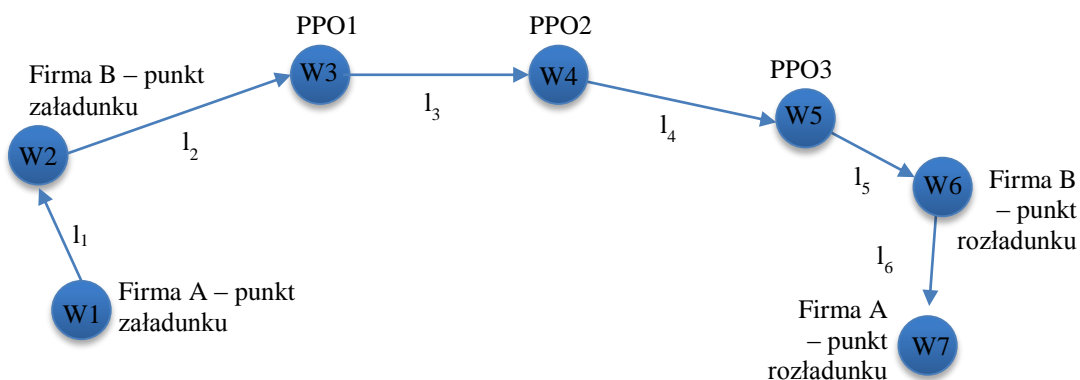
Podczas budowania grafu dla sieci transportowej, definiowany jest jednocześnie opis matematyczny, który jest uzupełnieniem do informacji graficznych. Oczywiście w przypadku prostych sieci można przedstawić wszystkie informacje tylko za pomocą grafu, jednak rzadko zdarza się, aby taka forma prezentacji informacji była wystarczająca. Często uzupełniana jest o macierz kosztów.

Rysunek 3.3.1 przedstawia przykładowy przebieg trasy transportowej, dla której uwzględnione zostały dwa punkty załadunku oraz dwa punkty rozładunku. Na rysunku 3.3.2 zaprezentowano tę sieć za pomocą grafu. Przedstawiony przebieg trasy pomiędzy określonymi czterema punktami jest jednym z wielu możliwych. Dlatego też, posiadając punkty załadunku oraz rozładunku (czyli wierzchołki grafu) należałoby zdefiniować możliwe alternatywy, a następnie preselekcjonować je w zależności od określonych kryteriów (np. maksymalnego kosztu pokonania drogi, odrzucenia tras uwzględniających wielokrotny wjazd i wyjazd na tą samą autostradę). Po zdefiniowaniu kryterium wyboru trasy podejmowana jest decyzja dotycząca wyboru przebiegu trasy.



Rys. 3.3.1. Przykładowa trasa Czempin – Sęszew – Łódź – Piotrków Trybunalski

Źródło: (<http://mapy.interia.pl>, data dostępu: 26.08.2015)



Rys. 3.3.2. Graf sieci transportowej Czempin – Stęszew – Łódź – Piotrków Trybunalski
Źródło: opracowanie własne

Struktury grafowe przedstawiane są za pomocą reprezentacji graficznej (rys. 3.3.2), a także za pomocą różnych form matematycznych, tj.: lista krawędzi, macierz incydencji, listy sąsiedztwa, macierz sąsiedztwa, macierz kosztów. Formy te szczegółowo opisano w pracy (Zajdel i Filipowicz, 2008, s. 999-1010).

Modelowanie sieci za pomocą grafu jest rozwiązaniem dobrym dla stosunkowo prostych układów. Przedstawione informacje za pomocą grafu są czytelne i przejrzyste, co umożliwia ich szybkie odczytanie. Jednak w sytuacji większej liczby wierzchołków, graf ten staje się mało przejrzysty, co znacznie zmniejsza jego użyteczność. Poza tym dopuszczając sytuację zmiany kolejności wierzchołków (co oznacza zmianę przebiegu ścieżki) mamy do czynienia z poszukiwaniem najlepszego połączenia ze względu na określone kryterium wyboru (może to być np. minimalna odległość, czas, koszt). W sytuacji poszukiwania najlepszej ścieżki ze względu na określoną funkcję często korzysta się z dodatkowych rozwiązań, np. algorytmów.

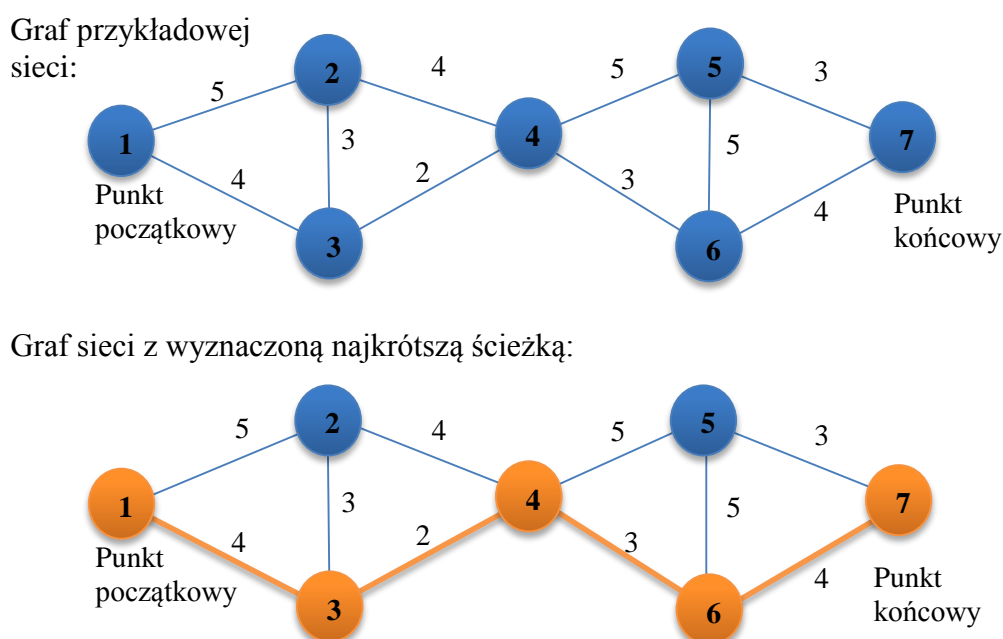
Modelowanie sieci za pomocą algorytmu

Kolejną metodą modelowania sieci transportowych jest modelowanie za pomocą algorytmu wyszukiwania najkrótszej ścieżki (ang. shortest path search). W zależności od typu sieci (statyczna, dynamiczna, stochastyczna) algorytm ten będzie inny. W niniejszej części opisano metodę tylko dla sieci statycznych, ponieważ zarówno w teorii grafów jak i w części praktycznej rozprawy, prezentowane są sieci statyczne – ustalone już przed wykonywaniem zadania transportowego, z określonymi odległościami dla każdego odcinka trasy. Szeroki opis problemu poszukiwania najkrótszej ścieżki (PNS) dla sieci dynamicznych i stochastycznych znajduje się w pracy Kucharskiego (2012, s. 134-150).

Problem poszukiwania najkrótszej ścieżki (PNS) w sieci transportowej jest podstawowym problem w przypadku modelowania ruchu (Zhan i Noon, 1998, s. 65-73). W przypadku algorytmów PNS sieć często opisywana jest formalnie za pomocą grafów, co wynika z faktu, iż najpopularniejsze algorytmy PNS powstały właśnie w obszarze teorii grafów. Poszukiwana jest tak naprawdę najkrótsza trasa w grafie. Definiowanie najkrótszej ścieżki sprowadza się do odnalezienia trasy o najmniejszej odległości od źródła do celu, co odnosząc do grafu równoważne jest z poszukiwaniem najmniejszej sumy wartości wag łuków w grafie. Wagi te mogą posiadać informacje np. o odległości, czasie, koszcie. Zatem nie zawsze poszukiwana jest ścieżka o najkrótszej odległości, jak jest to rozumiane w podstawowym ujęciu.

Pierwszy algorytm programowania liniowego rozwiązujący problem PNS został opracowany w latach 50-tych niezależnie przez Forda (1956) i Dantziga (1957). Przez kolejne lata był on modyfikowany. Głównie skupiano się na poprawie struktury obliczeniowej, co dało wynik w postaci niemal liniowego wzrostu czasu obliczeń wraz z wzrostem rozmiaru grafu (pierwotnie czas przyrastał kwadratowo). Najpopularniejszy, ze względu na szybkość i prostotę wersji jest algorytm Edgara Dijkstry. Alternatywą dla niego jest algorytm A* (ang. A-star) oraz algorytm oznaczonych Hubów (ang. Hub-based Labeling).

Rysunek 3.3.3 przedstawia przykładowy graf sieci oraz wyznaczoną najkrótszą drogę. Kolejne kroki w poszukiwaniu najkrótszej ścieżki zaprezentowano na rysunku 3.3.4.



Rys. 3.3.3. Graf przykładowej sieci z oznaczeniem najkrótszej ścieżki
Źródło: opracowanie własne

Krok 1 – Przygotowanie tabeli do obliczeń

W _{pocz}	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W
1												
t _W	-		-		-		-		-		-	

W_{pocz} – wierzchołek startowy,

W_{nast} – wierzchołek następny ,

S_W – droga do danego wierzchołka,

t_W – sumaryczna wartość drogi na danym etapie.

Krok 2 – Poszukiwanie najbliższego leżącego wierzchołka w stosunku do wierzchołka nr 1

W _{pocz}	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W
1	2	5										
	3	4										
t _W	-	4	-		-		-		-		-	

W tabeli zapisywane są odległości dla każdej drogi wychodzącej z wierzchołka nr 1. Okręgiem zaznaczony zostaje wybrany wierzchołek, który znajduje się bliżej wierzchołka startowego.

Krok 3 – Poszukiwanie kolejnego wierzchołka na drodze

W _{pocz}	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W
1	2	5										
	3	4	2	3	4	4						
	3				4	2						
t _W	-	4	-		-	4+2	-		-		-	

W związku z możliwością dotarcia do wierzchołka nr 4 należy rozpatrzyć obie pełne trasy, tzn.:

Z 3 do 4 odległość = 2,

Z 3 do 4 przez 2 odległość=7.

Tabelę należy dalej uzupełniać zgodnie z pokazanym sposobem.

Krok 4 – Ukończona tabela

W _{pocz}	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W	nast _W	S _W
1	2	5										
	3	4	2	3	4	4						
	3				4	2	5	5				
							6	3		7	4	
							6		5	5	7	3
t _W	-	4	-	-	-	4+2	-	4+2+3	-	-	-	4+2+3+4

Uwaga: W sytuacji gdy dotarcie do wierzchołka nr 7 można pokonać przez jeden lub 2 wierzchołki należy zsumować wartość odległości dla obu opcji, tzn.:

z 6 do 7 – odległość = 4,

z 6 do 7 przez 5 – odległość=8

Rys. 3.3.4. Poszukiwanie najkrótszej ścieżki – kroki postępowania

Źródło: opracowanie własne

Niewątpliwą zaletą stosowania algorytmów do modelowania sieci transportowych jest fakt możliwości wprowadzenia dużej liczby wierzchołków. Możliwe jest również analizowanie przebiegu trasy z uwzględnieniem zmiany kolejności wierzchołków. Wadą tej metody jest skomplikowany sposób zapisu informacji do tabeli w sytuacji dużej liczby rozgałęzień – istnieje możliwość przeoczenia, któregoś z wierzchołków. Ponadto, w przypadku większej liczby wierzchołków, zapisywanie każdego z wariantów w oddzielnym wierszu w tabeli spowoduje jej znaczne rozrastanie się, co utrudnia odczyt i analizę zawartych informacji.

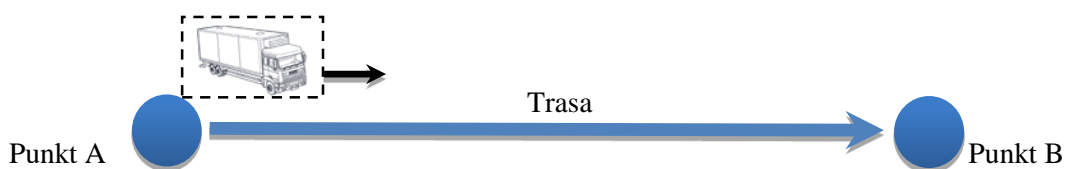
Symulacyjne modelowanie ruchu i sieci transportowych

Kolejną metodą odwzorowywania sieci jest jej symulacyjne modelowanie. Poprzez wprowadzenie punktów odwzorowujących wierzchołki sieci, a następnie połączenie ich uzyskuje się określoną sieć transportową. Dla poszczególnych odcinków (łuków) należy przypisać atrybuty dotyczące np. odległości, prędkości przejazdu. Oprogramowania symulacyjne (np. FlexSim) posiadają wbudowane algorytmy wyszukiwania najkrótszej ścieżki, co powoduje skrócenie wykonywanych czynności przez człowieka w celu znalezienia takiej trasy.

Po odwzorowaniu przebiegu sieci transportowej w modelu należy odwzorować ruch środka transportowego. Modelowanie ruchu środka transportowego realizującego przewóz ładunków z punktu załadunku (A) do punktu rozładunku (B) może odbywać się na kilka sposobów. Zależy on od przyjętej strategii postępowania w sytuacji wystąpienia zdarzenia niepożądanego. W zależności od zdefiniowanych na wstępie strategii dotyczących postępowania przez pojazd w wymienionej sytuacji, nadawane są różne cechy środkowi transportowemu. Przypisywane są także algorytmy postępowania w sytuacji wystąpienia zakłócenia na trasie przejazdu. Zdefiniowano trzy metody modelowania środka transportowego i jego ruchu, w zależności od przyjmowanej strategii postępowania. Dla każdej metody określono sposób modelowania środka transportu oraz sposób modelowania procesów realizowanych w punkcie A i B, w odniesieniu do opisanych w rozdziale 3.2 metod DES i ABS.

Wyróżniono następujące metody modelowania ruchu środka transportowego (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 145-147):

- Metoda 1 – pojazd pokonuje trasę z punktu A do punktu B bez uwzględnienia jakichkolwiek zmian w trakcie realizacji zlecenia, po załadunku wyrobu rozpoczyna realizację zlecenia transportowego z punktu A do punktu B (rys. 3.3.5).

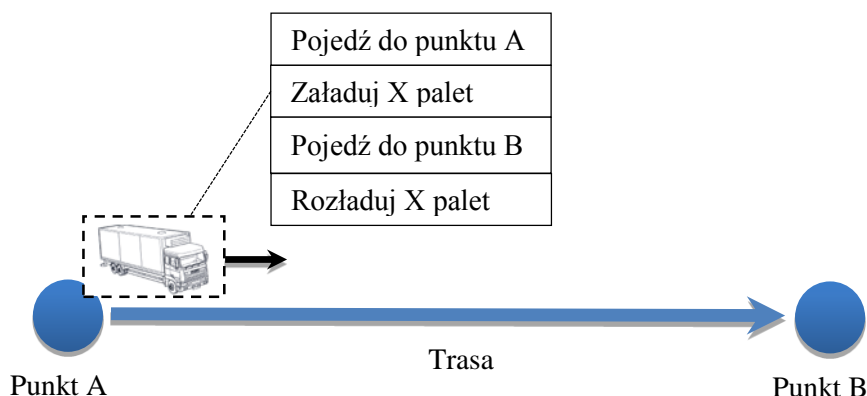


Rys. 3.3.5. Modelowanie ruchu środka transportowego – metoda 1

Źródło: (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 146)

Procesy wykonywane w punkcie A i B mogą zostać opisane za pomocą modelowania dyskretnego (DES) – czas niezbędny na wykonanie poszczególnych czynności definiowany jest za pomocą rozkładów statystycznych. Środek transportowy traktowany jest jako agent z przypisanymi na wstępie cechami.

- Metoda 2 – pojazd pokonuje trasę z punktu A do punktu B według podanego rozkładu jazdy (harmonogramu), który zawiera m.in.: ilość ładunku, czas rozpoczęcia zlecenia; w przypadku większej ilości punktów załadunku i rozładunku określona jest ich kolejność oraz ilość załadowywanego oraz rozładowywanego towaru (rys. 3.3.6).

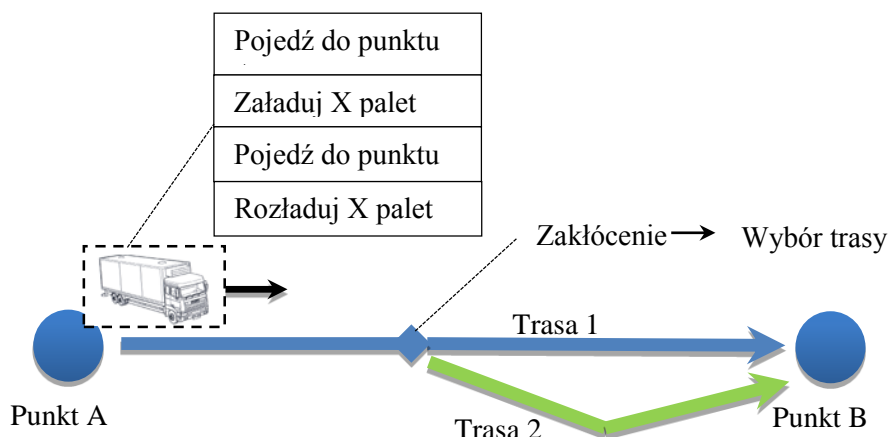


Rys. 3.3.6. Modelowanie ruchu środka transportowego – metoda 2

Źródło: (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 146)

Tak jak w metodzie 1 procesy realizowane w punktach A i B opisać można za pomocą rozkładów statystycznych (modelowanie DES). Środek transportowy to agent z określonymi atrybutami. W tym przypadku posiada on listę zadań, zgodnie z którą wykonuje kolejne czynności.

- Metoda 3 – środek transportowy pokonuje trasę z punktu A do punktu B według założonego harmonogramu z możliwością wprowadzenia zmian w trakcie realizacji zlecenia (zmiany dotyczą wyboru innej trasy przejazdu w związku z wystąpieniem zakłócenia) (rys. 3.3.7). Ponownie procesy wykonywane w punkcie A i B definiowane są za pomocą rozkładów statystycznych. Środek transportowy reprezentowany jest za pomocą agenta z przypisanymi cechami – wykonuje kolejne czynności zgodnie z listą zadań, jednak w przypadku sytuacji nieprzewidzianych (zakłóceń) podejmuje decyzje dotyczące dalszej realizacji zlecenia w odniesieniu do wyboru trasy przejazdu zgodnie z wprowadzonymi algorytmami postępowania. Wariant ten uwzględnia dodatkowo relacje pomiędzy agentem a środowiskiem, w którym funkcjonuje.



Rys. 3.3.7. Modelowanie ruchu środka transportowego – metoda 3
Źródło: (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 147)

Zaprezentowane powyżej metody przedstawiają w sposób ogólny modelowanie ruchu środka transportowego pomiędzy punktem załadunku oraz rozładunku. W zależności od stopnia szczegółowości odwzorowania procesów, należy przypisać inne cechy pojazdowi, a także zaprogramować inne algorytmy postępowania.

Modelowanie sieci oraz ruchu środka transportu z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych posiada zarówno zalety jak i wady. Do zalet zaliczyć można łatwe odwzorowanie przebiegu sieci transportowej oraz w niektórych oprogramowaniach symulacyjnych możliwość skorzystania z wbudowanych algorytmów poszukiwania najkrótszej ścieżki. Dodatkowym atutem stosowania symulacji jest wizualne przedstawienie sieci. Utrudnieniem w stosowaniu symulacji komputerowej jest natomiast konieczność pisania kodu programu w sytuacji stosowania niestandardowych rozwiązań. Algorytm postępowania dla metody drugiej oraz trzeciej jest takim przypadkiem.

Na rynku istnieje wiele programów symulacyjnych umożliwiających modelowanie drogi transportowej, a także wspomagających planowanie jej przebiegu oraz zarządzanie tym przebiegiem. Dostępne jest również oprogramowanie wspomagające pracę spedytorów, które w połączeniu z narzędziem takim jak Emapa pozwala na wyznaczenie trasy, np. SPEDTRANS SQL 6.000 + Emapa, (źródło: <http://www.listprzewozowy.com.pl>, data dostępu: 12.08.2015). Dla wybranych programów umożliwiających zaprojektowanie i zarządzanie trasą transportową, a także poszukiwanie optymalnej drogi przy wykorzystaniu różnych narzędzi optymalizacyjnych przedstawiono krótki opis wraz z obszarem zastosowania. W rozważaniach pominięto oprogramowania informatyczne, które oferują tylko odwzorowanie trasy i określenie liczby kilometrów do przejechania – można to osiągnąć stosując narzędzie map Google.

Opisano cztery popularne oprogramowania oraz jedno wykorzystywane oprogramowanie w niniejszej rozprawie:

- VISUM,
- VISIM
- ARENA,
- AnyLogic,
- FlexSim.

VISUM (<http://vision-traffic.ptvgroup.com>, data dostępu: 25.08.2015; <http://www.bit-poznan.com.pl>, data dostępu: 25.08.2015; <http://cibt.wsei.lublin.pl>, data dostępu: 11.08.2015) – to kompleksowe oprogramowanie firmy PTV Group służące do modelowania oraz analizy sieci transportowych w obrębie metropolii oraz regionów. Poprzez zastosowanie różnych modułów uwzględniony został transport indywidualny oraz publiczny. Łącząc te dwa typy transportu możliwe jest modelowanie skomplikowanych sieci zarówno w obrębie miasta jak i poza nim. Ponadto program umożliwia analizę potoków ruchu oraz pozwala precyzyjnie określać obciążenie linii transportu publicznego dla różnych scenariuszy. Poprzez generowanie specjalistycznych raportów program umożliwia sprawne porównanie różnych scenariuszy potoków ruchu oraz analizę tworzących się kongestii ruchu w różnych punktach sieci.

W ramach modelu sieci Visum występują obiekty tj.:

- węzły – skrzyżowania dróg albo przystanki transportu publicznego,
- odcinki – infrastruktura drogowa i kolejowa,
- relacje skrócone,
- rejony komunikacyjne – początki i końce podróży,
- linie transportu publicznego – trasy linii i rozkłady jazdy,
- punkty pomiarowe dla liczenia pasażerów i detekcji pojazdów.

Dodatkowym atutem tego oprogramowania jest zintegrowanie z innymi programami, np.:

- bezpośrednia wymiana danych pomiędzy schowkiem Windows i aplikacjami MS Office,
- import /eksport danych dla dowolnych obiektów w formacie ASCII,
- interfejs COM do wykorzystania aplikacji z Visual Basic.

Program Visum stosowany jest do modelowania ruchu w Warszawie od 1998 roku (Dybicz, 2005, s. 1-17).

VISIM (<http://vision-traffic.ptvgroup.com>, data dostępu: 25.08.2015; <http://www.bit-poznan.com.pl>, data dostępu: 25.08.2015; <http://cibt.wsei.lublin.pl>, data dostępu: 11.08.2015) – to kolejny produkt firmy PTV Group. Jest rozszerzeniem programu VISUM. Oferuje dodatkowo poziom mikro w modelowaniu ruchu, czyli w tym przypadku odwzorowania poszczególnych ruchów pasażerów, kierowców samochodów, takich jak np. zmiana pasa ruchu. Visim umożliwia m.in.:

- opracowanie oraz ocenę logiki sterowania sygnalizacją świetlną dla transportu indywidualnego, zbiorowego oraz pieszego,
- ocenę oraz optymalizację przepływu ruchu w połączonej sieci skoordynowanych sygnalizacji świetlnych,
- analizę zakłóceń ruchu wynikających z niskich prędkości ruchu czy też przeplatania się ruchu,
- porównanie różnych alternatyw zarządzania ruchem na skrzyżowaniu (z wykorzystaniem sygnalizacji świetlnej, z wykorzystaniem wyłącznie znaków drogowych, z zastosowaniem ronda lub węzłów wielopoziomowych),
- zamodelowanie i symulację potoków pieszych zarówno na ulicach jak i w budynkach,
- symulację i wizualizację interakcji pomiędzy ruchem drogowym i pieszym,
- modelowanie i wizualizację ruchu rowerzystów, motocyklistów oraz pieszych z uwzględnieniem nie przestrzegania pasów ruchu.

Program Visim zastosowano m.in. do modelowania i optymalizacji ruchu rowerowego w godzinach szczytu w Kopenhadze (<http://vision-traffic.ptvgroup.com>, data dostępu: 25.08.2015).

ARENA (<https://www.arenasimulation.com>, data dostępu: 25.08.2015) – to program umożliwiający modelowanie i analizę szeroko pojętego przepływu procesów w przedsiębiorstwie, systemu pakowania, kontrolę zapasów, procesów magazynowania oraz dystrybucji, a także zapotrzebowanie na personel. Program ten umożliwia m.in.:

- analizę przepustowości w przedsiębiorstwie,
- zidentyfikowanie wąskich gardeł w procesie,
- zoptymalizowanie zużycia zasobów dla analizowanego obszaru,
- poprawienie logistyki,
- ocenę skutków potencjalnych zmian w procesie.

Przykładowymi obszarami zastosowań oprogramowania symulacyjnego Arena są:

- produkcja – np. symulacja produkcji zgodnie z zasadami lean,
- obszar żywności i napoi – np. optymalizacja pakowania żywności,
- górnictwo – np. ocena możliwych strategii działania w celu zmniejszenia zużycia energii i emisji dwutlenku węgla w kopalniach węgla,
- agencje rządowe i wojsko – np. model dotyczący zmniejszenia złożoności systemu przeładunkowego dla marynarki USA,
- handel detaliczny – optymalizacja problemów kadrowych w sklepie detalicznym,
- logistyka – np. redukcja kosztów logistycznych
- obszar pakowania – optymalizacja sposobu pakowania,
- służba zdrowia – np. określenie wąskich gardeł na oddziale ratunkowym,
- łańcuch dostaw – np. zamodelowanie przepływów (zarówno surowców do zakładu, jak i wyrobów gotowych z zakładu) w sytuacji zwiększenia produkcji w danym przedsiębiorstwie,
- porty i terminale – np. zamodelowanie czynności załadunkowych i rozładunkowych w porcie.

AnyLogic (<http://www.anylogic.com>, data dostępu: 25.08.2015) – oprogramowanie to może być stosowane do projektowania procesów biznesowych, gospodarczych oraz systemów społecznych. Graficzny interfejs, gotowe narzędzia i obiekty umożliwiają szybkie modelowanie różnych obszarów i procesów. Przykładowymi obszarami zastosowania AnyLogic są:

- łańcuch dostaw i logistyka,
- służba zdrowia i rynek farmaceutyczny,
- marketing,
- produkcja,
- ruch pieszych na lotniskach, stacjach kolejowych, w centrach handlowych,
- transport i magazynowanie,
- zarządzanie projektami i aktywami,
- procesy biznesowe i systemy obsługi,
- wojsko i obronność,
- planowanie strategiczne i zarządzanie,
- procesy społeczne.

FlexSim (<https://www.flexsim.com>, data dostępu: 12.09.2015) – jest to program symulacyjny oferujący szeroki zakres możliwości. FlexSim to narzędzie analityczne nowej generacji, przeznaczone do modelowania, wizualizacji, sterowania i optymalizacji procesów biznesowych, logistycznych i produkcyjnych. Za pomocą tego oprogramowania można zbudować trójwymiarowy komputerowy model rzeczywistego systemu, na którym następnie można eksperymentować i analizować jego funkcjonowanie.

Podstawowymi cechami oprogramowania FlexSim są:

- łatwość użycia,
- szybkość symulacji,
- otwarta architektura,
- zorientowanie obiektowe,
- prosta i elegancka koncepcja modelowania,
- pełna skalowalność,
- modelowanie w wymiarze 3D.

FlexSim z powodzeniem wykorzystywany jest do modelowania problemów z następujących obszarów:

- obsługi klienta – zapewnienie najwyższego poziomu satysfakcji przy jak najniższym poziomie kosztów,
- obszaru produkcyjnego – wytworzenie właściwego produktu w określonym momencie przy jak najniższych kosztach,
- logistyki – dostarczenie właściwego produktu w odpowiednim czasie do właściwego miejsca przy jak najniższych kosztach.

Przykładowe projekty zrealizowane przy wykorzystaniu oprogramowania FlexSim na Politechnice Poznańskiej (<http://socilapp.put.poznan.pl>, data dostępu: 02.02.2016):

- Analiza obciążenia linii produkcyjnej FL1 z uwzględnieniem istniejącego modelu oraz rozszerzeniem modelu o zasilenia materiałów i obsługę linii przez operatorów. Projekt realizowany dla przedsiębiorstwa Beiersdorf Manufacturing Poznań.
- Analiza obiegu wewnętrznego beczek w obszarze półproduktów. Projekt realizowany dla przedsiębiorstwa GlaxoSmithKline w Poznaniu.

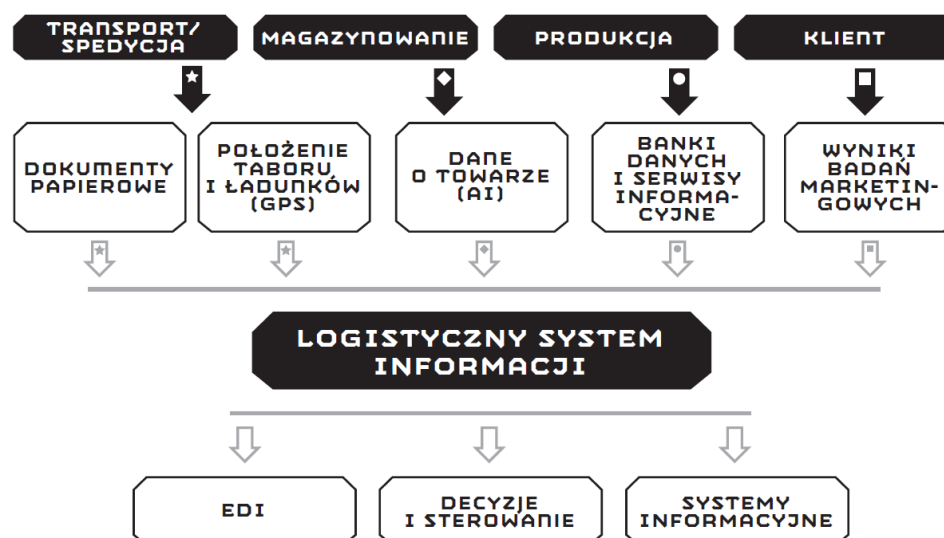
- Odwzorowanie i analiza linii produkcyjnych w warunkach modelu symulacyjnego. Projekt realizowany dla przedsiębiorstwa Good Food Products Sp. z o. o.
- Opracowanie koncepcji przepływów towarowych oraz środków transportu wewnętrznego w browarze w Poznaniu w związku z planowaną rozbudową infrastruktury logistycznej fabryki. Projekt realizowany dla przedsiębiorstwa Kompania Piwowarska S.A.
- Symulacja procesu kompletacji w paletowym magazynie automatycznym. Projekt realizowany dla przedsiębiorstwa Logzact S.A.
- Analiza strefy magazynowej działu compoundingu. Projekt realizowany dla przedsiębiorstwa Beiersdorf Manufacturing Poznań.
- Analiza zapasów w całym łańcuchu dostaw: druty (Chiny, Indie, Polska) – skrętki (Polska, Piła) – jarzniki halogenowe (Niemcy, Aachen). Projekt realizowany dla przedsiębiorstwa Philips.
- Analiza przepustowości strefy kontroli bezpieczeństwa. Projekt realizowany dla przedsiębiorstwa Lotnisko Ławica.

Poza wyżej wymienionymi przykładami oprogramowania, procesy oraz sieci transportowe odwzorowywać można zarówno za pomocą programów do tego dedykowanych jak i w programach służących modelowaniu ogólnie pojętych procesów. Wybór należy do użytkownika, w zależności od potrzeb oraz umiejętności zastosować można różne programy przy jednoczesnym uzyskaniu oczekiwanych rezultatów.

3.4. Stosowane technologie informacyjne w branży logistycznej

Zastosowanie nowoczesnych technologii informacyjnych w branży logistycznej przyczynia się do budowy przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw. Konieczność szybkiego i elastycznego reagowania na potrzeby rynku powoduje zmianę sposobu myślenia w przedsiębiorstwach. Ponadto podstawą funkcjonowania przedsiębiorstw jest wymiana informacji, która musi cechować się szybkością i rzetelnością. Wdrażanie nowoczesnych technologii informacyjnych przez przedsiębiorstwa jest podstawą do osiągnięcia sukcesu.

W związku z tak dużą rolą odgrywaną przez technologie informacyjne w logistyce, postanowiono scharakteryzować kilka z nich. Na rysunku 3.4.1 przedstawiony został logistyczny system informacyjny, który integruje operatorów z branży Transport – Spedycja – Logistyka (TSL) z ogniwami łańcucha dostaw.



Rys. 3.4.1. Logistyczny system informacyjny integrujący operatorów z branży TSL z ogniwami łańcucha dostaw

Źródło: (Gołębska E., Szymczak M, 2004, s. 112)

Technologie informacyjne, a w szczególności Internet odegrał bardzo dużą rolę w zakresie wymiany informacji, co przyczyniło się do rozwoju branży TSL. Obecnie zarządzanie logistyczne wspierane jest przez różne rozwiązania informatyczne, tj. (Kawa, 2014, s. 1-10):

- elektroniczne aukcje,
- elektroniczne zamówienia,
- elektroniczne katalogi,
- elektroniczne hurtownie,
- elektroniczne giełdy.

Istnieje wiele różnych rozwiązań z zakresu IT w sferze logistyki. W zależności od obszaru, na którym skupiona jest uwaga (czy na obszarze czynności transportowych, magazynowych czy też aspekcie planowania) wyróżnić można inne technologie wspomagające pracę ludzi.

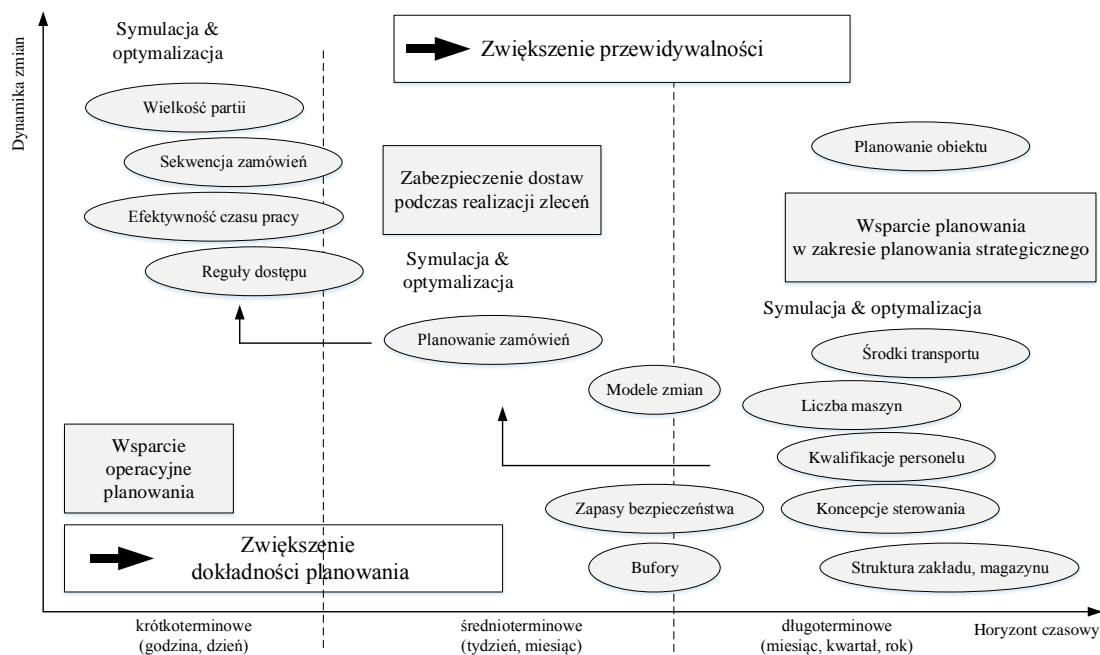
Najbardziej znane i kompleksowe systemy to:

- systemy planowania zasobów przedsiębiorstwa (ang. Enterprise Resource Planning – ERP),
- systemy planowania potrzeb materiałowych (ang. Material Requirements Planning – MRP) oraz systemy planowania zasobów wytwórczych przedsiębiorstwa (ang. Manufacturing Resource Planning – MRP II),

- systemy wspomagające zarządzanie produkcją (ang. Manufacturing Execution System – MES),
- systemy zarządzania gospodarką magazynową (ang. Warehouse Management Systems – WMS).

Stały rozwój technologii informatycznych oraz telekomunikacyjnych powoduje pojawianie się na rynku wielu rozwiązań ułatwiających funkcjonowanie przedsiębiorstwom, w tym również firmom z branży logistycznej.

W związku z rosnącą popularnością stosowania **symulacji komputerowych** w obszarze logistyki postanowiono w pierwszej kolejności przybliżyć zastosowanie symulacji. Karkula M. (2013, s. 16) w swojej pracy pt. „Modelowanie i symulacja procesów logistycznych” prezentuje potencjalne obszary zastosowania symulacji w analizie procesów i systemów logistycznych (rys. 3.4.2).



Rys. 3.4.2. Obszary zastosowania symulacji w analizie procesów i systemów logistycznych

Źródło: (Karkula, 2013, s. 16)

Inne przykładowe zastosowania symulacji komputerowej w obszarze logistyki to:

- symulacja operacji wykonywanych w terminalu kontenerowym (Boer i Saanen, 2014, s. 1783-1794),
- symulacja przepływu informacji dla morskiego łańcucha dostaw (Elbert i Walter, 2014, s. 1795-1806),

- symulacja łańcucha dostaw dla logistyki zwrotnej (Umeda, 2013, s. 3375-3384),
- symulacja sposobu lokowania produktów w magazynie manualnym (Clausen i in., 2013, s. 3430-3439),
- modelowanie operacji ruchu lotniczego (Shrestha i Mayer, 2008, s. 2673-2681).

Jeszcze innym zastosowaniem symulacji komputerowej jest modelowanie wirtualnych łańcuchów dostaw z perspektywy dwóch płaszczyzn – transportowej i zarządczej. Wirtualny łańcuch dostaw „(...) łączy termin organizacji wirtualnej oraz klasycznego łańcucha dostaw. Zgodnie z tym ujęciem, wirtualny łańcuch dostaw to globalny łańcuch dostaw, funkcjonujący w dynamicznej sieci firm zaangażowanych w wiele różnorodnych relacji” (Kisperska-Moroń., 2009, s. 33-34). Poprzez modelowanie procesów z perspektywy transportowej (przepływu materiałowego pomiędzy poszczególnymi ogniwami) możliwa jest analiza kosztów oraz czasu potrzebnego na realizację danego zlecenia. Ponadto, w sytuacji współpracy kilku przedsiębiorstw w zakresie transportu ładunków, w prosty i szybki sposób pokazać można korzyści wynikające w ich współpracy – z połączenia zadań transportowych. Przykładowe korzyści to: zwiększenie wypełnienia ładowności środka transportowego, wspólne partycypowanie w kosztach transportu, zmniejszenie liczby samochodów ciężarowych na drogach, zmniejszenie emisji spalin. W aspekcie zarządczym możliwe jest modelowanie procesów decyzyjnych w przedsiębiorstwie dotyczących np. doboru przedsiębiorstw do danego łańcucha dostaw, który tworzony jest na potrzeby realizacji danego zadania transportowego. W artykule Grzybowskiej i Hoffa (2015, s. 357-365) przedstawiono przykładowe wyniki badań dotyczących zastosowania symulacji do modelowania wirtualnych łańcuchów dostaw w dwóch wymienionych płaszczyznach. Opisano w nim aspekt współpracy przedsiębiorstw w oparciu o koordynację z wykorzystaniem elektronicznej tablicy zleceń.

Kolejnym rozwiązaniem informatycznym wspomagającym prowadzenie działań w obszarze logistyki są **gieldy elektroniczne**. Elektroniczna giełda transportowa to „wirtualny rynek, na którym spotykają się przedsiębiorstwa oferujące i poszukujące wolne ładunki do przewiezienia i/lub przestrzenie ładunkowe. Nazywa się ją więc czasami giełdą frachtów i przestrzeni ładunkowych” (Kawa, 2014, s. 2). Głównymi użytkownikami tych giełd są przedsiębiorstwa transportowe, aczkolwiek korzystają z nich również firmy produkcyjne i handlowe (Kawa, 2014; Borycka, Kempa, 2012, s. 18-27).

Istnieje wiele giełd transportowych w Europie. Jedne z najpopularniejszych to (Kawa, 2014, s. 1-10; <http://poradniktransportowy.pl>, data dostępu: 24.07.2015):

- Teleroute – założona w 1985 roku; obsługuje przedsiębiorstwa w 25 krajach europejskich; średnia dzienna liczba ofert na giełdzie to 200000 (<http://teleroute.co.uk>, data dostępu: 24.07.2015).
- TimoCom – powstała w 1997 roku; obecnie działa w 44 krajach europejskich; dostępna jest w 24 językach; dzienna liczba ofert wynosi ok. 450000. W 2012 roku wprowadziła giełdę magazynową, która umożliwia dostęp do ofert powierzchni magazynowych i logistycznych (<http://www.timocom.pl>, data dostępu: 24.07.2015).
- Trans.eu – polska giełda utworzona przez firmę Logintrans Sp. z o.o. w 2004 roku; obecnie dostępna w 20 językach; liczba ofert na giełdzie to nawet 150000 dziennie (<http://www.trans.eu>, data dostępu: 24.07.2015).

W ramach giełdy transportowej funkcjonuje giełda ładunków oraz giełda pojazdów. Na tej pierwszej znajdują się oferty dotyczące towarów (tzw. wolnych ładunków) do przewiezienia, druga zaś posiada spis ofert dotyczących przewozu, tzw. wolne przestrzenie transportowe.

Do najczęściej wymienianych w literaturze zalet korzystania z giełd transportowych zaliczyć należy (Kawa, 2014, s. 1-10; Borycka, Kempa, 2012, s. 18-27):

- skrócenie czasu poszukiwania firmy, która zrealizuje dane zlecenie,
- elastyczność wynikająca z braku ograniczeń w związku z czasem pracy człowieka,
- szybkość działania – informacje umieszczone na giełdzie udostępniane są od razu dla pozostałych użytkowników giełdy,
- stała dostępność do ofert (ograniczona jedynie brakiem połączenia internetowego),
- szybka wymiana informacji pomiędzy przedsiębiorstwami,
- redukcja papierowego przepływu dokumentów.

Warto dodać, iż obecnie giełdy elektroniczne nie pełnią już tylko roli miejsca wymiany informacji o wolnych ładunkach czy przestrzeniach transportowych. Poprzez dodatkowe moduły oferowane przez przedsiębiorstwa umożliwiają one także planowanie transportu, jego monitoring w czasie rzeczywistym, a nawet formy rozliczenia pomiędzy kontrahentami.

Innym, równie często co giełdy elektroniczne, stosowanym rozwiązaniem informatycznym wspomagającym funkcjonowanie przedsiębiorstw z zakresu TSL są **portale korporacyjne**. Ułatwiają one szybką wymianę informacji. Używane są jako koncentratory informacji. Według Kisperskiej-Moroń (2009, s.72-76) „portal korporacyjny to punkt dostępu, w którym następuje pozyskanie, organizowanie, modyfikowanie i dystrybuowanie wiedzy organizacyjnej. Jest to bezpieczny interfejs www, z którego mogą korzystać wszystkie podmioty związane z firmą: pracownicy, partnerzy, dostawcy, klienci”. Portal korporacyjny umożliwia użytkownikom szybkie dotarcie do narzędzi i aplikacji korporacyjnych, usług internetowych, a także zebranych przez przedsiębiorstwo informacji o klientach czy też produktach. Dzięki zastosowaniu portalu możliwy jest łatwy dostęp do tych informacji oraz efektywne zarządzanie tymi zasobami. (<http://www.e-mentor.edu.pl>, data dostępu: 15.08.2015).

W odniesieniu do branży logistycznej portale komunikacyjne umożliwiają tworzenie wirtualnych łańcuchów dostaw, a także ich sprawne i efektywne funkcjonowanie. Portale stosowane są zarówno do regularnych, powtarzalnych transakcji jak i nieregularnych, złożonych powiązań. Pojawienie się zamówienia powoduje tworzenie określonej konfiguracji wirtualnego łańcucha dostaw, w skład którego wchodzi różne przedsiębiorstwa (o różnym zakresie działalności) w zależności od potrzeb danego zlecenia (Kisperska-Moroń, 2009, s. 72-76).

3.5. Podsumowanie rozdziału

Rozdział ten zawiera definicje terminów związanych z tematyką niniejszej rozprawy: model oraz modelowanie. W związku zastosowaniem w części praktycznej oprogramowania symulacyjnego do zbudowania modelu systemu opisano również zagadnienia związane z symulacją komputerową, w tym etapy postępowania w ramach badań symulacyjnych.

Modelując system logistyczny, w którym uwzględniane są procesy realizowane w punkcie załadunku i rozładunku oraz proces transportowy pomiędzy tymi punktami, niezbędne jest zaprojektowanie sieci transportowej. W związku z tym przybliżono podstawowe metody modelowania sieci transportowych, tj.:

- modelowanie za pomocą grafu,
- modelowanie za pomocą algorytmów (np. algorytmy wyszukiwania najkrótszej ścieżki),
- oraz symulacyjne modelowanie sieci.

Opisano także technologie informatyczne stosowane w obszarze logistyki, tj.:

- giełdy elektroniczne,
- portale korporacyjne,
- oraz szeroki zakres zastosowania symulacji komputerowej.

Stały rozwój technologii informatycznych, z jednej strony usprawnia funkcjonowanie przedsiębiorstw w różnych obszarach prowadzonej działalności, lecz z drugiej strony wymusza na nich stałe nakłady (zarówno środków finansowych jak i czasowych) w rozwój posiadanego oprogramowania lub też wybór i zakup nowego. Jednak panująca na rynku konkurencja powoduje, iż przedsiębiorstwa dążąc do bycia elastycznymi (szybko reagującymi na zmiany na rynku) nieustannie poszukują i inwestują w nowe rozwiązania. Podstawą funkcjonowania przedsiębiorstw jest wymiana informacji, która musi cechować się szybkością i rzetelnością. Wdrażanie nowoczesnych technologii informatycznych dopasowanych do potrzeb przedsiębiorstwa jest podstawą do osiągnięcia sukcesu.

Część II – część empiryczna

4. Analiza procesów logistycznych w ujęciu 4-ro poziomowym

4.1. Wprowadzenie

Rozdział ten zawiera analizę procesów logistycznych z perspektywy występowania procesów multimodalnych oraz cyklicznych. W pierwszym kroku przeanalizowano procesy wykonywane w punkcie załadunku, rozładunku oraz w punktach przeładunkowych. Dla każdego z nich przedstawiono zasoby, procesy cykliczne oraz multimodalne na schemacie. Następnie analizie poddano pięć podstawowych modeli organizacji zadań transportowych. Zdefiniowano dla nich zasoby, procesy cykliczne oraz multimodalne. Dla tych modeli zaprezentowano również analizę 4-ro poziomową, z uwzględnieniem procesów zachodzących w punktach załadunkowych, rozładunkowych oraz przeładunkowych. Dla większości modeli przedstawiono skróconą wersję analizy 4-ro poziomowej – zawierającą poziom 0 oraz 1. Podejście to pozwala na dokładniejszą analizę realizowanych procesów oraz zachodzących relacji pomiędzy procesami na tym samym poziomie lub poziomach znajdujących się wyżej bądź niżej.

4.2. Punkty infrastrukturalne w ujęciu 4-ro poziomowym

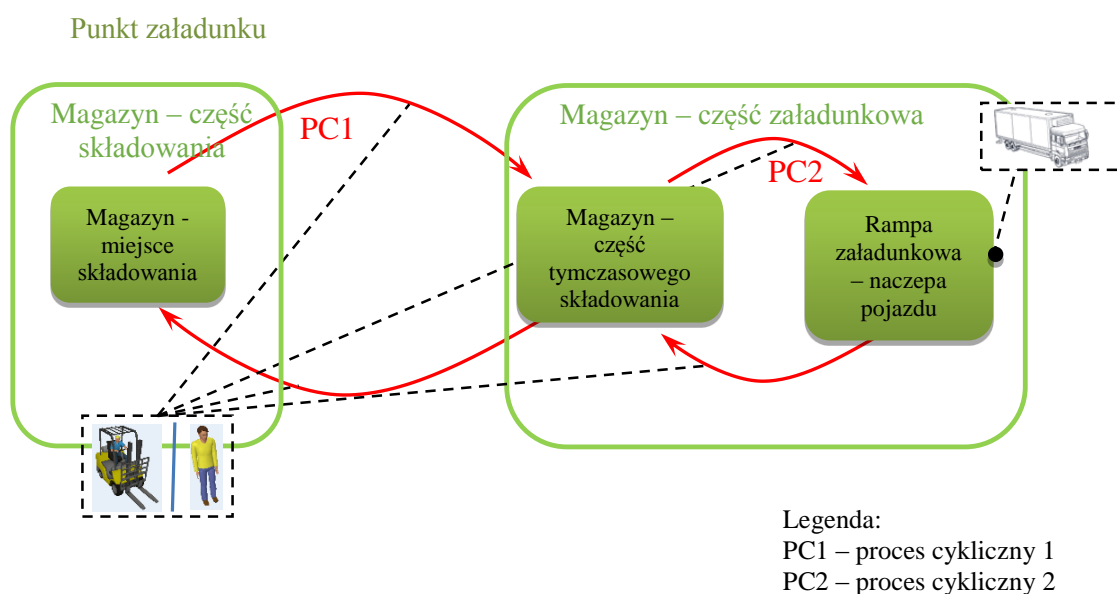
Analizie 4-ro poziomowej w pierwszej kolejności poddano procesy wykonywane w punkcie załadunkowym, następnie rozładunkowym oraz przeładunkowym. W przypadku punktu przeładunkowego wyróżniono kilka jego typów, w zależności od funkcji, jaką pełni. Inne procesy będą realizowane w sytuacji, gdy ładunek jest tylko przeładowywany z jednego środka transportowego na drugi, a inne, gdy jest dodatkowo przepakowywany lub chwilowo składowany. Dla wszystkich wyróżnionych punktów zaprezentowano procesy za pomocą skróconej analizy 4-ro poziomowej, uwzględniającej tylko poziom 0 oraz 1. Nie zaprezentowano poziomu multimodalnego oraz biznesowego, ponieważ dla każdego punktu wygląda on identycznie jak na zaprezentowanym przykładzie w podrozdziale 2.3 na rysunku 2.3.1. Zdefiniować można jeden proces multimodalny oraz jeden proces biznesowy.

4.2.1. Punkt załadunkowy

Pierwszym z przeanalizowanych punktów jest punkt załadunku. W punkcie tym uwzględniono procesy zachodzące pomiędzy częścią magazynu, w której towar jest przechowywany, a częścią załadunkową. W celu wysłania ładunku do klienta niezbędne jest jego pobranie z miejsca składowania, dostarczenie na rampę załadunkową, a następnie załadunek na środek transportowy. Ładunek może być transportowany przez pracownika bez użycia urządzeń lub z zastosowaniem urządzeń, np. wózka jezdniowego lub ręcznego wózka paletowego. Wszystkie wymienione procesy mają wpływ na całość organizowanego zadania transportowego – wpływają bezpośrednio na czas wyruszenia pojazdu z punktu początkowego.

Dla punktu załadunkowego zdefiniowano dwa procesy cykliczne (rys. 4.2.1):

- 1) transport towaru z miejsca składowania do miejsca tymczasowego składowania w części załadunkowej magazynu, a następnie powrót pracownika do punktu początkowego (PC1),
- 2) transport towaru z miejsca tymczasowego składowania w części załadunkowej magazynu na naczepę samochodu ciężarowego, a następnie powrót pracownika do punktu startu (PC2).



Rys. 4.2.1. Punkt załadunku – procesy cykliczne

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Hoffa i in., 2015, s. 2124)

Zasoby niezbędne do realizacji procesów w punkcie załadunku przedstawiono w tabeli 4.2.1.

Tab. 4.2.1. Punkt załadunku – zdefiniowane zasoby

Lp.	Nazwa	Wymiar
1.	Miejsce składowania w magazynie (pole odkładcze)	[m ²]
2.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie (pole odkładcze)	[m ²]
3.	Rampa załadunkowa	[szt.]
4.	Drogi transportowe w punkcie załadunku	[m]
5.	Środek transportowy (samochód ciężarowy)	[szt.]
6.	Wózek jezdniowy/ręczny wózek platformowy	[szt.]
7.	Pracownik	[szt.]

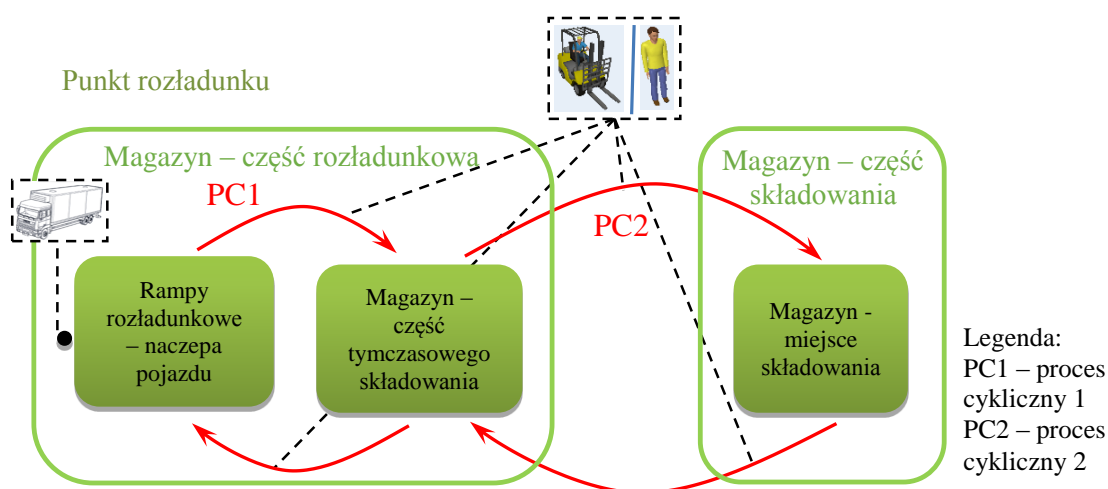
Źródło: opracowanie własne

W tabeli 4.2.1 dla każdego wyróżnionego zasobu określona została także jednostka, w której jest on definiowany.

4.2.2. Punkt rozładunkowy

Kolejny przeanalizowany punkt to punkt rozładunkowy. Uwzględniono w nim procesy zachodzące pomiędzy częścią rozładunkową, a częścią magazynową, w której towar jest przechowywany. Zdefiniowano tutaj dwa procesy cykliczne (rys. 4.2.2):

- 1) transport towaru z naczepy samochodu ciężarowego do tymczasowego miejsca składowania, a następnie powrót pracownika do punktu początkowego (PC1),
- 2) transport towaru z miejsca tymczasowego składowania w części rozładunkowej magazynu do miejsca składowania, a następnie powrót pracownika do punktu startu (PC2).



Rys. 4.2.2. Punkt rozładunkowy – procesy cykliczne

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Hoffa i in., 2015, s. 2124)

Tabela 4.2.2 zawiera zestawienie zasobów niezbędnych do realizacji procesów w punkcie rozładunku.

Tab. 4.2.2. Punkt rozładunku – zdefiniowane zasoby

Lp.	Nazwa	Wymiar
1.	Rampa rozładunkowa	[szt.]
2.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie (pole odkładcze)	[m ²]
3.	Miejsce składowania w magazynie (pole odkładcze)	[m ²]
4.	Drogi transportowe w punkcie rozładunku	[m]
5.	Środek transportowy (samochód ciężarowy)	[szt.]
6.	Wózek jezdniowy/ręczny wózek paletowy	[szt.]
7.	Pracownik	[szt.]

Źródło: opracowanie własne

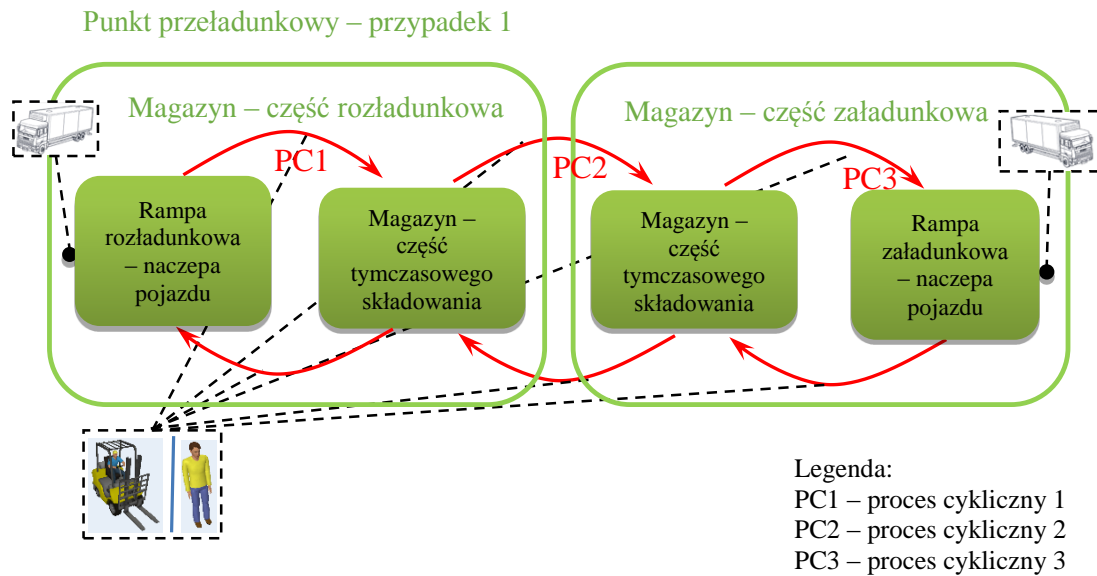
W tabeli 4.2.2 dla każdego wyróżnionego zasobu określona została także jednostka, w której jest on definiowany.

4.2.3. Punkty przeładunkowe

Punkt przeładunkowy to miejsce w łańcuchu dostaw, w którym realizowane mogą być różne procesy. Budowa punktu oraz wykonywane w nim procesy zależą od tego, jakie funkcje ma on pełnić. Na potrzeby pracy zdefiniowano cztery podstawowe schematy działania miejsca przeładunkowego, w zależności od pełnionych funkcji:

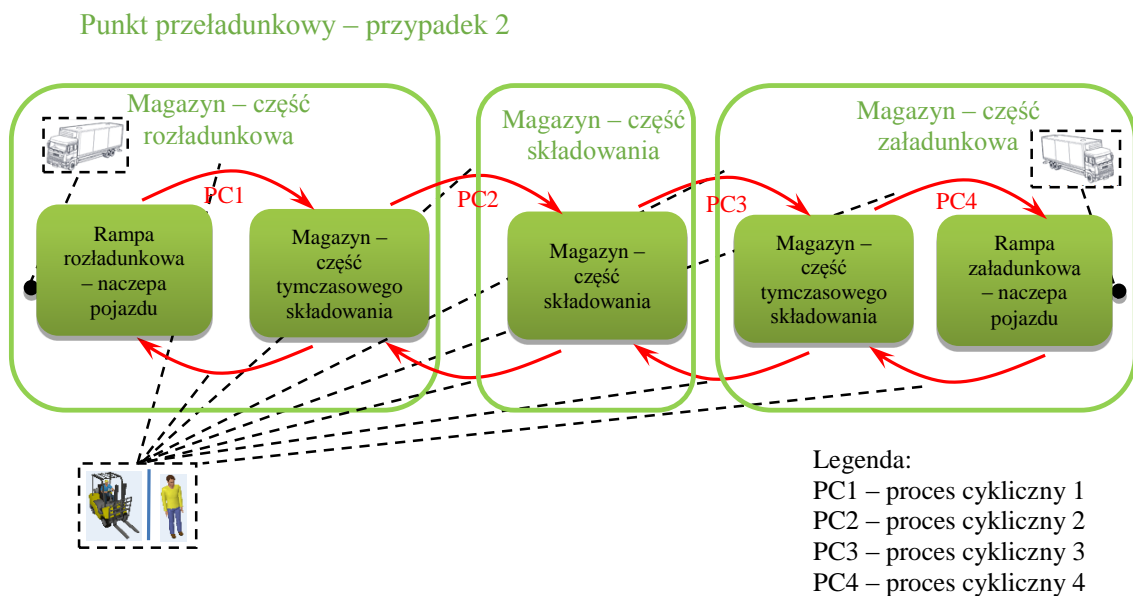
- przypadek 1 – rozładunek towaru w punkcie i załadunek na nowy środek transportowy, bez czynności składowania,
- przypadek 2 – rozładunek towaru, tymczasowe przechowywanie, załadunek na środek transportowy,
- przypadek 3 – rozładunek towaru, przepakowanie, załadunek na środek transportowy, bez czynności składowania,
- przypadek 4 – rozładunek towaru, przepakowanie, przechowywanie, załadunek na środek transportowy.

Dla każdego z tych przypadków zdefiniowano inne procesy cykliczne oraz zasoby niezbędne do ich realizacji. Skróconą analizę 4-ro poziomową dla każdego wyróżnionego przypadku punktu przeładunkowego przedstawiono na rysunkach 4.2.3-4.2.6.



Rys. 4.2.3. Procesy cykliczne w punkcie przeładunkowym – przypadek 1

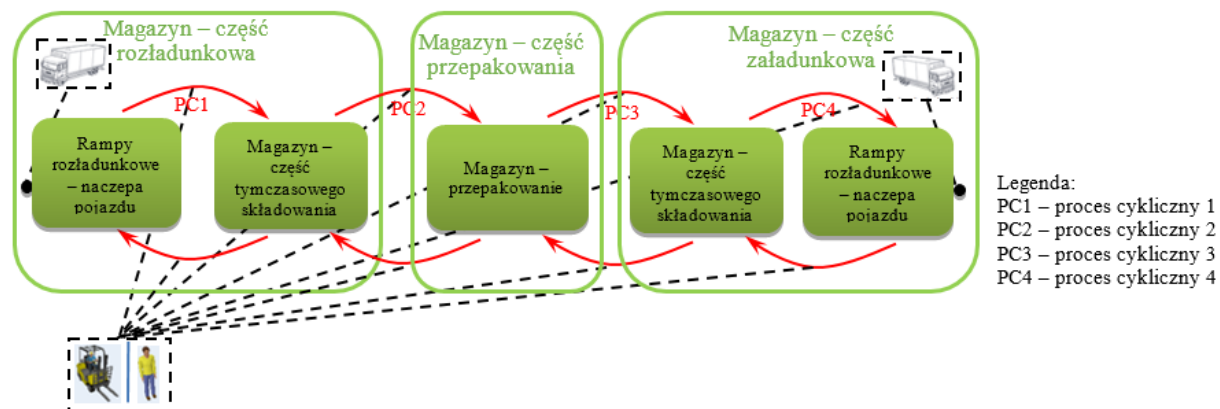
Źródło: opracowanie własne



Rys. 4.2.4. Procesy cykliczne w punkcie przeładunkowym – przypadek 2

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Hoffa i in., 2015, s. 2124)

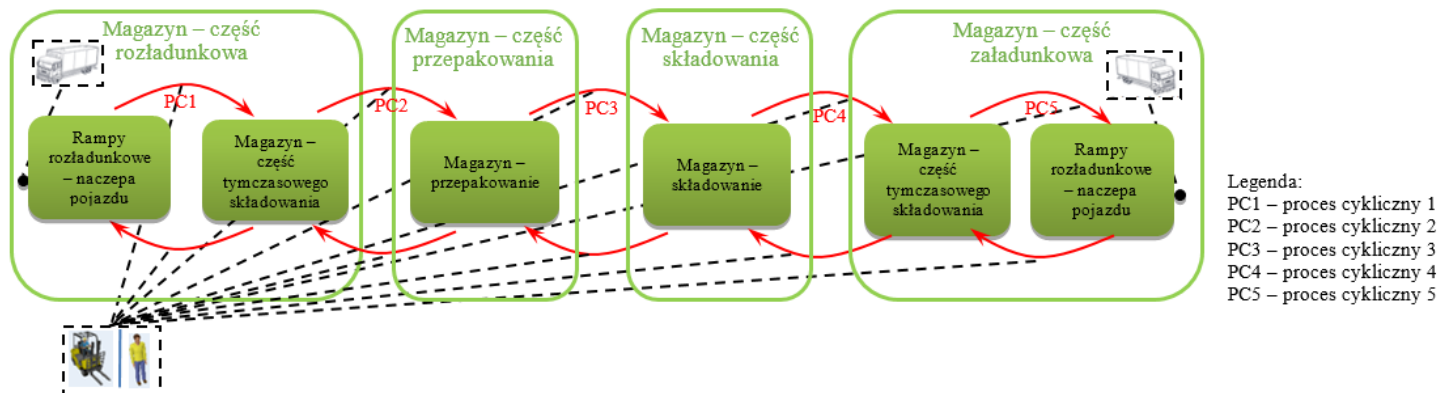
Punkt przeładunkowy – przypadek 3



Rys. 4.2.5. Procesy cykliczne w punkcie przeładunkowym – przypadek 3

Źródło: opracowanie własne

Punkt przeładunkowy – przypadek 4



Rys. 4.2.6. Procesy cykliczne w punkcie przeładunkowym – przypadek 4

Źródło: opracowanie własne

W celu uniknięcia powtórzeń, postanowiono przedstawić spis zasobów tylko dla jednego przypadku punktu przeładunkowego – dla najbardziej rozbudowanego, czyli przypadku ostatniego. Zasoby potrzebne do wykonania procesów w punkcie przeładunkowym nr 4 przedstawiono w tabeli 4.2.3.

Tab. 4.2.3. Punkt przeładunkowy 4 – zdefiniowane zasoby

Lp.	Nazwa	Wymiar
1.	Rampa rozładunkowa	[szt.]
2.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie przy rampie rozładunkowej (pole odkładcze)	[m ²]
3.	Miejsce przepakowania w magazynie	[m ²]
4.	Miejsce składowania w magazynie (pole odkładcze)	[m ²]
5.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie przy rampie załadunkowej (pole odkładcze)	[m ²]
6.	Rampa załadunkowa	[szt.]
7.	Drogi transportowe w punkcie przeładunkowym	[m]
8.	Środek transportowy (samochód ciężarowy)	[szt.]
9.	Wózek jezdniowy/ręczny wózek paletowy	[szt.]
10.	Pracownik	[szt.]

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 4.2.3 dla każdego wyróżnionego zasobu określono także jednostkę, w której jest on definiowany.

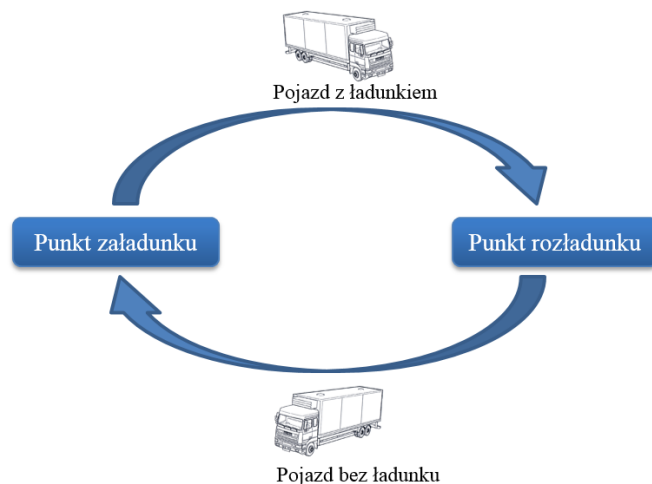
4.3. Modele organizacji zadań transportowych w ujęciu 4-ro poziomowym

Zarządzanie procesami transportowymi obejmuje szereg zagadnień: od wyboru środka transportowego, wyboru trasy przejazdu, po próby konsolidacji ładunków w celu obniżenia kosztów prowadzenia działalności, a także ze względu na czynności proekologiczne. Dobra organizacja zadań transportowych umożliwia sprostanie stawianym przez klientów oczekiwaniom, przy jednoczesnej maksymalizacji zysku z danej usługi przewozowej. Dlatego też poszukuje się rozwiązań ułatwiających zarządzanie zadaniami transportowymi. W ramach organizacji zleceń transportowych definiuje się pięć podstawowych modeli (Stajniak i in., 2008, s. 91-94): model wahadłowy, model wahadłowy-ciągły, model promienisty, model obwodowy, model sztafetowy. Modele te są bazą do budowania bardziej skomplikowanych układów w ramach łańcucha dostaw.

Procesy zachodzące w każdym z tych modeli poddano analizie 4-ro poziomowej. Dla każdego z modeli organizacji zadań transportowych przedstawiono w pierwszej kolejności schemat prezentujący zasoby, procesy cykliczne oraz multimodalne. W następnym kroku zaprezentowano analizę 4-ro poziomową zawierającą procesy zachodzące w poszczególnych punktach załadunkowych, rozładunkowych oraz przeładunkowych. Dla większości modeli przedstawiono skróconą wersję analizy 4-ro poziomowej – zawierającą poziom 0 oraz 1. Dla jednego przypadku zawiera również poziom 2. Spowodowane jest to faktem, iż procesy na nieprzedstawionych poziomach są identyczne jak w przykładzie opisanym w rozdziale 2.3 na rysunku 2.3.1. Zdefiniować można jeden proces multimodalny oraz jeden proces biznesowy.

4.3.1. Model wahadłowy

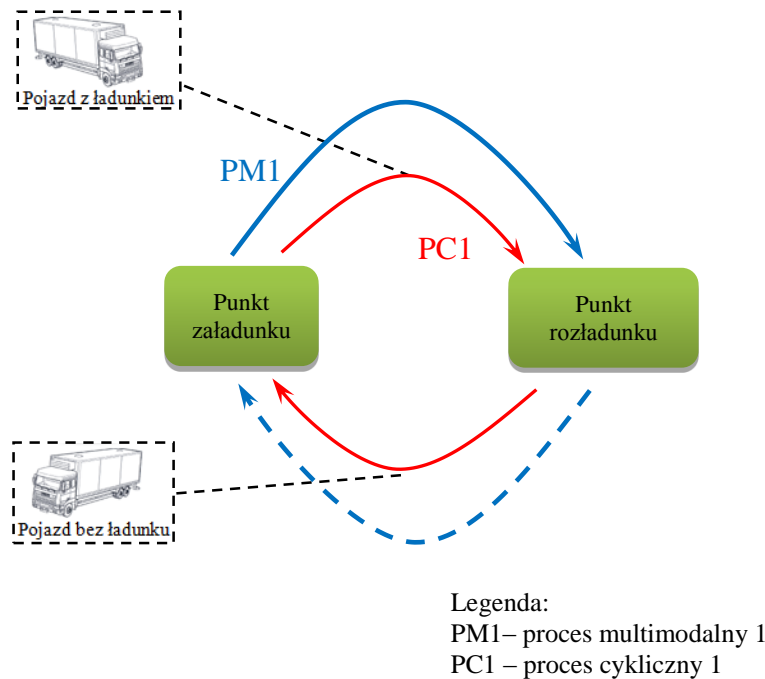
Model wahadłowy charakteryzuje się tym, iż środek transportowy kursuje regularnie pomiędzy dwoma punktami (załadunku i rozładunku) (rys.4.3.1). Przykładem takiego modelu jest codzienna dostawa świeżego mięsa do firmowego sklepu mięsnego, a następnie powrót pustym pojazdem do bazy (Stajniak i in., 2008, s. 91).



Rys. 4.3.1. Model wahadłowy

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Stajniak i in., 2008, s. 91)

W przypadku analizowanego modelu wahadłowego zdefiniować można jeden proces multimodalny (PM1), którego celem jest bezpośrednie dostarczenie towaru od punktu załadunku do punktu rozładunku, a następnie powrót środka transportowego do miejsca startu. Dla tego modelu wyróżnić można jeden proces cykliczny, który wygląda identycznie jak proces multimodalny (rys. 4.3.2) – transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku oraz powrót środka transportowego do punktu początkowego (PC1).



Rys. 4.3.2. Wyróżnione zasoby, procesy cykliczne oraz multimodalne dla modelu wahadłowego

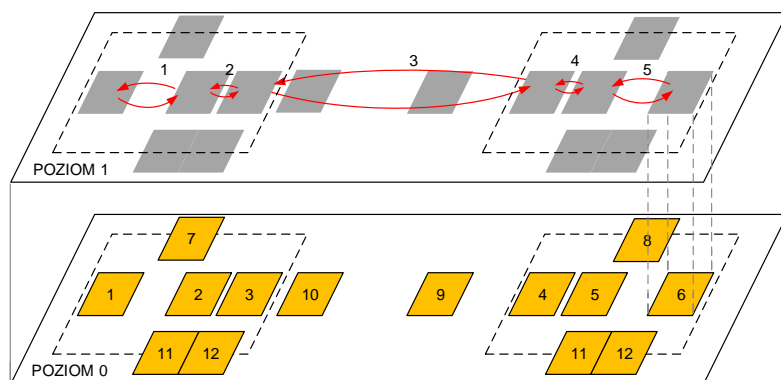
Źródło: opracowanie własne

Podstawowym zadaniem każdego łańcucha dostaw jest transport towarów od przedsiębiorstwa do klienta ostatecznego, co reprezentuje poziom procesów biznesowych. W przypadku modelu wahadłowego uwzględniany jest dodatkowo powrót pustego środka transportowego do punktu początkowego. Powrót pustego pojazdu nie przynosi zysków, a wręcz generuje straty, jednak jest niezbędny do ponownej realizacji cyklicznych dostaw. Dla tego modelu organizacji transportu (z uwzględnieniem procesów realizowanych w punkcie załadunku oraz rozładunku) wyróżnić można jeden proces multimodalny, który składa się z wielu procesów cyklicznych:

- 1) pobranie towaru w punkcie załadunku z miejsca składowania i przetransportowanie go do tymczasowego miejsca składowania (TMS), a następnie powrót pracownika do miejsca składowania (PC1); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 2) pobranie towaru w punkcie załadunku z TMS i załadowanie go na naczepę, a następnie powrót pracownika do TMS (PC2); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 3) transport towaru za pomocą samochodu ciężarowego z punktu załadunku do punktu rozładunku, a następnie powrót samochodu ciężarowego do punktu początkowego (PC3);

- 4) transport towaru w punkcie rozładunku z naczepy do TMS, a następnie powrót pracownika na naczepę (PC4); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 5) pobranie ładunku w punkcie rozładunku i jego transport z TMS do punktu składowania, a następnie powrót pracownika do TMS (PC5); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego.

Rysunek 4.3.3 przedstawia skróconą analizę 4-ro poziomową dla modelu wahadłowego. Najniższy poziom na rysunku 4.3.3 prezentuje zasoby, które są niezbędne do realizacji procesów w kolejnych etapach realizacji zadania transportowego.



Rys. 4.3.3. Model wahadłowy – skrócona 4-ro poziomowa analiza procesów
Źródło: opracowanie własne

Wyróżnione zasoby przedstawiono w tabeli 4.3.1.

Tab. 4.3.1. Model wahadłowy – zdefiniowane zasoby

Lp.	Nazwa	Wymiar
1.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie załadunku (pole odkładcze)	[m ²]
2.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie załadunku (pole odkładcze)	[m ²]
3.	Rampa załadunkowa	[szt.]
4.	Rampa rozładunkowa	[szt.]
5.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie rozładunku (pole odkładcze)	[m ²]
6.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie rozładunku (pole odkładcze)	[m ²]
7.	Drogi transportowe w punkcie załadunku	[m]
8.	Drogi transportowe w punkcie rozładunku	[m]
9.	Publiczne drogi transportowe	[km]
10.	Środek transportowy (samochód ciężarowy)	[szt.]
11.	Wózek jezdniowy	[szt.]
12.	Pracownik	[szt.]

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.3.1 zawiera spis zasobów niezbędnych do realizacji procesu przemieszczenia towaru w modelu wahadłowym z uwzględnieniem procesów realizowanych w punkcie załadunkowym oraz rozładunkowym. Dla każdego zasobu określono jednostkę, w której jest on definiowany.

4.3.2. Model wahadłowo-ciągły

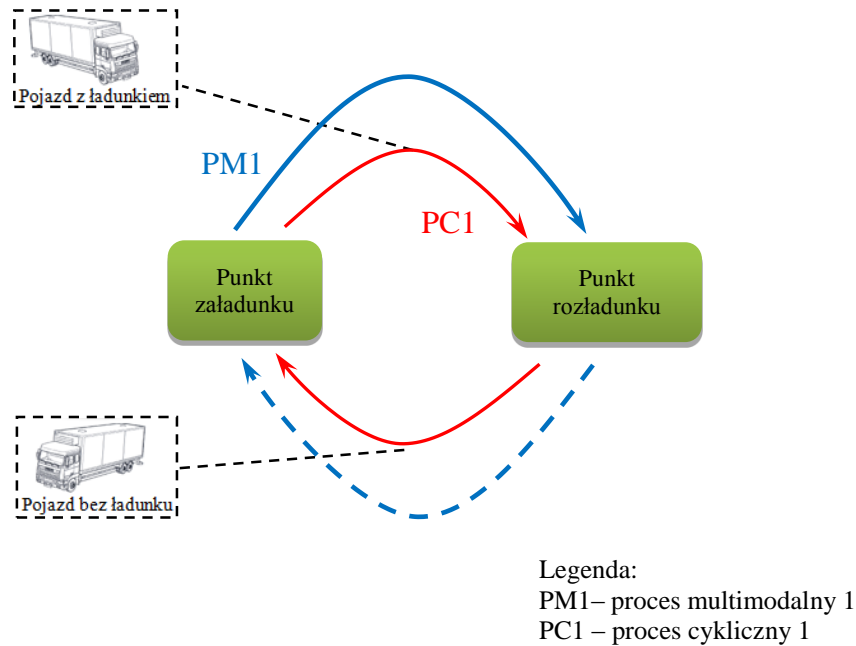
Model wahadłowo-ciągły charakteryzuje się tym, iż środek transportowy nie oczekuje w miejscach załadunku i rozładunku, tylko po dotarciu do nich zabiera załadowaną lub pustą naczepę, przyczepę, kontener, nadwozie wymiennie i udaje się do kolejnego miejsca (rys. 4.3.4). Z modelem tym mamy do czynienia w przypadku dostaw części samochodowych od podwykonawców do fabryki. Części te, w celu ochrony, dostarczane są często w specjalnych pojemnikach, kontenerach. Podwykonawca dostarcza do fabryki (miejsca rozładunku) pełny pojemnik z określonymi elementami, a zabiera pusty, który transportuje do miejsca załadunku (Stajniak i in., 2008, s. 92).



Rys. 4.3.4. Model wahadłowy-ciągły

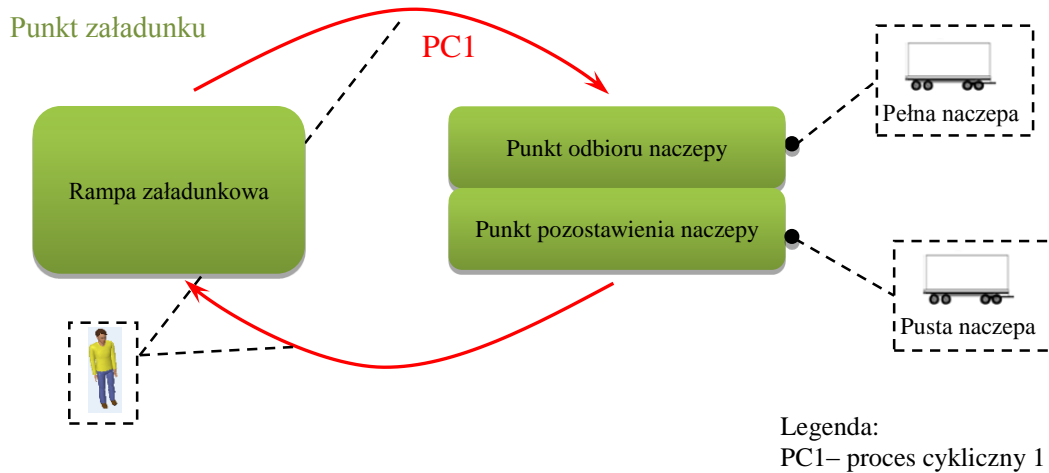
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Stajniak i in., 2008, s. 92)

Przeanalizowano model wahadłowo-ciągły w aspekcie zasobów, procesów cyklicznych oraz multimodalnych. Ponownie zdefiniowano jeden proces multimodalny (PM1), którego celem jest dostarczenie towaru od punktu załadunku do punktu rozładunku (rys. 4.3.5). Dla tego modelu wyróżniono jeden proces cykliczny, który wygląda identycznie jak proces multimodalny – transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku oraz powrót środka transportowego do punktu początkowego (PC1).



Rys. 4.3.5. Wyróżnione zasoby, procesy cykliczne i multimodalne dla modelu wahadłowo-ciągłego
Źródło: opracowanie własne

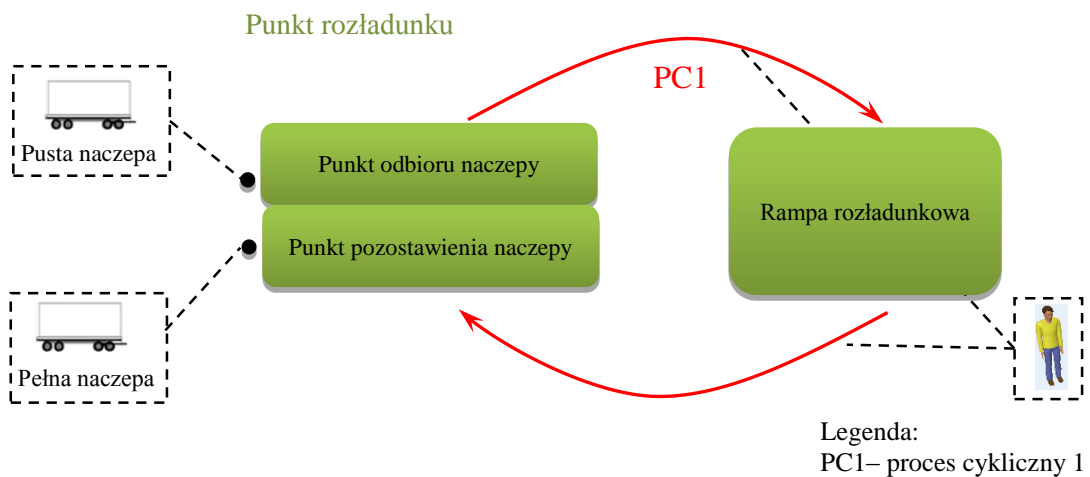
W następnym kroku ponownie zaprezentowano omawiany model za pomocą skróconej wersji 4-ro poziomowej analizy z uwzględnieniem punktu załadunku i rozładunku. W tym przypadku, w punkcie załadunku rozważyć należy pozostawienie pustej naczepy i zabranie pełnej. Zgodnie z specyfiką tego modelu, środek transportowy nie oczekuje na załadunek/rozładunek, w związku z tym postanowiono nie analizować pewnych czynności w punkcie początkowym i końcowym. W przypadku miejsca załadunku nie uwzględniono pobrania ładunku z magazynu i załadowania go na naczepę. Czynności te mogą zostać wykonane odpowiednio wcześniej, co powoduje, że nie mają bezpośredniego wpływu na czas realizacji procesu transportowego. W związku z tym, że tylko w tym modelu operacje w punkcie załadunku i rozładunku wyglądają inaczej niż przedstawione w punkcie 2.3 postanowiono je tutaj zaprezentować. W tej sytuacji w punkcie załadunku wyróżnić można jeden proces cykliczny (rys. 4.3.6) – transport pełnej naczepy z rampy załadunkowej do punktu odbioru przez środek transportowy, a następnie powrót zasobu wykonującego operacje do punktu początkowego lub transport pustej naczepy z miejsca pozostawienia (odbioru) do rampy załadunkowej, a następnie powrót zasobu wykonującego operacje do punktu początkowego (PC1).



Rys. 4.3.6. Punkt załadunku – procesy cykliczne

Źródło: opracowanie własne

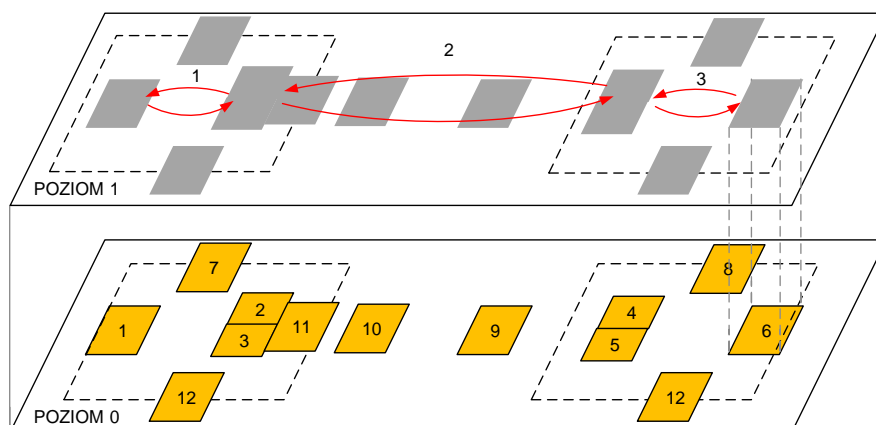
Następnym rozpatrywanym miejscem jest punkt rozładunkowy, w którym wyróżnić można jeden proces cykliczny (rys. 4.3.7) – transport pełnej naczepy z punktu pozostawienia naczepy na rampę rozładunkową, a następnie powrót zasobu wykonującego operację do punktu początkowego lub transport pustej naczepy z rampy rozładunkowej do punktu odbioru naczepy, a następnie powrót zasobu wykonującego operacje do punktu początkowego (PC1).



Rys. 4.3.7. Procesy cykliczne w punkcie rozładunkowym

Źródło: opracowanie własne

Za pomocą skróconej wersji 4-ro poziomowej analizy zaprezentowano procesy dla modelu wahadłowo-ciągłego (rys. 4.3.8).



Rys. 4.3.8. Model wahadłowy-ciągły – 4-ro poziomowa analiza procesów
Źródło: opracowanie własne

Tak jak w przypadku modelu wahadłowego pominięto poziom procesów biznesowych oraz multimodalnych. Na poziomie procesów cyklicznych zdefiniowano trzy procesy:

- 1) transport załadowanej naczepy z rampy załadunkowej do punktu odbioru naczepy lub transport pustej naczepy z punktu pozostawienia naczepy na rampę załadunkową (PC1);
- 2) transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku (za pomocą środka transportowego), a następnie powrót środka transportowego z pustą naczepą z punktu rozładunku do punktu załadunku (PC2);
- 3) transport załadowanej naczepy z punktu pozostawienia naczepy na rampę rozładunkową lub transport pustej naczepy z rampy rozładunkowej do punktu odbioru naczepy (PC3).

Tabela 4.3.2 przedstawia zasoby niezbędne do realizacji wyróżnionych procesów dla modelu wahadłowo-ciągłego.

Tab. 4.3.2. Model wahadłowy-ciągły – zdefiniowane zasoby

Lp.	Nazwa	Wymiar
1.	Rampa załadunkowa	[szt.]
2.	Miejsce pozostawienia naczepy w punkcie załadunkowym	[m ²]
3.	Miejsce odbioru naczepy w punkcie załadunkowym	[m ²]
4.	Miejsce pozostawienia naczepy w punkcie rozładunkowym	[m ²]
5.	Miejsce odbioru naczepy w punkcie rozładunkowym	[m ²]
6.	Rampa rozładunkowa	[szt.]

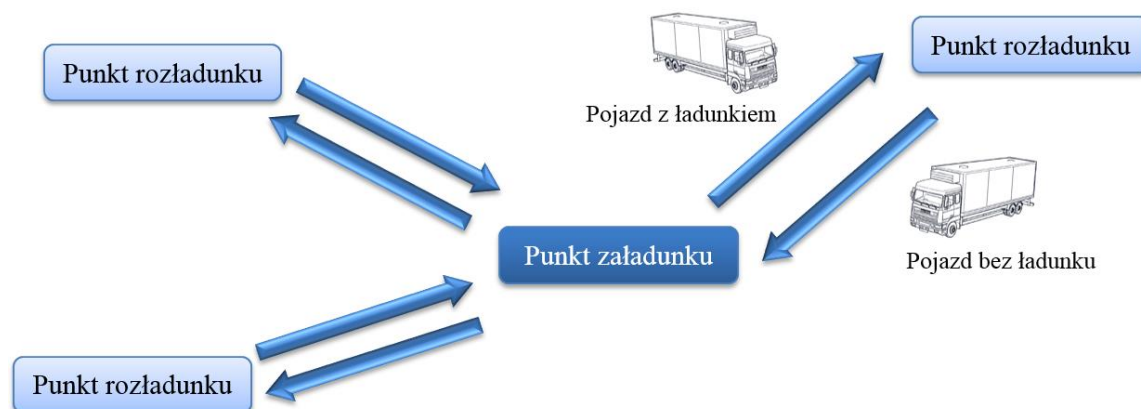
Lp.	Nazwa	Wymiar
7.	Drogi transportowe w punkcie załadunku	[m]
8.	Drogi transportowe w punkcie rozładunku	[m]
9.	Publiczne drogi transportowe	[km]
10.	Środek transportowy (samochód ciężarowy)	[szt.]
11.	Naczepa pojazdu	[szt.]
12.	Pracownik	[szt.]

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.3.2 przedstawia zasoby niezbędne do realizacji procesu przemieszczenia towaru w modelu wahadłowym z uwzględnieniem procesów realizowanych w punkcie załadunkowym oraz rozładunkowym. Dla każdego zasobu określono jednostkę, w której jest on definiowany.

4.3.3. Model promienisty

Dostarczanie towaru z jednego miejsca załadunku do wielu miejsc rozładunku to typowe postępowanie w przypadku modelu promienistego (rys. 4.3.9). Po rozładunku w danym punkcie, środek transportowy wraca do miejsca załadunku, gdzie jest ponownie załadowywany i przewozi towary do innych punktów odbioru. Z modelem tym mamy do czynienia w sytuacji dostaw produktów z magazynu centralnego do magazynów regionalnych, z których następuje dalsza dystrybucja (Stajniak i in., 2008, s. 92).



Rys. 4.3.9. Model promienisty

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Stajniak i in., 2008, s. 92)

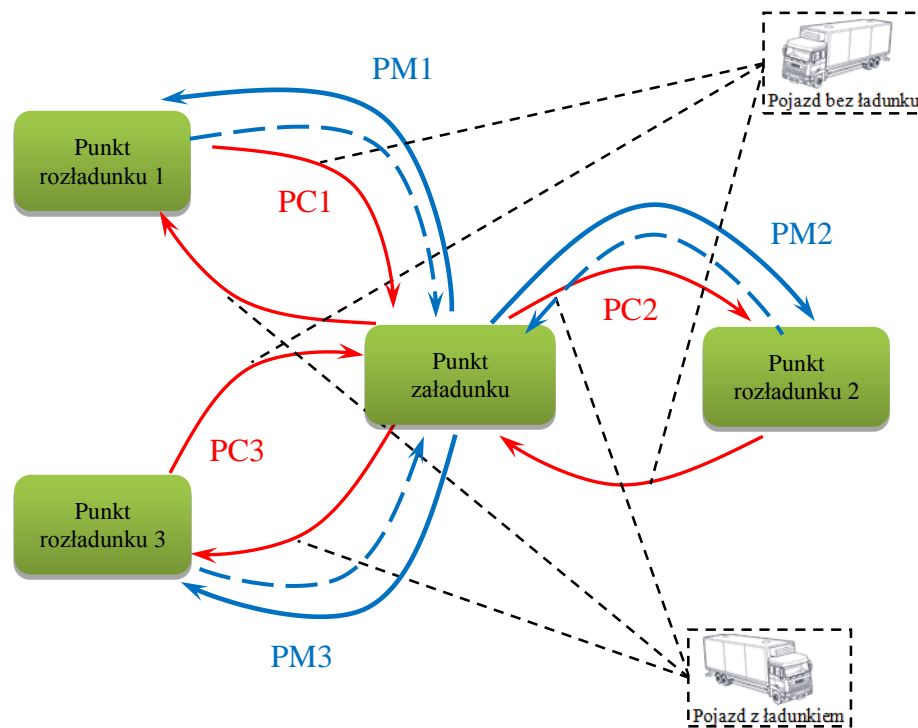
Analizując procesy zachodzące w modelu promienistym zauważyć można ich powtarzalność – dla każdego transportu z punktu załadunku do rozładunku będziemy mieli do czynienia z tymi samymi czynnościami. Rozważając ujęcie procesowe dla

danego zlecenia transportowego należałoby na początku założyć ilość punktów rozładunkowych dla danego zlecenia.

Przyjmując zgodnie z rysunkiem, że towary transportowane są do trzech punktów, wyróżnić można trzy procesy multimodalne (PM), których celem jest dostarczenie towaru od punktu załadunku do każdego punktu rozładunku. Wyróżnienie trzech procesów podyktowane jest faktem, że za każdym razem przewożone są inne towary, i ich proces kończy się w punkcie rozładunku. Jednocześnie wyróżnić można trzy procesy cykliczne, które w tym przypadku wyglądają identycznie jak procesy multimodalne:

- 1) transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku nr 1, a następnie powrót środka transportowego do punktu początkowego (PC1);
- 2) transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku nr 2, a następnie powrót środka transportowego do punktu początkowego (PC2);
- 3) transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku nr 3, a następnie powrót środka transportowego do punktu początkowego (PC3).

Procesy multimodalne oraz cykliczne przedstawiono na rysunku 4.3.10.

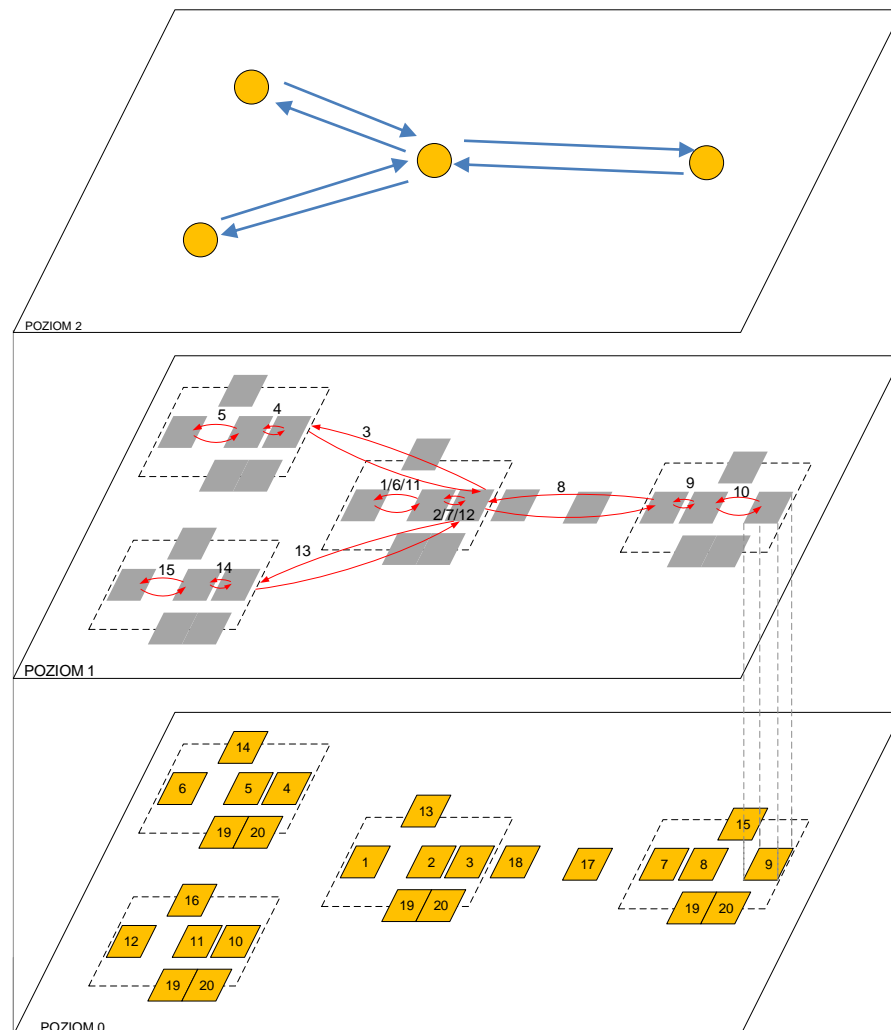


Legenda:

PM1 – proces multimodalny 1	PC1 – proces cykliczny 1
PM2 – proces multimodalny 2	PC2 – proces cykliczny 2
PM3 – proces multimodalny 3	PC3 – proces cykliczny 3

Rys. 4.3.10. Model promienisty – procesy multimodalne i cykliczne
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Hoffa i in., 2015, s. 2124)

Model promienisty w ujęciu 4-ro poziomowym bez poziomu procesów biznesowych prezentuje rysunek 4.3.11. W związku z występowaniem procesów multimodalnych zaprezentowano poziom 2.



Rys. 4.3.11. Model promienisty – 4-ro poziomowa analiza procesów
Źródło: opracowanie własne

Analizując zaprezentowany model promienisty z uwzględnieniem czynności w punkcie załadunku oraz w punktach rozładunku wyróżnić można trzy procesy multimodalne (takie same jak powyżej) oraz piętnaście procesów cyklicznych:

- 1) pobranie towaru przez pracownika z miejsca składowania i przetransportowanie go do tymczasowego miejsca składowania w punkcie załadunku, a następnie powrót pracownika do punktu początkowego (PC1); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 2) pobranie towaru z TMS w punkcie załadunku i załadowanie go na naczepę, a następnie powrót pracownika do TMS (PC2); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;

- 3) transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku nr 1 za pomocą środka transportowego, a po rozładowaniu powrót pojazdu do punktu załadunku (PC3);
- 4) transport towaru z naczepy do TMS w punkcie rozładunku 1, a następnie powrót pracownika na naczepę po kolejną paletę z towarem (PC4); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 5) pobranie towaru, jego transport z TMS w punkcie rozładunku 1 do punktu składowania, a następnie powrót pracownika do TMS (PC5); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 6) w związku z ponownym załadowaniem środka transportowego, czynności wykonywane w punkcie załadunku powtarzają się, zatem proces ten jest identyczny jak pierwszy proces cykliczny (PC6);
- 7) sytuacja jak w procesie 6, proces ten jest identyczny jak drugi proces cykliczny (PC7);
- 8) transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku nr 2 za pomocą środka transportowego, a po rozładowaniu powrót pojazdu do punktu załadunku (PC8);
- 9) w związku z ponownie realizowanym procesem rozładunku, tylko w innym punkcie, proces ten jest identyczny jak czwarty proces cykliczny (PC9);
- 10) w związku z ponownie realizowanym procesem rozładunku, tylko w innym punkcie, proces ten jest identyczny jak piąty proces cykliczny (PC10);
- 11) w związku z ponownym załadowaniem środka transportowego, czynności wykonywane w punkcie załadunku powtarzają się, zatem proces ten jest identyczny jak pierwszy proces cykliczny (PC11);
- 12) sytuacja jak w procesie jedenastym, proces ten jest identyczny jak drugi proces cykliczny (PC12);
- 13) transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku nr 3 za pomocą środka transportowego, a po rozładowaniu powrót pojazdu do punktu załadunku (PC13);
- 14) w związku z ponownie realizowanym procesem rozładunku, tylko w innym punkcie, proces ten jest identyczny jak czwarty proces cykliczny (PC14);
- 15) w związku z ponownie realizowanym procesem rozładunku, tylko w innym punkcie, proces ten jest identyczny jak piąty proces cykliczny (PC15).

Tabela 4.3.3 zawiera spis zasobów niezbędnych do realizacji wyróżnionych procesów w modelu promienistym.

Tab. 4.3.3. Model promienisty – zdefiniowane zasoby

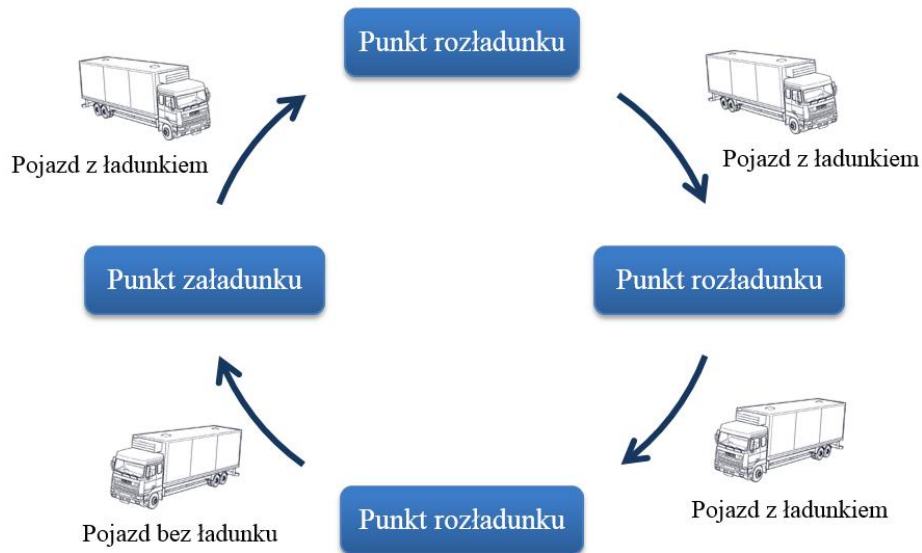
Lp.	Nazwa	Wymiar
1.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie załadunku (pole odkładcze)	[m ²]
2.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie załadunku (pole odkładcze)	[m ²]
3.	Rampa załadunkowa	[szt.]
4.	Rampa rozładunkowa w punkcie rozładunkowym nr 1	[szt.]
5.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 1 (pole odkładcze)	[m ²]
6.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 1 (pole odkładcze)	[m ²]
7.	Rampa rozładunkowa w punkcie rozładunkowym nr 2	[szt.]
8.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 2 (pole odkładcze)	[m ²]
9.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 2 (pole odkładcze)	[m ²]
10.	Rampa rozładunkowa w punkcie rozładunkowym nr 3	[szt.]
11.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 3 (pole odkładcze)	[m ²]
12.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 3 (pole odkładcze)	[m ²]
13.	Drogi transportowe w punkcie załadunku	[m]
14.	Drogi transportowe w punkcie rozładunkowym nr 1	[m]
15.	Drogi transportowe w punkcie rozładunkowym nr 2	[m]
16.	Drogi transportowe w punkcie rozładunkowym nr 3	[m]
17.	Publiczne drogi transportowe	[km]
18.	Środek transportowy (samochód ciężarowy)	[szt.]
19.	Wózek widłowy	[szt.]
20.	Pracownik	[szt.]

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 4.3.3 dla każdego wyróżnionego zasobu określono także jednostkę, w której jest on definiowany.

4.3.4. Model obwodowy

Załadunek w jednym punkcie, a następnie dostawa do kolejnych punktów rozładunku to tak zwany model obwodowy (rys. 4.3.12). Jest on charakterystyczny dla działalności kurierskiej oraz dystrybucyjnej (Stajniak i in., 2008, s. 93).



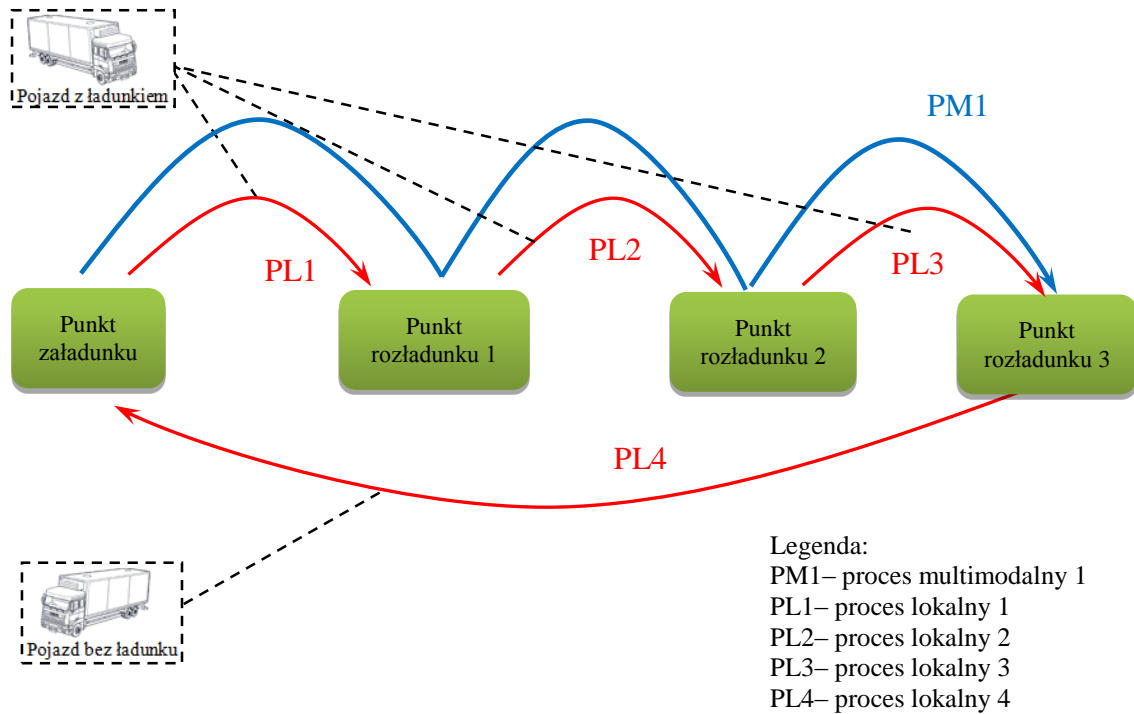
Rys. 4.3.12. Model obwodowy

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Stajniak i in., 2008, s. 93)

W przypadku analizowanego modelu obwodowego wyróżnić można jeden proces multimodalny (PM), którego celem jest dostarczenie towaru od punktu załadunku kolejno do punktów rozładunkowych (rys. 4.3.13). Zdefiniować można cztery procesy lokalne:

- 1) transport partii towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku nr 1 (PL1);
- 2) przejazd środka transportowego z punktu rozładunku nr 1 do punktu rozładunku nr 2 w celu dostarczenia określonej partii towaru (PL2);
- 3) przejazd środka transportowego z punktu rozładunku nr 2 do punktu rozładunku nr 3 w celu dostarczenia określonej partii towaru (PL3);
- 4) przejazd środka transportowego z punktu rozładunku nr 3 do punktu załadunku (PL4).

Środek transportowy po dotarciu do ostatniego punktu rozładunkowego wraca do punktu załadunkowego, w celu rozpoczęcia ponownego cyklu rozwożenia towarów. Różnicę pomiędzy procesem cyklicznym a lokalnym opisano w podrozdziale 2.3.



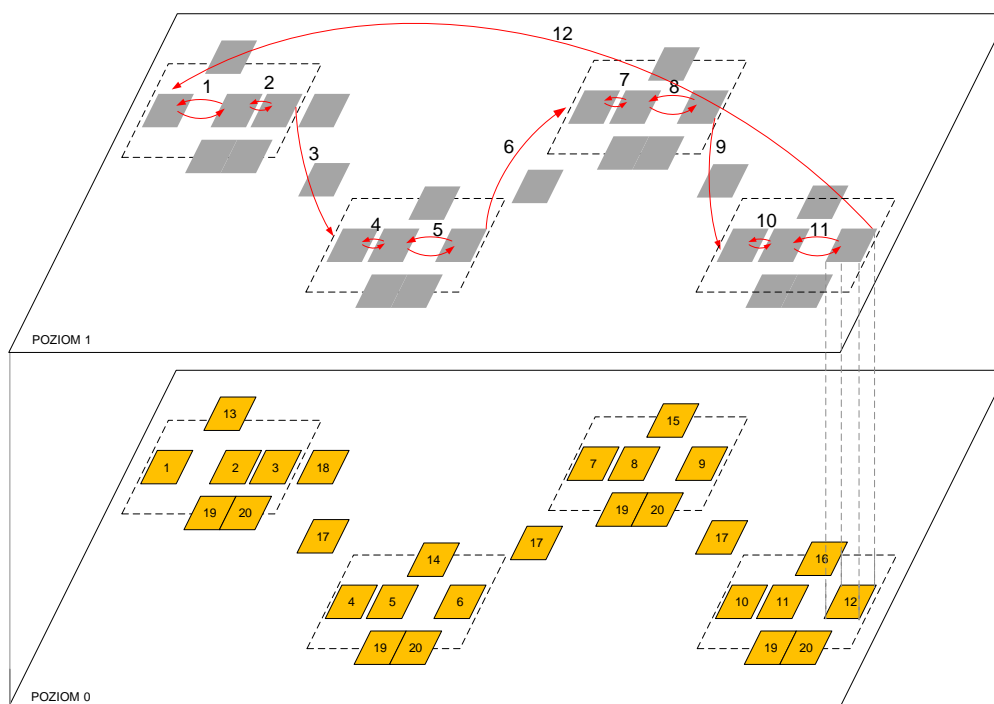
Rys. 4.3.13. Model obwodowy – procesy multimodalne i lokalne
Źródło: opracowanie własne

Dla modelu obwodowego procesy w ujęciu 4-ro poziomowym w wersji skróconej zaprezentowano na rysunku 4.3.14. W analizowanym modelu zdefiniowano jeden proces multimodalny, który składa się z wielu procesów cyklicznych i lokalnych:

- 1) pobranie towaru przez pracownika z miejsca składowania w punkcie załadunku i przetransportowanie go do tymczasowego miejsca składowania (TMS), a następnie powrót do punktu startu (PC1); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 2) pobranie towaru z TMS w punkcie załadunku i załadowanie go na naczepę, a następnie powrót pracownika do TMS (PC2); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 3) transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku nr 1 za pomocą środka transportowego (PL1);
- 4) transport przez pracownika określonej partii towaru z naczepy do TMS w punkcie rozładunku nr 1, a następnie powrót pracownika na naczepę (PC3); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 5) pobranie towaru i jego transport z TMS do punktu składowania w punkcie rozładunku nr 1, a następnie powrót pracownika do TMS (PC4); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;

- 6) transport za pomocą środka transportowego pozostałych towarów z punktu rozładunku nr 1 do punktu rozładunku nr 2 (PL2);
- 7) transport określonej partii towaru z naczepy do TMS w punkcie rozładunku nr 2 (PC5); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 8) pobranie towaru i jego transport z TMS do punktu składowania w punkcie rozładunku nr 2 (PC6); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 9) transport za pomocą środka transportowego pozostałych towarów z punktu rozładunku nr 2 do punktu rozładunku nr 3 (PL3);
- 10) transport określonej partii towaru z naczepy do TMS w punkcie rozładunku nr 3 (PC7); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 11) pobranie towaru i jego transport z TMS do punktu składowania w punkcie rozładunku nr 3 (PC8); transport może odbywać się z wykorzystaniem wózka jezdniowego;
- 12) powrót środka transportowego z punktu rozładunku nr 3 do punktu początkowego (załadunku) (PL4).

Model obwodowy w skróconym ujęciu 4-ro poziomowym zaprezentowano na rysunku 4.3.14.



Rys. 4.3.14. Model obwodowy – 4-ro poziomowa analiza procesów

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.3.4 przedstawia zasoby niezbędne do realizacji zdefiniowanych procesów w analizowanym modelu.

Tab. 4.3.4. Model obwodowy – zdefiniowane zasoby

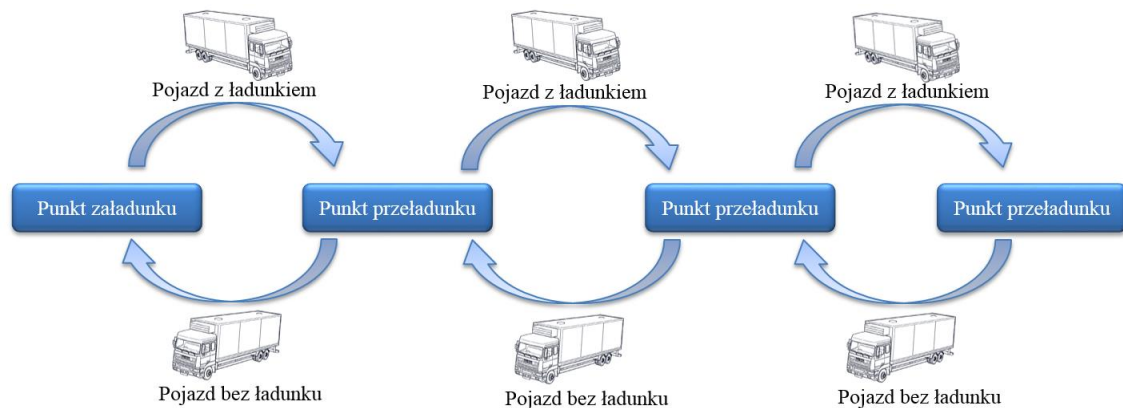
Lp.	Nazwa	Wymiar
1.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie załadunkowym (pole odkładcze)	[m ²]
2.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym (pole odkładcze)	[m ²]
3.	Rampa załadunkowa	[szt.]
4.	Rampa rozładunkowa w punkcie rozładunkowym nr 1	[szt.]
5.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 1 (pole odkładcze)	[m ²]
6.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 1 (pole odkładcze)	[m ²]
7.	Rampa rozładunkowa w punkcie rozładunkowym nr 2	[szt.]
8.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 2 (pole odkładcze)	[m ²]
9.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 2 (pole odkładcze)	[m ²]
10.	Rampa rozładunkowa w punkcie rozładunkowym nr 3	[szt.]
11.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 3 (pole odkładcze)	[m ²]
12.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym nr 3 (pole odkładcze)	[m ²]
13.	Drogi transportowe w punkcie załadunku	[m]
14.	Drogi transportowe w punkcie rozładunku nr 1	[m]
15.	Drogi transportowe w punkcie rozładunku nr 2	[m]
16.	Drogi transportowe w punkcie rozładunku nr 3	[m]
17.	Publiczne drogi transportowe	[km]
18.	Środek transportowy (samochód ciężarowy)	[szt.]
19.	Wózek widłowy	[szt.]
20.	Pracownik	[szt.]

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 4.3.4 dla każdego wyróżnionego zasobu w ramach modelu obwodowego określono także jednostkę, w której jest on definiowany.

4.3.5. Model sztafetowy

Kolejnym modelem jest model sztafetowy (rys. 4.3.15). W modelu tym transport organizowany jest z punktu załadunku do ostatecznego punktu rozładunku przy wykorzystaniu punktów przeładunkowych. Zazwyczaj towar dostarczany jest do punktu przeładunkowego w większej partii (za pomocą 33-paletowych środków transportu, pociągów czy też statków), a następnie przeładowywany na mniejsze środki transportowe i dostarczany do klienta (Stajniak i in., 2008, s.93).



Rys. 4.3.15. Model sztafetowy

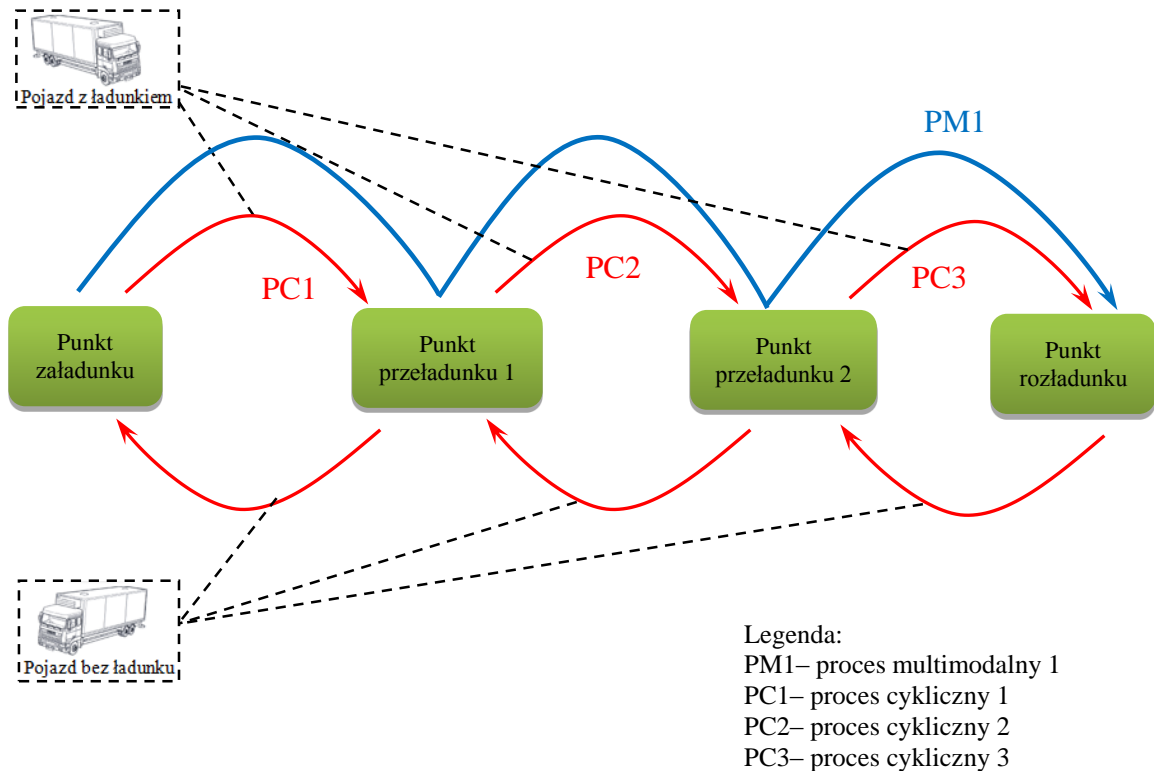
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Stajniak i in., 2008, s. 93)

Dla modelu sztafetowego zdefiniowano jeden proces multimodalny (PM1), którego celem jest dostarczenie towaru od punktu załadunku do punktu rozładunku, uwzględniając punkty pośrednie – punkty przeładunkowe (rys. 4.3.16).

Dla modelu sztafetowego wyróżniono trzy procesy cykliczne:

- 1) transport towarów z punktu załadunku do punktu przeładunkowego nr 1 (PC1);
- 2) transport towarów z punktu przeładunkowego nr 1 do punktu przeładunkowego nr 2 (PC2);
- 3) transport towarów z punktu przeładunkowego nr 2 do punktu rozładunku (PC3).

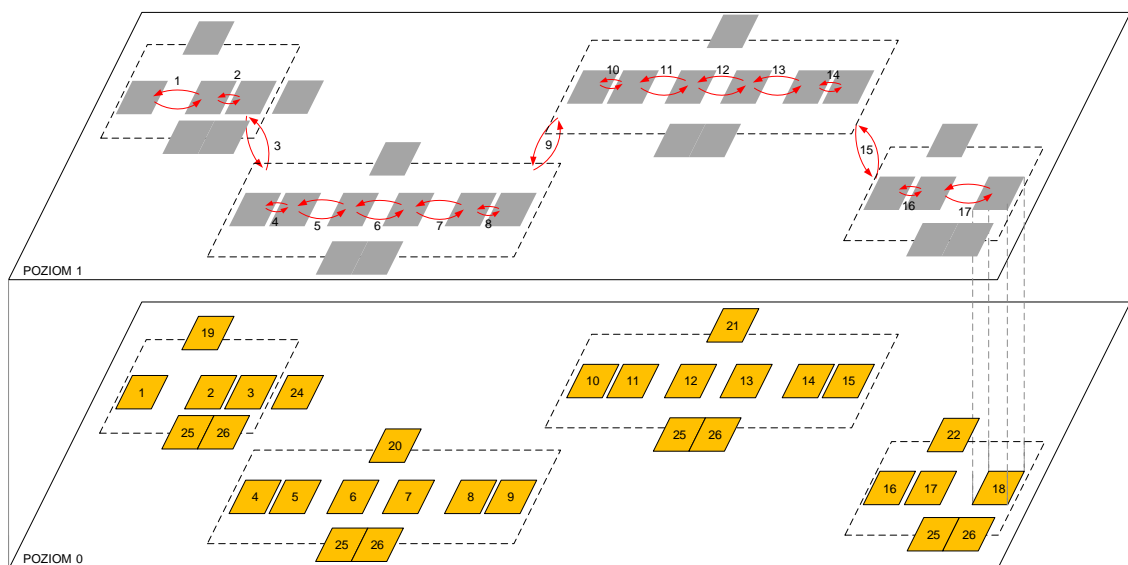
Każdy z tych transportów realizowany może być przez oddzielny środek transportowy, który po dostarczeniu towarów do określonego punktu powraca do punktu początkowego (rozpatrywany przypadek). Inną opcją jest skorzystanie z jednego pojazdu na wybranych odcinkach trasy.



Rys. 4.3.16. Model sztafetowy – procesy multimodalne i cykliczne

Źródło: opracowanie własne

W celu przeprowadzenia analizy 4-ro poziomowej dla modelu sztafetowego, należy zdefiniować typ występujących punktów przeładunkowych. Postanowiono uwzględnić najbardziej rozbudowany przypadek – uwzględniający czynności przepakowywania i składowania. Na rysunku 4.3.17 zaprezentowano model sztafetowy w skróconym ujęciu 4-ro poziomowym.



Rys. 4.3.17. Model sztafetowy – 4-ro poziomowa analiza procesów

Źródło: opracowanie własne

Dla modelu sztafetowego zdefiniowano jeden proces multimodalny oraz siedemnaście procesów cyklicznych:

- 1) pobranie towaru z miejsca składowania i przetransportowanie go do tymczasowego miejsca składowania w punkcie załadunku, a następnie powrót pracownika do miejsca składowania (PC1);
- 2) pobranie towaru z TMS i załadowanie go na naczepę, a następnie powrót pracownika do TMS (PC2);
- 3) transport towarów z punktu załadunku do punktu przeładunkowego 1 za pomocą środka transportowego, a po rozładowaniu powrót pojazdu do punktu załadunku (PC3);
- 4) transport towaru z naczepy do TMS w punkcie przeładunkowym nr 1, a następnie powrót pracownika na naczepę (PC4);
- 5) pobranie towaru i jego transport z TMS do punktu przepakowania w punkcie przeładunkowym nr 1, a następnie powrót pracownika do TMS (PC5);
- 6) pobranie towaru i jego transport z punktu przepakowania do miejsca składowania w punkcie przeładunkowym nr 1, a następnie powrót pracownika do punktu przepakowania (PC6);
- 7) pobranie towaru i jego transport z miejsca składowania do TMS w punkcie przeładunkowym nr 1, a następnie powrót pracownika do punktu startu (PC7);
- 8) pobranie towaru w punkcie przeładunkowym nr 1, jego transport z TMS i załadowanie go na naczepę, a następnie powrót pracownika do TMS (PC8);
- 9) transport towarów z punktu przeładunkowego nr 1 do punktu przeładunkowego nr 2 za pomocą środka transportowego, a po rozładowaniu powrót pojazdu do punktu przeładunkowego nr 1 (PC9);
- 10) transport towaru z naczepy do TMS w punkcie przeładunkowym nr 2, a następnie powrót pracownika na naczepę po kolejną paletę z towarem (PC10);
- 11) pobranie towaru i jego transport z TMS do punktu przepakowania w punkcie przeładunkowym nr 2, a następnie powrót pracownika do TMS (PC11);
- 12) pobranie towaru, jego transport z punktu przepakowania do miejsca składowania w punkcie przeładunkowym nr 2, a następnie powrót pracownika do miejsca przepakowania (PC12);
- 13) pobranie towaru, jego transport z miejsca składowania do TMS w punkcie przeładunkowym nr 1, a następnie powrót pracownika do miejsca składowania (PC13);

- 14) pobranie towaru, jego transport z TMS w punkcie przeładunkowym nr 2 i załadowanie go na naczepę, a następnie powrót pracownika do TMS (PC14);
- 15) transport towarów z punktu przeładunkowego nr 2 do punktu rozładunku za pomocą środka transportowego, a po rozładowaniu towaru powrót środka transportowego do punktu przeładunkowego nr 2 (PC15);
- 16) transport towaru z naczepy do TMS w punkcie rozładunku, a następnie powrót pracownika na naczepę po kolejną paletę z towarem (PC16);
- 17) pobranie towaru i jego transport z TMS do punktu składowania w punkcie rozładunku, a następnie powrót pracownika do TMS (PC17).

Tabela 4.3.5 przedstawia zasoby potrzebne do zrealizowania zdefiniowanych procesów dla analizowanego przypadku. Określono w niej również jednostkę, w której zasób jest definiowany.

Tab. 4.3.5. Model sztafetowy – zdefiniowane zasoby

Lp.	Nazwa	Wymiar
1.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie załadunkowym (pole odkładcze)	[m ²]
2.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie załadunkowym (pole odkładcze)	[m ²]
3.	Rampa załadunkowa w punkcie załadunkowym	[szt.]
4.	Rampa rozładunkowa w punkcie przeładunkowym nr 1	[szt.]
5.	Miejsce tymczasowego składowania przy rampie rozładunkowej w punkcie przeładunkowym nr 1 (pole odkładcze)	[m ²]
6.	Miejsce przepakowania w punkcie przeładunkowym nr 1	[m ²]
7.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie przeładunkowym nr 1 (pole odkładcze/regal)	[m ²]
8.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie przeładunkowym nr 1 przy rampie załadunkowej (pole odkładcze)	[m ²]
9.	Rampa załadunkowa w punkcie przeładunkowym nr 1	[szt.]
10.	Rampa rozładunkowa w punkcie przeładunkowym nr 2	[szt.]
11.	Miejsce tymczasowego składowania przy rampie rozładunkowej w punkcie przeładunkowym nr 2 (pole odkładcze)	[m ²]
12.	Miejsce przepakowania w punkcie przeładunkowym nr 2	[m ²]
13.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie przeładunkowym nr 2 (pole odkładcze/regal)	[m ²]
14.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie przeładunkowym nr 2 przy rampie załadunkowej (pole odkładcze)	[m ²]
15.	Rampa załadunkowa w punkcie przeładunkowym nr 2	[szt.]
16.	Rampa rozładunkowa w punkcie rozładunkowym	[szt.]

Lp.	Nazwa	Wymiar
17.	Miejsce tymczasowego składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym (pole odkładcze)	[m ²]
18.	Miejsce składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym (pole odkładcze)	[m ²]
19.	Drogi transportowe w punkcie załadunku	[m]
20.	Drogi transportowe w punkcie przeładunkowym 1	[m]
21.	Drogi transportowe w punkcie przeładunkowym 2	[m]
22.	Drogi transportowe w punkcie rozładunku	[m]
23.	Publiczne drogi transportowe	[km]
24.	Środek transportowy (samochód ciężarowy)	[szt.]
25.	Wózek widłowy	[szt.]
26.	Pracownik	[szt.]

Źródło: opracowanie własne

4.4. Podsumowanie rozdziału

Stosując podejście 4-ro poziomowe przeanalizowano procesy logistyczne realizowane w wybranych punktach infrastrukturalnych (tj.: punkt załadunku, rozładunku i przeładunku) oraz dla pięciu podstawowych modeli organizacji zleceń transportowych (tj.: model wahadłowy, model wahadłowy-ciągły, model promienisty, model obwodowy oraz model sztafetowy). Analizując procesy realizowane w ramach tych modeli rozszerzono je o procesy wykonywane w wymienionych punktach infrastrukturalnych. Pozwoliło to na dokładniejszą analizę procesów oraz zachodzących pomiędzy nimi relacji. W związku z powtarzalnością procesów na poziomie biznesowym oraz multimodalnym dla większości przypadków zaprezentowano tylko poziom procesów cyklicznych oraz poziom zasobów. Każdy z poziomów przedstawiono na oddzielnej płaszczyźnie, z zachowaniem kolejności wykonywania procesów, co pozwala na łatwą analizę procesów i zasobów z góry na dół oraz z dołu do góry. Dzięki temu łatwo można przeanalizować zachodzące zależności pomiędzy wybranym procesem a pozostałymi, zarówno na tym samym poziomie jak i na pozostałych. Wizualne przedstawienie każdego z poziomów na oddzielnej płaszczyźnie dodatkowo ułatwia tą analizę. Ponadto wprowadzając zakłócenie podczas realizacji wybranego procesu możliwe jest określenie jego wpływu na pozostałe procesy dla każdego z poziomów.

5. Modelowanie elementów systemu logistycznego

5.1. Wprowadzenie

Rozdział ten zawiera szczegółowe opisy dotyczące modelowania elementów systemu logistycznego, takich jak: środek transportowy, sieć transportowa, punkt załadunkowy, przeładunkowy oraz rozładunkowy. Przedstawiono także sposób definiowania wybranych mierników służących do oceny analizowanego procesu logistycznego. W pierwszej części zawarto szczegółowy opis sposobu modelowania sieci punktów (tzw. networków) tworzących sieć transportową. Opisano również sposób modelowania środka transportowego, a także zlecenia transportowego.

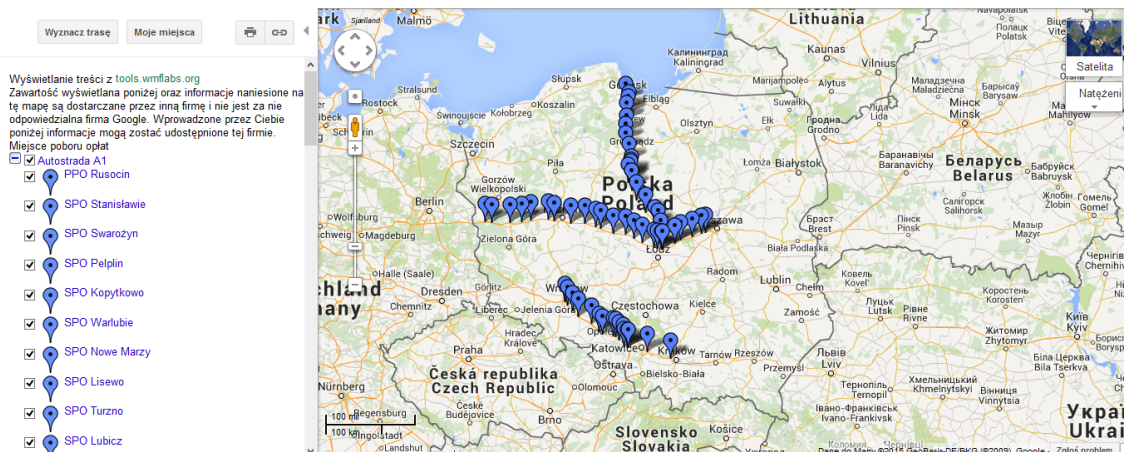
W następnym kroku opisano metodę modelowania punktów załadunkowych, przeładunkowych oraz rozładunkowych. Projektując własne obiekty reprezentujące poszczególne punkty infrastrukturalne uwzględniono przeprowadzoną dla nich analizę 4-ro poziomową w rozdziale 4. Miało to na celu budowę tych punktów z perspektywy realizowanych w nich procesów, a także niezbędnych do tego zasobów.

Zaprezentowano również metodę modelowania wybranych mierników służących ocenie analizowanego procesu logistycznego. Oceniając wpływ zakłóceń na realizację procesu logistycznego postanowiono badać kwestie dotyczące: czasu przejechania danej trasy, zużycia paliwa w zależności od prędkości poruszania się samochodu ciężarowego oraz ilość wygenerowanych spalin. Występowanie negatywnych zjawisk (zakłóceń) ma bezpośrednie przełożenie na czas przejazdu oraz zużycie paliwa. Dlatego też te dwie wartości uznano za najważniejsze, i to na nich przede wszystkim skupiona będzie uwaga podczas modelowania procesów logistycznych.

5.2. Modelowanie symulacyjne sieci transportowych i środka transportowego

Chcąc zamodelować sieć transportową na potrzeby określonego zlecenia transportowego należy rozpocząć od wyznaczenia przebiegu trasy, z uwzględnieniem lub nie kilku opcjonalnych ścieżek. W tym celu należy skorzystać z dostępnych map internetowych. Kolejnym krokiem jest uwzględnienie dla wybranych tras następujących aspektów:

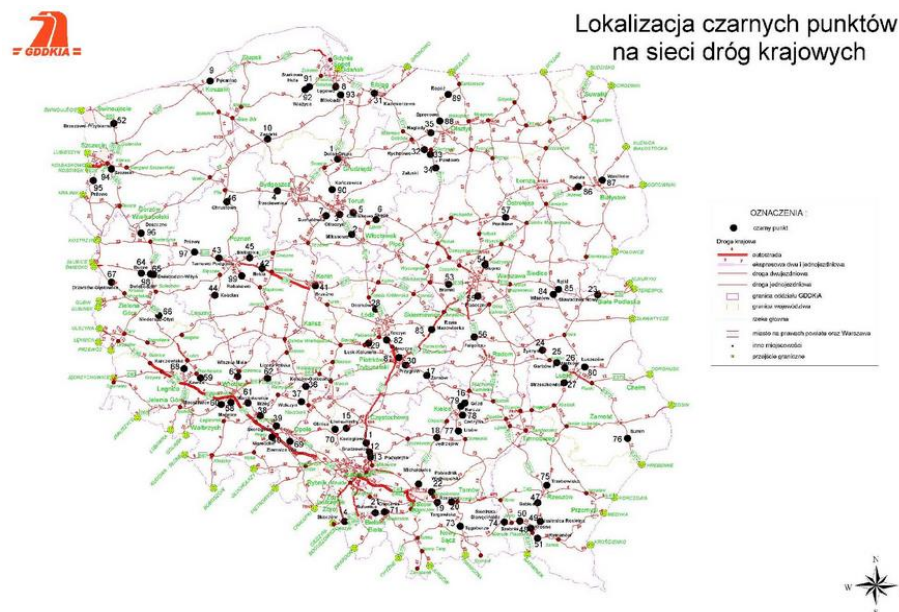
- Występowanie punktów poboru opłat na trasie przejazdu – korzystając z map Google możliwe jest łatwe i szybkie ustalenie PPO w Polsce (<https://maps.google.com>, data dostępu: 10.08.2014). Lokalizacja tych punktów została przedstawiona na rysunku 5.2.1.



Rys. 5.2.1. Punkty Poboru Opłat w Polsce

Źródło: (<https://maps.google.com>, data dostępu: 10.08.2014)

- Zdefiniowanie lokalizacji miejsc o zwiększonym prawdopodobieństwie wystąpienia zdarzenia drogowego (tzw. czarne punkty oraz niebezpieczne odcinki) – mogą zostać oszacowane za pomocą map opublikowanych na stronie GDDKiA (<http://gddkia.gov.pl/pl/aprint/6636/mapa-i-spis-czarnych-punktow>, data dostępu: 10.08.2014) oraz na podstaw raportów rocznych publikowanych przez Komendę Główną Policji (2015). Rysunek 5.2.2 przedstawia mapę udostępnioną przez GDDKiA z lokalizacją czarnych punktów w Polsce.



Rys. 5.2.2. Czarne punkty w Polsce

Źródło: (<http://gddkia.gov.pl/pl/aprint/6636/mapa-i-spis-czarnych-punktow>, data dostępu: 10.08.2014)

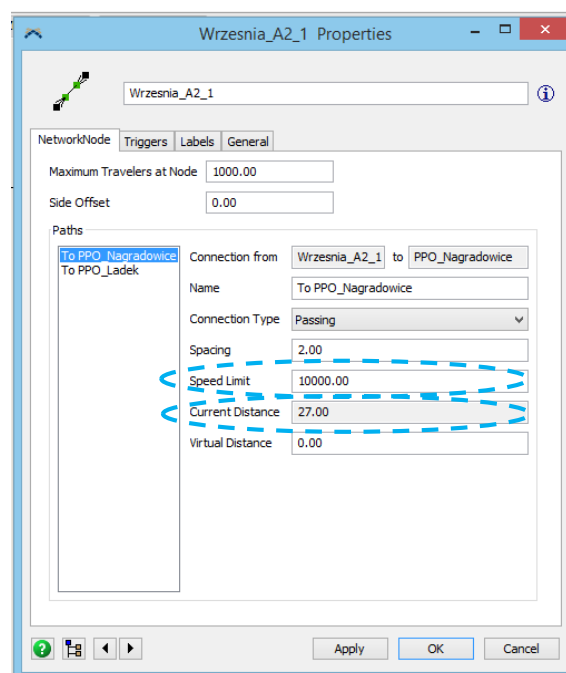
Wyróżnione w ten sposób punkty na drodze przejazdu należy uwzględnić podczas budowania sieci transportowej w modelu symulacyjnym.

Następnie należy zdecydować czy uwzględniane są dodatkowe punkty na trasie przejazdu (np. rozjazdy, zjazdy z autostrad, itp.). Jednym z kryterium podziału trasy na odcinki jest zmiana rodzaju drogi, po której porusza się pojazd, co wiąże się z dopuszczalną prędkością przejazdu. Po zdefiniowaniu wszystkich punktów pozostaje określenie odległości pomiędzy nimi. Następnym krokiem jest wprowadzenie zdefiniowanych punktów do modelu oraz ich połączenie w celu zbudowania trasy (rys. 5.2.3). Należy również uzupełnić informacje dotyczące odległości pomiędzy poszczególnymi punktami oraz maksymalnej prędkości przejazdu na danym odcinku, co zaprezentowano na rysunku 5.2.4.



Rys. 5.2.3. Wyznaczona trasa w środowisku programu FlexSim

Źródło: opracowanie własne

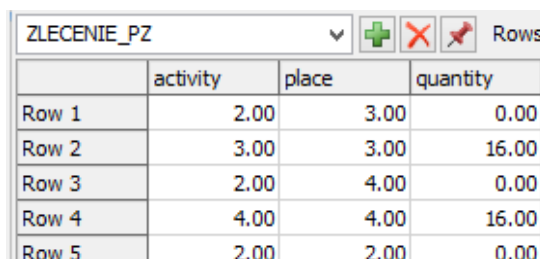


Rys. 5.2.4. Ustalenie odległości między punktami w środowisku programu FlexSim

Źródło: opracowanie własne

Kolejnym omawianym elementem infrastruktury logistycznej jest środek transportowy realizujący zlecenie transportowe. Zamodelowano go z wykorzystaniem opracowanego w ramach Centrum Symulacji i Optymalizacji Procesów Logistycznych i Produkcyjnych (SOCILAPP) na Wydziale Inżynierii Zarządzania na Politechnice Poznańskiej obiektu z określonymi, nadanymi właściwościami. Logika funkcjonowania tego obiektu opiera się na wysyłaniu do niego wiadomości, w celu realizacji kolejnych procesów (przemieszczania, ładowania, rozładowywania, parkowania).

Zgodnie z opracowaną w SOCILAPP koncepcją uruchamiania ruchu na potrzeby realizacji określonych zleceń transportowych, należy poza środkiem transportowym zaprojektować tabelę globalną o nazwie „ZLECENIE_PZ” (rys. 5.2.5), w której definiowane jest zlecenie transportowe.



	activity	place	quantity
Row 1	2.00	3.00	0.00
Row 2	3.00	3.00	16.00
Row 3	2.00	4.00	0.00
Row 4	4.00	4.00	16.00
Row 5	2.00	2.00	0.00

Rys. 5.2.5. Tabela Zlecenie_PZ w środowisku programu FlexSim

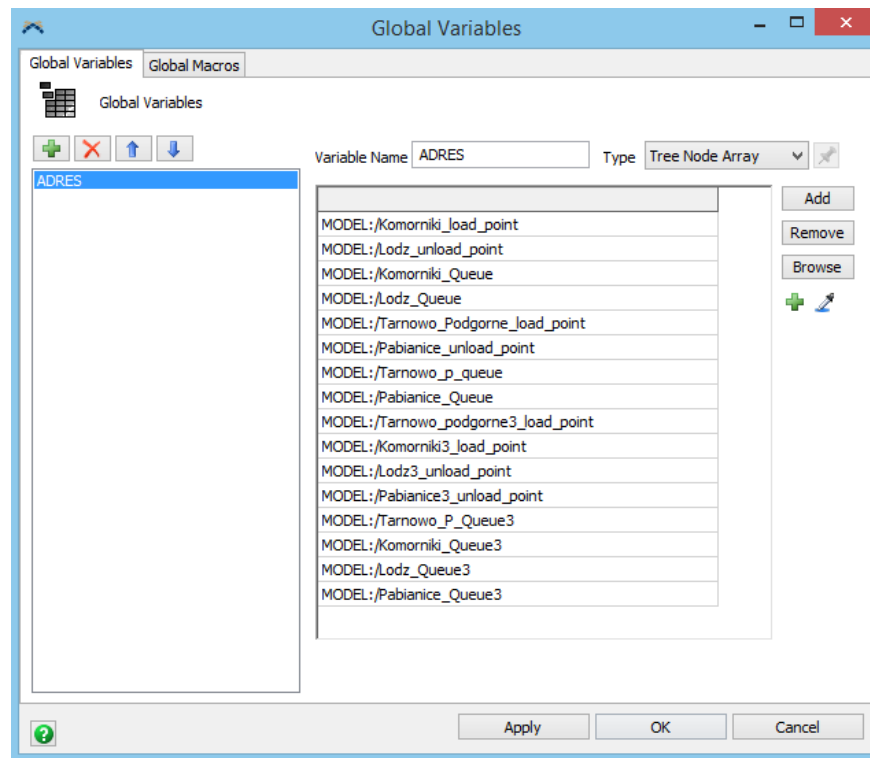
Źródło: opracowanie własne

Kolumna pierwsza tej tabeli zawiera informacje dotyczące czynności wykonywanej przez środek transportowy, zgodnie z następującym oznaczeniem:

- 1 – parkuj,
- 2 – jedź,
- 3 – załaduj,
- 4 – rozładuj.

Kolumna druga – „place” oznacza miejsce, w którym ma nastąpić dana czynność. W tym celu należy zaprojektować zmienną globalną o nazwie „ADRES”, w której definiuje się poszczególne punkty (rys. 5.2.6).

Kolumna 3 tabeli „ZLECENIE_PZ” zawiera informacje dotyczące ilości załadowywanych i rozładowywanych palet w danym punkcie. W związku z łatwością zapisu informacji w tabeli, dodanie kilku punktów załadunkowych bądź rozładunkowych może zostać zrealizowane w prosty i szybki sposób.



Rys. 5.2.6. Adresowanie punktów w modelu w środowisku programu FlexSim

Źródło: opracowanie własne

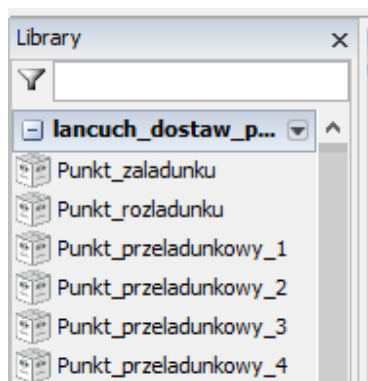
Opisana metoda modelowania sieci transportowych dotyczy transportu zewnętrznego. W przypadku modelowania transportu wewnętrznego sposób postępowania będzie bardzo zbliżony – ponownie należy odwzorować sieć transportową z uwzględnieniem występujących punktów spowalniających przejazd (np. brama przejazdowa z narzuconym pierwszeństwem przejazdu czy chociażby teren odgradzony szlabanem lub bramą). Oczywiście informacje dotyczące możliwych zakłóceń na trasie pozyskiwane będą z innych źródeł, jednak sposób budowania sieci będzie taki sam. Metoda modelowania środka transportowego i realizacji zlecenia transportowego będzie taka sama.

5.3. Modelowanie punktów załadunkowych, rozładunkowych, przeładunkowych

Zamodelowano wybrane elementy systemu logistycznego, tj.: punkt załadunku, przeładunku oraz rozładunku. Każde z tych miejsc potraktowano jako oddzielny moduł zawierający różne zasoby niezbędne do realizacji procesów w tym obszarze. Podczas projektowania każdego z tych punktów uwzględniano zaprezentowaną w podrozdziale 4.2 analizę 4-ro poziomową. Poprzez modelowanie procesów realizowanych w tych punktach, możliwa jest dokładniejsza analiza ich wpływu na realizację procesu transportowego.

Zaprojektowano następujące punkty (rys. 5.3.1):

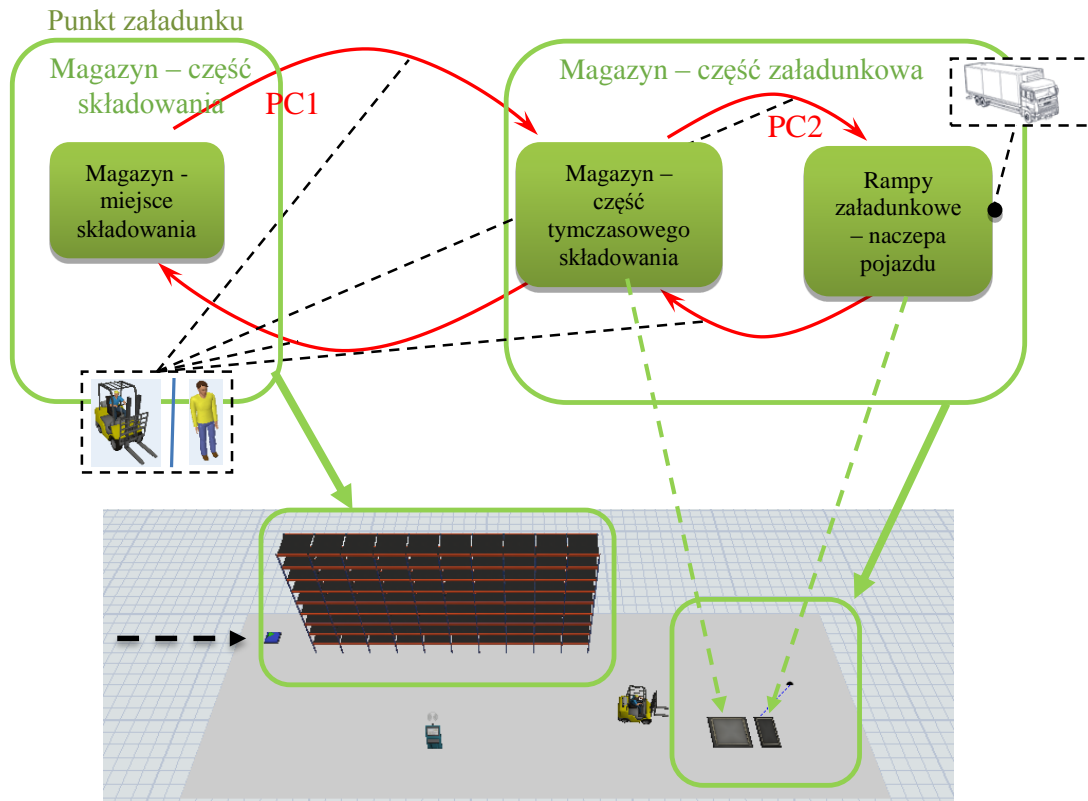
- punkt załadunku (rys. 5.3.2),
- punkt rozładunku (rys. 5.3.3),
- przypadek pierwszy punktu przeładunkowego (rys. 5.3.4) – następuje w nim rozładowanie towaru i załadunek do następnego auta, nie występują czynności magazynowe ani kompletacyjne,
- przypadek drugi punktu przeładunkowego (rys. 5.3.5) – następuje w nim rozładowanie towaru, jego magazynowanie a następnie załadunek do następnego auta,
- przypadek trzeci punktu przeładunkowego (rys. 5.3.6) – następuje w nim rozładowanie towaru, przepakowanie i załadunek do następnego auta,
- przypadek czwarty punktu przeładunkowego (rys. 5.3.7) – następuje w nim rozładowanie towaru, przepakowanie, magazynowanie, a następnie załadunek do następnego auta.



Rys. 5.3.1. Widok okna biblioteki punktów łańcucha dostaw w środowisku programu FlexSim

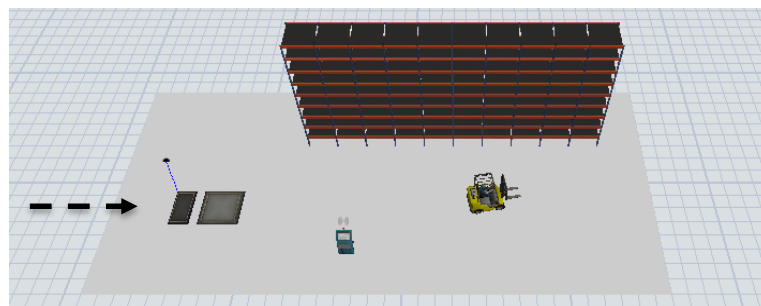
Źródło: opracowanie własne

Rysunek 5.3.2 przedstawia punkt załadunkowy zbudowany w modelu FlexSim z zaznaczeniem poszczególnych zasobów i obszarów wyróżnionych podczas analizy 4-ro poziomowej w podrozdziale 4.2. Za pomocą regału odwzorowano miejsce składowania w magazynie. Natomiast część załadunkowa przedstawiona została za pomocą dwóch buforów. Stosując wymienione obiekty zaprezentowano podstawowe miejsca mające bezpośredni wpływ na realizację procesu załadunkowego. Pozostałe punkty zbudowano w ten sam sposób. Na rysunkach 5.2.2 – 5.2.7 przy użyciu czarnej przerywanej strzałki zaznaczono miejsce wejścia towaru w omawianym punkcie.



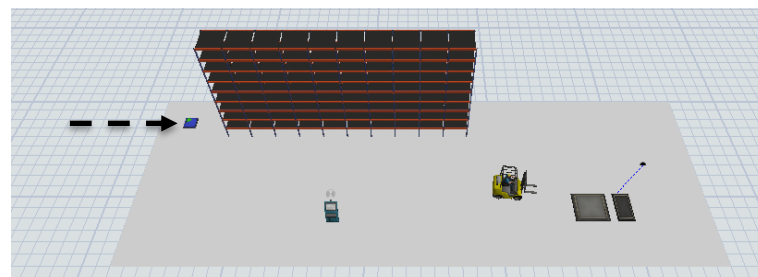
Rys. 5.3.2. Wizualizacja punktu załadunkowego (w kontekście skróconej analizy 4-ro poziomej) w środowisku programu FlexSim

Źródło: opracowanie własne



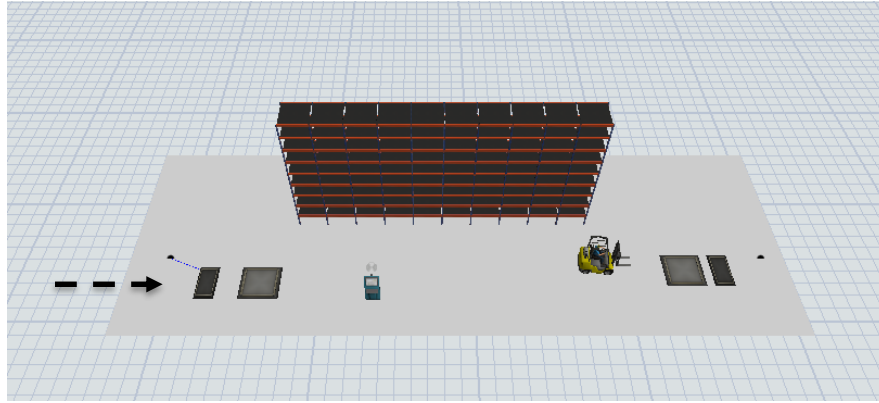
Rys. 5.3.3. Wizualizacja punktu rozładunkowego w środowisku programu FlexSim

Źródło: opracowanie własne

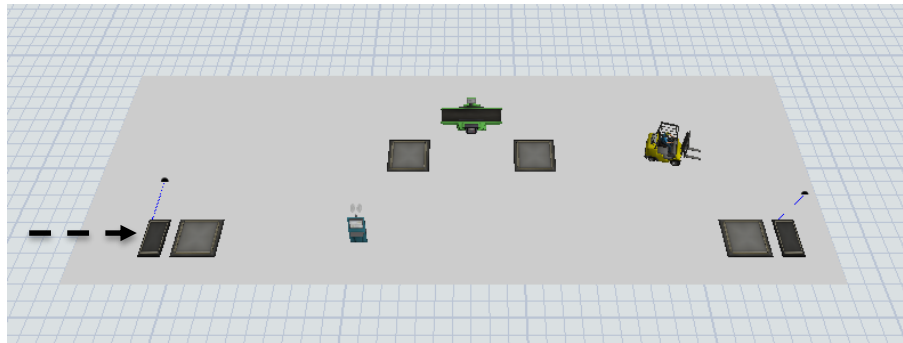


Rys. 5.3.4. Wizualizacja punktu przeładunkowego (przypadek 1) w środowisku programu FlexSim

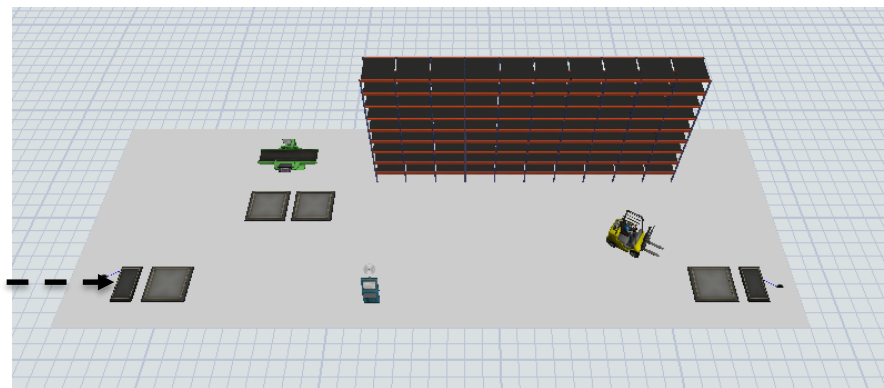
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.3.5. Wizualizacja punktu przeładunkowego (przypadek 2) w środowisku programu FlexSim
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.3.6. Wizualizacja punktu przeładunkowego (przypadek 3) w środowisku programu FlexSim
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.3.7. Wizualizacja punktu przeładunkowego (przypadek 4) w środowisku programu FlexSim
Źródło: opracowanie własne

W przypadku modelowania punktu przeładunkowego, w którym odbywa się proces przepakowania zastosowano dodatkowy obiekt – procesor za pomocą, którego odwzorowywany jest ten proces (rys. 5.3.6 oraz 5.3.7).

5.4. Mierniki stosowane do oceny procesu

Chcąc ocenić realizowany proces należy zdefiniować mierniki. W celu zmierzenia analizowanego procesu logistycznego pod względem różnych aspektów utworzono własne obiekty umożliwiające jego ocenę:

- 1) obiekt umożliwiający określenie ilości zużytego paliwa, w zależności od prędkości przejazdu samochodu ciężarowego,
- 2) obiekt umożliwiający określenie ilości wygenerowanych emisji spalin w zależności od przyjętej normy Euro dla samochodu ciężarowego.

Ponadto mierzony jest także ogólny czas realizacji procesów w punkcie załadunkowym, przeładunkowym oraz rozładunkowym, a także czas przejazdu samochodu ciężarowego z punktu początkowego do punktu końcowego. W sytuacji wystąpienia zakłócenia w którymkolwiek z tych punktów, automatycznie czas wykonania poszczególnych procesów zwiększy się, co będzie zauważalne w uzyskanych wynikach.

5.4.1. Miernik 1 – zużycie paliwa

Pierwszy z zaprojektowanych mierników służy do obliczania ilości zużytego paliwa w zależności od prędkości, z jaką porusza się samochód ciężarowy. W celu obliczenia tej wartości skorzystano z informacji przedstawionych w podrozdziale 2.3, w części dotyczącej mierników.

Funkcja celu dla tego miernika to wartość oznaczająca ilość zużytego paliwa, w obiekcie zdefiniowana jako „spalanie_wynik”.

Zdefiniowane dla tego obiektu zmienne decyzyjne to:

- „CzasPomiaru2” – definiuje co jaki okres czasu w modelu symulacyjnym ma następować pomiar prędkości samochodu ciężarowego oraz pokonanej odległości w stosunku do poprzedniego pomiaru; im większa częstotliwość sprawdzania, tym dokładniejszy wynik końcowy.
- „spalanie_norma” – zawiera informacje wejściowe dotyczące spalania dla danej prędkości przejazdu, zgodnie z informacjami przedstawionymi w rozdziale 2.

Obie zmienne zapisane są za pomocą etykiety liczbowej w obiekcie reprezentującym ten miernik.

Kod programu dla tego obiektu jest następujący:

```

1  /**PHD Code*/
2  treenode item = parnode(1);
3  treenode current = ownerobject(c);
4  int port = parval(2);
5
6  double spalanie_wynik=0;
7
8  if (nrpc(current) > 0)
9  {
10     for(int i=1; i <= nrpc(current); i++)
11     {
12         treenode pojazd = centerobject(current,i);
13
14         updatelocations(pojazd);
15         double X1=xloc(pojazd);
16         double X0=getlabelnum(pojazd,"poprzednia_pozycjaX");
17         setlabelnum(pojazd,"poprzednia_pozycjaX",X1);
18         double Y1=yloc(pojazd);
19         double Y0=getlabelnum(pojazd,"poprzednia_pozycjaY");
20         setlabelnum(pojazd,"poprzednia_pozycjaY",Y1);
21
22         double przejechane_km = (sqrt(sqr(X1-X0)+sqr(Y1-Y0)));
23         double przejechane_h=getlabelnum(current,"CzasPomiaru2");
24
25         int predkosc=round(przejechane_km/przejechane_h);
26
27         if (predkosc<0)
28             predkosc=0;
29         if (predkosc>80)
30             predkosc=80;
31         if (predkosc>0)
32         {
33             spalanie_wynik+=(przejechane_km*getlabelnum(label(current, "spalanie_norma"),
34                 predkosc+1, 1));
35         }
36         else
37         {
38             if (getstatenum(pojazd)==4)
39                 spalanie_wynik+=(getlabelnum(current,"CzasPomiaru2")*(getlabelnum(label(current,
40                     "spalanie_norma"), 1, 1)/60));
41             else
42                 spalanie_wynik+=0;
43         }
44     }
45     setlabelnum(current,"spalanie_wynik",getlabelnum(current,"spalanie_wynik")+
46         spalanie_wynik);

```

Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linie kodu 2-6 – definicję podstawowych zagadnień dotyczących elementu przepływu (item), obiektu do którego odnosi się kod (current) oraz numeru portu, pod którym podłączony jest samochód ciężarowy. Zdefiniowana została również wartość początkowa funkcji celu równa 0.
- Linie kodu 8-42 – określenie wartości przemieszczenia się samochodu ciężarowego (bądź wielu pojazdów) oraz prędkości z jaką poruszał się pojazd podczas danego pomiaru.

- Linie kodu 11-23 – definicję obiektu przemieszczającego się – pojazdu, a także jego obecnego położenia względem osi x oraz y. Obliczany jest dystans w linii prostej, który pokonał pojazd względem pozycji z poprzedniego pomiaru.
- Linie kodu 25-30 – obliczenie prędkości poruszania się środka transportowego jako iloraz odległości i czasu. Dodatkowo zdefiniowane zostały graniczne wartości dla prędkości: 0 oraz 80 km/h.
- Linie kodu 31-34 – obliczenie wartości reprezentującej zużyte paliwo dla całego dotychczasowego pokonanego dystansu przez samochód ciężarowy w sytuacji gdy samochód się przemieszcza (prędkość > 0 km/h).
- Linie kodu 35-41 – tak jak linie kodu 31-34, tylko dotyczy sytuacji, w której samochód ciężarowy nie przemieszcza się, a ma włączony silnik w związku z czym zużywa paliwo. Sytuacja taka występuje np. w momencie oczekiwania w korku do punktu poboru opłat. Wartość zużytego paliwa obliczana jest jako iloczyn czasu i zużywania paliwa dla prędkości 0 km/h.
- Linia kodu 44 – służą do aktualizacji wartości etykiety reprezentującej wartość zużytego paliwa.

5.4.2. Miernik 2 – emisja spalin

Miernik ten określa wartość wygenerowanych emisji substancji szkodliwych (CO, HC, NO_x, PM) w zależności od przyjętej normy Euro dla samochodu ciężarowego, a także pokonanej odległości. Wartości emisji spalin przyjęte zostały zgodnie z obowiązującymi normami przedstawionymi w podrozdziale 2.3.

Funkcje celu dla tego miernika to wartość oznaczająca ilość wygenerowanej substancji szkodliwej. Każda z tych substancji obliczana i definiowana jest oddzielnie w obiekcie jako „CO_emisja”, „HC_emisja”, „NO_x_emisja”, „PM_emisja”. Wartość dla każdej substancji szkodliwej obliczona została zgodnie z podanymi w podrozdziale 2.3 wzorami.

Dla obiektu reprezentującego miernik emisji spalin zdefiniowano następujące zmienne decyzyjne (przy zastosowaniu etykiet liczbowych):

- „NormaEuro” – określa normę Euro samochodu ciężarowego, w zależności od której wartość generowanych substancji szkodliwych jest różna.
- „Emission_standard” – zawiera informacje o wartości generowanych substancji szkodliwych w zależności od normy Euro środka transportowego.

Kod programu dla tego obiektu jest następujący:

```

1  /**PHD Code*/
2  treenode item = parnode(1);
3  treenode current = ownerobject(c);
4  int port = parval(2);
5
6  double CO_emisja=0;
7  double HC_emisja=0;
8  double NOx_emisja=0;
9  double PM_emisja=0;
10
11 if (nrpc(current) > 0)
12 {
13   for(int i=1; i <= nrpc(current); i++)
14   {
15     treenode pojazd = centerobject(current,i);
16     int norma_Euro=getlabelnum(pojazd,"NormaEuro");
17     double przejechane_km = getvarnum(pojazd,"totaltraveldist");
18
19     double CO_norma=gettablenum(label(current, "Emission_standard"),norma_Euro,1);
20     double HC_norma=gettablenum(label(current, "Emission_standard"),norma_Euro,2);
21     double NOx_norma=gettablenum(label(current, "Emission_standard"),norma_Euro,3);
22     double PM_norma=gettablenum(label(current, "Emission_standard"),norma_Euro,4);
23
24     CO_emisja+=(przejechane_km*CO_norma);
25     HC_emisja+=(przejechane_km*HC_norma);
26     NOx_emisja+=(przejechane_km*NOx_norma);
27     PM_emisja+=(przejechane_km*PM_norma);
28   }
29 }
30 setlabelnum(current,"CO_wynik",CO_emisja);
31 setlabelnum(current,"HC_wynik",HC_emisja);
32 setlabelnum(current,"NOx_wynik",NOx_emisja);
33 setlabelnum(current,"PM_wynik",PM_emisja);

```

Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linie kodu 2-4 – definicję podstawowych zagadnień dotyczących elementu przepływu (item), obiektu do którego odnosi się kod (current) oraz numeru portu, pod którym podłączony jest samochód ciężarowy.
- Linie kodu 6-9 – definicję czterech mierzonych substancji szkodliwych, dla których założono wartość początkową równą 0.
- Linie kodu 11-29 – określanie wartości wygenerowanych substancji szkodliwych w zależności od przejechanego dystansu. Możliwe jest obliczanie wartości emisji spalin dla więcej niż jednego środka transportowego jednocześnie.
- Linie kodu 15-17 – definicję pojazdu, jego normy Euro oraz liczby przejechanych kilometrów.
- Linie kodu 19-22 – odczytanie wartości generowanej substancji w zależności od normy Euro samochodu ciężarowego.
- Linie kodu 24-27 – obliczenie wygenerowanej wartości dla każdej substancji szkodliwej na podstawie przyjętych wcześniej założeń.
- Linie kodu 30-33 – zapis obliczonych wartości substancji szkodliwych do etykiet zdefiniowanych w obiekcie reprezentującym miernik.

5.4.3. Miernik 3 – czas realizacji procesów w poszczególnych punktach

Mierzony jest całkowity czas realizacji analizowanego procesu logistycznego. Określane są także czasy składowe, wpływające na efekt końcowy. Do czasów składowych zaliczono:

- czas realizacji procesów w punkcie załadunkowym,
- czas realizacji procesów w punkcie rozładunkowym (uwzględniany w sytuacji gdy za zakończenie procesu uważany jest moment rozładowania towarów z naczepy),
- czas realizacji procesów w punkcie przeładunkowym (jeżeli występuje),
- oraz czas przejazdu pomiędzy tymi punktami.

Czas realizacji procesów dla każdego zdefiniowanego czasu składowego liczony jest zgodnie z przedstawionym w podrozdziale 2.3 wzorem. Każdy z obliczonych czasów zapisywany jest w określonej komórce w zbiorczej tabeli globalnej (rys. 5.4.1).

	time_of_processes_at_load_point	time_of_processes_at_unload_point	time_of_processes_at_reload_point	transport_time
Row 1	0.00	0.00	0.00	0.00

Rys. 5.4.1. Widok okna tabeli z czasami procesów w środowisku programu FlexSim

Źródło: opracowanie własne

W każdym punkcie, w zasobie (lub zasobach) transportowym realizującym czynności początkowe oraz końcowe należy wpisać kod obliczający różnicę czasu zakończenia procesu oraz czasu rozpoczęcia procesu. Tak samo należy postąpić w przypadku samochodu ciężarowego realizującego transport pomiędzy tymi punktami.

Poprzez analizę czasów dla procesów realizowanych w poszczególnych punktach, w sytuacji wystąpienia zakłócenia możliwe jest określenie miejsca jego wystąpienia oraz zdefiniowanie jego wpływu na procesy – zarówno w obszarze, w którym wystąpiło zakłócenie, jak i na realizację dalszych procesów.

5.5. Podsumowanie rozdziału

Rozdział ten opisuje metody modelowania elementów systemu logistycznego. W pierwszej kolejności szczegółowo opisano sposób modelowania sieci transportowej oraz środka transportowego. W tym celu skorzystano z przeprowadzonych prac w ramach SOCILAPP. Następnie zaprojektowano poszczególne punkty infrastrukturalne, tj.: punkt załadunkowy, rozładunkowy oraz cztery przypadki punktów przeładunkowych z uwzględnieniem przeprowadzonej dla nich w podrozdziale 4.2 analizy 4-ro poziomowej. Pozwoliło to na zbudowanie wymienionych punktów

infrastrukturalnych z perspektywy realizowanych w nich procesów, oraz niezbędnych do tego zasobów. W ten sposób przybliżono wszystkie niezbędne elementy do modelowania procesu logistycznego zawierającego procesy załadunkowe, rozładunkowe, przeładunkowe oraz transportowe.

Budując model procesu logistycznego niezbędne jest określenie mierników służących do oceny i kontroli tego procesu. Dlatego też zaprezentowano szczegółowy sposób modelowania dwóch mierników: (1) w aspekcie kosztowym – miernik określający ilość zużycia paliwa przez samochód ciężarowy, (2) w aspekcie ochrony środowiska – miernik służący określeniu ilości generowanych emisji spalin w zależności od przyjętej normy Euro dla samochodu ciężarowego. Dla obu mierników określono funkcje celu i zmienne decyzyjne. Zaprezentowano także kod programu napisany podczas ich budowy. W celu oceny procesu logistycznego analizowane są również czasy realizacji procesów składowych (procesów wykonywanych w punkcie załadunkowym, w punkcie rozładunkowym, w punkcie przeładunkowym oraz czas transportu zewnętrznego), dla których została zdefiniowana granica początkowa oraz końcowa.

Uzyskane w ten sposób informacje pozwalają na ocenę procesu, a także jego kontrolę. W sytuacji wystąpienia zakłócenia podczas realizacji procesu, zauważalny będzie bezpośredni wpływ tego zakłócenia na czas realizacji procesu oraz wartość zużytego paliwa. Zużyte paliwo przekłada się na koszt realizacji zlecenia. Za pomocą tych kilku mierników możliwa jest kontrola procesu pod względem podstawowych zmiennych decyzyjnych (analizując proces uwaga skupiona jest na czasie i koszcie jego realizacji).

6. Metody modelowania zakłóceń procesów logistycznych

6.1. Wprowadzenie

Rozdział VI przedstawia sposób modelowania zakłóceń, przy pomocy modelowania dyskretnego oraz agentowego. W tej części każde z wyróżnionych zakłóceń w podrozdziale 2.4 zostało szczegółowo opisane w sposób formalny w celu wyjaśnienia metodyki modelowania. Dodatkowo dla kilku wybranych, zaprezentowano sposób modelowania w programie symulacyjnym. W tym celu zaprojektowano obiekt odwzorowujący dane zdarzenie niepożądane oraz jego wpływ na cały analizowany proces, co umożliwiło zaprezentowanie opracowanej metodyki w praktyce.

6.2. Modelowanie zakłóceń w ujęciu analitycznym

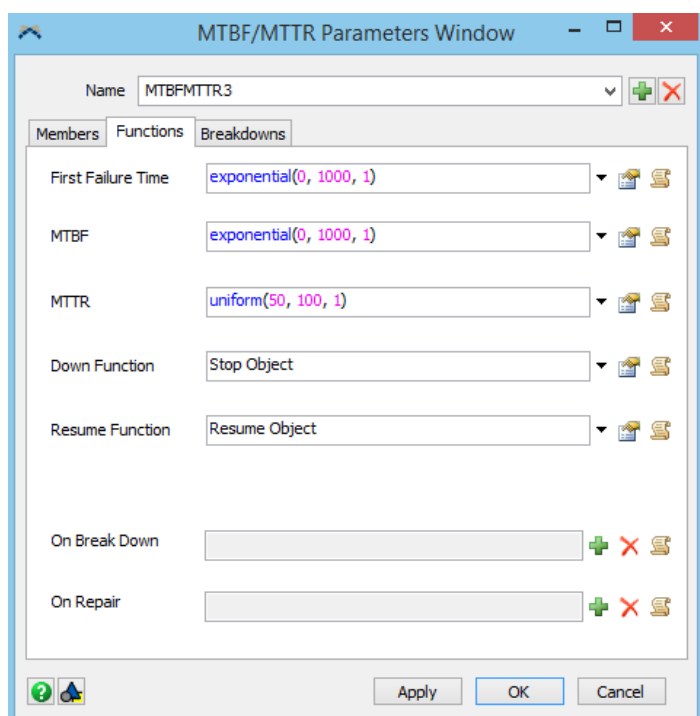
Dla każdego z zdefiniowanych zakłóceń opisano sposób modelowania w ujęciu formalnym, w celu zaprezentowania metodyki ich modelowania. Należy tutaj zaznaczyć, iż wartości dotyczące czasu opóźnienia, w wyniku wystąpienia danego zakłócenia, są wartościami przyjętymi na podstawie doświadczenia autorki. Nie są one poparte badaniami. Jednak celem tej pracy nie jest rzeczywiste określenie prawdopodobieństwa wystąpienia danego zakłócenia oraz jego skutków, tylko pokazanie sposobu ich modelowania.

6.2.1. Uszkodzenie środka transportowego

Częstotliwość występowania tego zdarzenia zależna jest od wieku oraz stanu technicznego pojazdu. Wraz z upływem czasu, a także eksploatacją przez kolejne godziny, środek transportowy ulegać może coraz częstszym awariom. Dlatego też dane dotyczące tego zakłócenia należy wprowadzić dla każdego pojazdu oddzielnie, a także aktualizować je wraz ze zmianą sytuacji.

Metoda modelowania symulacyjnego

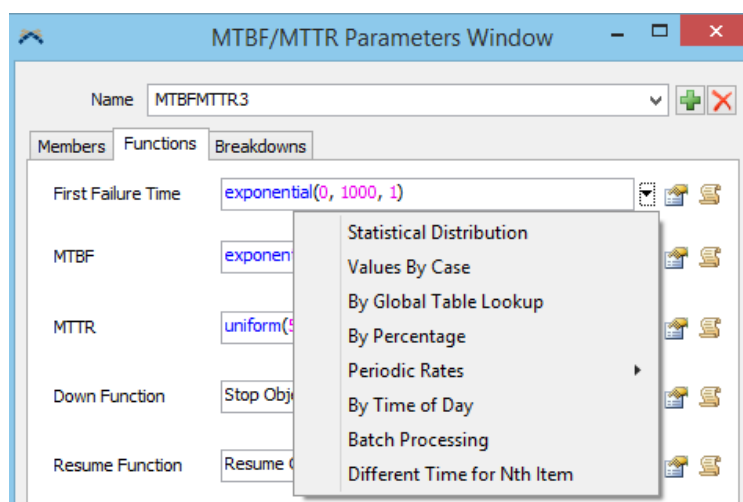
Środek transportowy reprezentowany jest w modelu poprzez tzw. zasoby mobilne, ogólnie zdefiniowane w programie symulacyjnym. Za pomocą wbudowanego mechanizmu MTBF/MTTR możliwe jest zdefiniowanie średniego czasu pomiędzy wystąpieniem kolejnych awarii (MTBF – Mean Time Between Failure) oraz średniego czasu niezbędnego na naprawę uszkodzenia (MTTR – Mean Time To Repair) dla danego obiektu (rys. 6.2.1).



Rys. 6.2.1. Okno MTBF/MTTR

Źródło: opracowanie własne (z zastosowaniem programu FlexSim)

W oknie przedstawionym na rysunku 6.2.1 możliwe jest ustawienie dowolnego rozkładu statystycznego z określonymi wartościami. Dla zmiennej o nazwie MTBF oraz MTTR możliwe jest określenie czasu za pomocą rozkładu statystycznego lub też przy wykorzystaniu innych reguł występowania (np. w zależności od pory dnia lub ilości przetworzonych elementów, ...), co zostało zaprezentowane na rysunku 6.2.2.



Rys. 6.2.2. Dodatkowe właściwości mechanizmu MTBF/MTTR

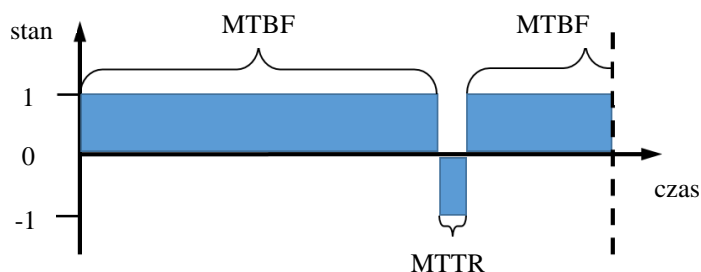
Źródło: opracowanie własne (z zastosowaniem programu FlexSim)

Prezentowany mechanizm MTBF/MTTR umożliwia w prosty i szybki sposób modelowanie wystąpienia awarii środka transportowego. Należy jednak zaznaczyć, że podejście to ma pewne ograniczenie – umożliwia modelowanie awarii dla obiektów statycznych, które zostały zdefiniowane w momencie tworzenia modelu (przed wykonywaniem eksperymentu symulacyjnego) na stałe przypisanych do tego modelu (zarówno niezmieniających swojego położenia, tzw. fixed resources, jak i poruszających się, tzw. mobile resources). Wszystkie te elementy muszą być wprowadzone do modelu przed uruchomieniem eksperymentu symulacyjnego. Zatem możliwe jest w ten sposób zamodelowanie awarii środka transportowego uwzględnionego od samego początku w modelu. Natomiast w sytuacji dynamicznego generowania pojazdów tworzących ruch na drodze zewnętrznej (tzw. tło w modelu), nie jest możliwe zamodelowanie awarii pojazdów z wykorzystaniem opisywanego mechanizmu MTBF/MTTR. W prezentowanej pracy rozważana jest tylko awaria środka transportowego realizującego analizowany proces transportowy, w związku z czym pojazd ten uwzględniony jest od samego początku w modelu. Kwestię odwzorowania pojazdów generujących ruch w modelu opisano w dalszej części pracy, podczas prezentowania zakłóceń, w których należy uwzględnić aspekt ruchu innych środków transportowych.

Założono, że dla środka transportowego ze względu na możliwość wystąpienia awarii mogą występować dwa stany:

- 1 – pojazd sprawny,
- -1 – pojazd niesprawny.

Rysunek 6.2.3 przedstawia poszczególne stany pojazdu w odniesieniu do omawianego sposobu modelowania (MTFB/MTTR).



Rys. 6.2.3. Wykres stanów środka transportowego

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Braglia i in., 2012, s. 27-35).

Częstotliwość występowania stanu -1 zależna jest od wieku pojazdu, a także stopnia jego eksploatacji, dlatego też dane te nie mogą zostać założone raz na zawsze – wraz z upływem czasu należałoby je aktualizować.

Ujęcie analityczne

Uszkodzenie środka transportowego oznacza wydłużenie czasu realizacji zlecenia transportowego w związku z naprawą pojazdu. W przypadku poważniejszych usterek może się to wiązać z niemożliwością zrealizowania zlecenia w określonym przedziale czasu. Dla danego środka transportowego należy określić, co jaki przedział czasowy występuje awaria (np. na podstawie historycznych danych), bądź prognozowane jest jej wystąpienie, a także jak długo usterka będzie naprawiana, czyli:

- średni czas pomiędzy wystąpieniem awarii: $T_{MTBF_{ST}}$ – może zostać zdefiniowany jako kombinacja różnych rozkładów statystycznych,
- średni czas potrzebny na naprawę: $T_{MTTR_{ST}}$ – również może zostać zdefiniowany jako kombinacja różnych rozkładów statystycznych.

W sytuacji rozpatrywania awarii o różnych częstotliwościach występowania i różnym czasie naprawy (np. drobna usterka a awaria uniemożliwiająca dalsze samodzielne poruszanie się pojazdu) należy utworzyć dla każdej z nich oddzielny MTBF/MTTR z określonymi danymi wejściowymi.

6.2.2. Brak środka transportowego w punkcie załadunku w określonej chwili

Środek transportowy może spóźnić się do punktu załadunku z różnych powodów. Wraz z rosnącą popularnością outsourcingu w transporcie, rośnie również prawdopodobieństwo, że zaawizowane auto dotrze później do punktu załadunku. W ramach tego zakłócenia zdefiniowano dwie sytuacje: opóźnienie podstawienia pojazdu oraz niepodstawienie pojazdu (związane np. z kradzieżą auta).

Metoda modelowania symulacyjnego

W sytuacji opóźnienia podstawienia pojazdu środek transportowy zostaje zablokowany na określony okres czasu w miejscu, w którym się znajduje. Natomiast w sytuacji drugiej zostaje on zablokowany na nieskończenie długi okres czasu. Zablokowanie pojazdu powoduje, iż nie może się on przemieszczać oraz nie może zostać załadowany. Po upływie określonego czasu pojazd zostaje odblokowany, co oznacza, że możliwe jest wznowienie wykonywanych wcześniej czynności. Zgodnie z przyjętymi granicami w modelu – punkt początkowy to punkt załadunku, natomiast punkt końcowy

to punkt rozładunku, nie jest uwzględniana trasa dojazdu środka transportowego do punktu załadunku. Dlatego też założono, że w przypadku wystąpienia tego zakłócenia pojazd jest blokowany na określony czas w punkcie załadunku, jeszcze przed rozpoczęciem czynności załadunkowych. Blokowanie pojazdu na określony przedział czasu odwzorowujący opóźnienie następuje przez wprowadzenie w punkcie załadunku agenta reprezentującego dane zakłócenie o określonych właściwościach.

Zakłócenie to modelowane jest w następujący sposób: obiekt reprezentujący dane zakłócenie umiejscowiony zostaje w punkcie załadunku. W sytuacji pojawienia się środka transportowego w punkcie załadunku, na podstawie zdefiniowanego prawdopodobieństwa ustalone zostaje czy ma zostać opóźniony – jeśli tak zostaje wysłana do pojazdu wiadomość o zablokowaniu oraz czasie trwania tego zablokowania. Samochód ciężarowy po otrzymaniu informacji zmienia swój stan na *zablokowany_opoznienie*. Po określonym czasie otrzymuje informację o odblokowaniu, czyli możliwości kontynuowania przerwanych czynności.

Ujęcie analityczne

Rozpatrując dwie sytuacje dla omawianego zakłócenia, należy dla każdego z nich zdefiniować prawdopodobieństwo wystąpienia danej sytuacji.

Przypadek I – opóźnienie podstawienia pojazdu pod rampę załadunkową

- prawdopodobieństwo wystąpienia:

$$P_{OP} = x_{OP}, \quad x_{OP} \in (0; 1) \quad (6.2.1)$$

- rozkład czasu zablokowania pojazdu w punkcie załadunku – definiowany jest za pomocą rozkładu normalnego w następujący sposób (określając dodatkowo wartość minimalną i maksymalną):

$$T_{OP} = Normal(\mu_{T_{OP}}; \sigma_{T_{OP}}) [min] \quad (6.2.2)$$

Skutek: wydłużenie czasu realizacji całego procesu w związku z późniejszym czasem rozpoczęcia załadunku.

Przypadek II – niezrealizowanie zlecenia w związku z niepodstawieniem pojazdu (np. z powodu kradzieży):

- prawdopodobieństwo wystąpienia:

$$P_{NP} = x_{NP}, \quad x_{NP} \in (0; 1) \quad (6.2.3)$$

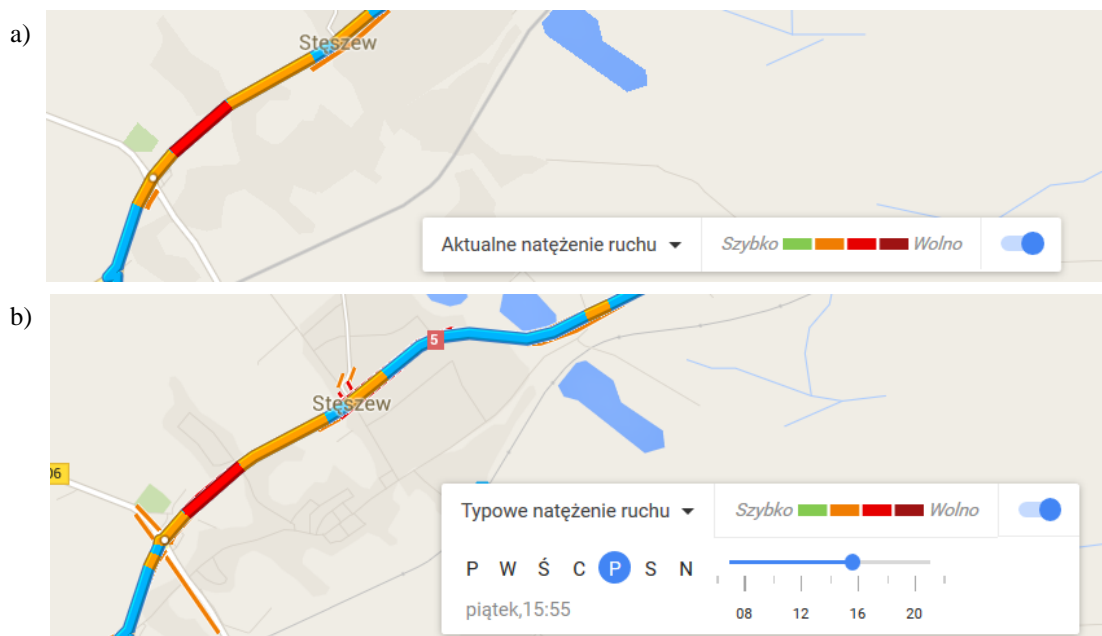
- czas zablokowania pojazdu jest nieskończenie długi, pojazd zostaje zablokowany do końca trwania symulacji:

$$T_{NP} \geq T_{SYM} [min] \quad (6.2.4)$$

Skutek: niemożliwość zrealizowania zlecenia z udziałem określonego środka transportowego.

6.2.3. Kongestia ruchu

Spowolnienie prędkości przejazdu w danym obszarze może być spowodowane różnymi przyczynami, np. zbyt dużym natężeniem ruchu, robotami drogowymi, kolizją. Natężenie tego zjawiska zależne jest od dnia tygodnia oraz od pory dnia (ECMT, 2007, s. 50). Informacje dotyczące aktualnego natężenia ruchu mogą zostać uzyskane z różnych map internetowych, np. z mapy danego miasta (dla Poznania <http://korki.epoznan.pl>, data dostępu: 13.10.2015), a także z map Google. Mapy Google podają aktualne natężenie dla sprawdzanej trasy przejazdu (rys. 6.2.4 a), a także typowe dla danego dnia tygodnia i godziny (rys. 6.2.4 b). Ponadto Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego publikuje roczne raporty (2014) dotyczące prędkości pojazdów w Polsce.



Rys. 6.2.4. Sposoby prezentowania natężenia ruchu dla określonej trasy za pomocą Map Google

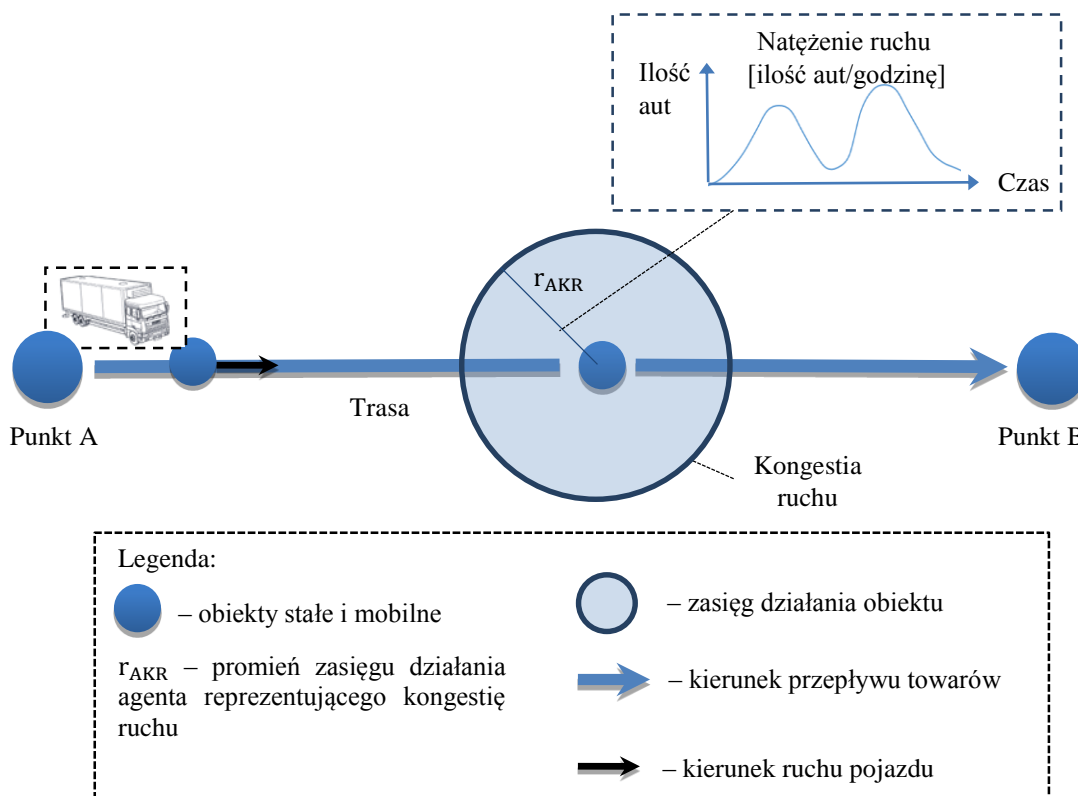
Źródło: (<https://www.google.pl/maps>, data dostępu: 13.10.2015)

Metoda modelowania symulacyjnego

Kongestia ruchu w danym punkcie modelowana jest za pomocą zaprojektowanego obiektu o cechach agentowych. W zależności od natężenia ruchu w danym punkcie definiowany jest promień zasięgu tego zjawiska.

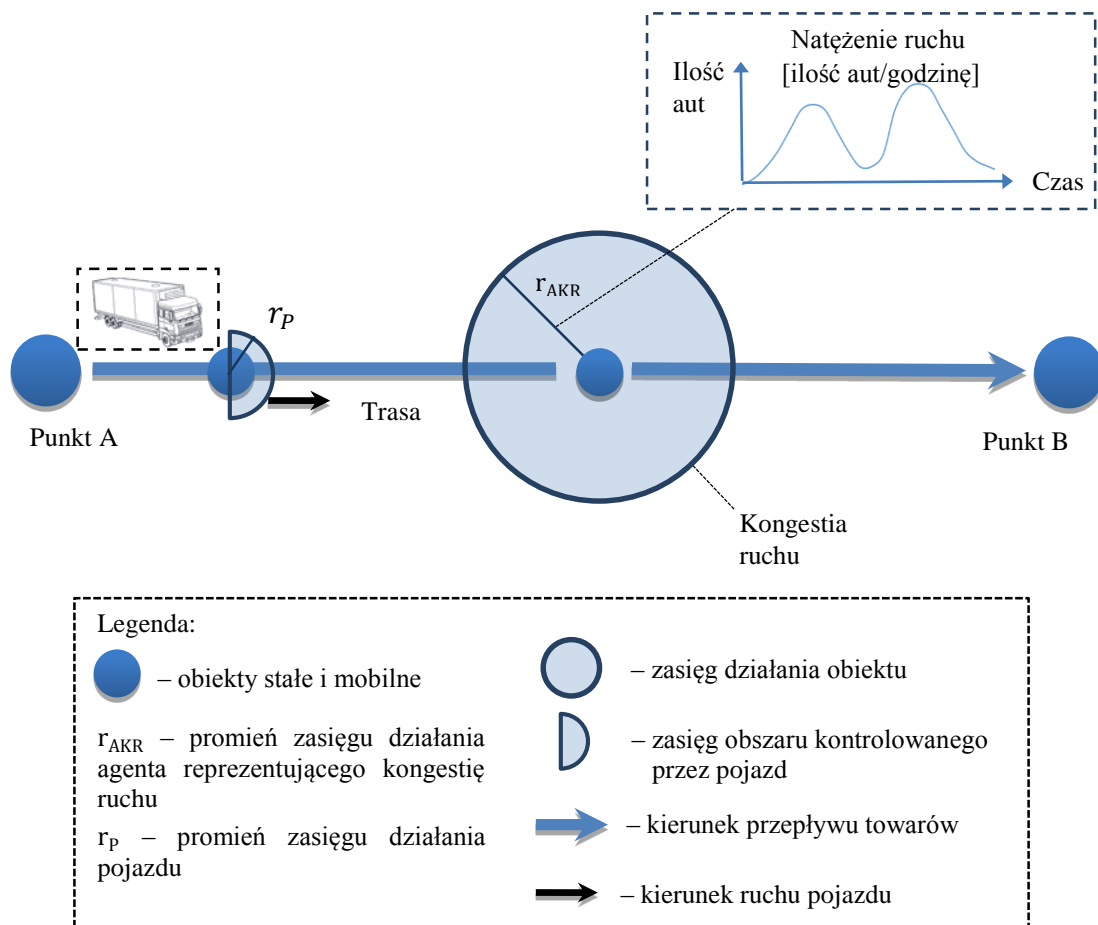
Zakłócenie to może zostać zamodelowane według następujących metod (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 150-151):

- Metoda 1 (rys. 6.2.5) – kongestia ruchu w danym punkcie reprezentowana jest za pomocą agenta o zdefiniowanym zasięgu działania. Agent (niczym radar), sprawdza co określony przedział czasu [u.j.c.] (np. 1 jednostkę symulacyjną) czy w jego obszarze zasięgu nie znalazł się obcy podmiot (w tym przypadku środek transportowy). Obszar zasięgu agenta reprezentowany jest za pomocą okręgu o promieniu r_{AKR} . W sytuacji pojawienia się środka transportowego w obrębie funkcjonowania agenta, agent wysyła wiadomość do pojazdu o występującym zakłóceniu, czyli kongestii ruchu. Wiadomość ta zawiera informację dotyczącą prędkości poruszania się pojazdu na określonym odcinku. Środek transportowy po odebraniu wiadomości, zmienia prędkość jazdy zgodnie z otrzymaną informacją.



Rys. 6.2.5. Kongestia ruchu reprezentowana przez agenta – metoda 1
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 150)

- Metoda 2 (rys. 6.2.6) – kongestia ruchu w danym punkcie prezentowana jest za pomocą agenta o zasięgu działania, definiowanym za pomocą okręgu o promieniu r_{AKR} . Dodatkowo środek transportowy, posiada swój zasięg działania (obszar), w którym sprawdza czy nie występują inni agenci (z uwzględnieniem ich zasięgu działania), reprezentujący określone zakłócenia. Obszar środka transportowego to połowa koła o promieniu r_P . Wynika to z faktu, iż obserwowany jest tylko obszar znajdujący się przed pojazdem. Obszar za pojazdem nie jest analizowany, ponieważ nie ma wpływu na dalszy przebieg procesu.



Rys. 6.2.6. Kongestia ruchu reprezentowana przez agenta – metoda 2
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 151)

W metodzie numer 2 to środek transportowy kontroluje czy występuje jakieś zakłócenie. Agent reprezentujący ciężarówkę sprawdza, zgodnie ze zdefiniowaną jednostką czasu, czy w jego obszarze znajduje się jakieś zakłócenie. Jeżeli tak – wysyła wiadomość do agenta reprezentującego zakłócenie o podanie ograniczenia. Po otrzymaniu wiadomości, zmienia prędkość jazdy zgodnie

z podaną informacją. Obszar wokół pojazdu celowo został przedstawiony za pomocą półkola o małym obszarze – w chwili przesyłania wiadomości uznawane jest, że pojazd znajduje się w obszarze występowania utrudnień w ruchu. To rozwiązanie dodatkowo umożliwia rozwój metody modelowania pokonywania trasy – po zwiększeniu obszaru półkola, środek transportowy po otrzymaniu wiadomości, że w określonej odległości występuje spowolnienie ruchu, mógłby zmienić trasę przejazdu (pod warunkiem nadania mu takich umiejętności). Obszar agenta reprezentującego zakłócenie i obszar pojazdu pokrywałyby się zanim środek transportowy wjechałby w obszar działania zakłócenia.

Ujęcie analityczne

Dla danego obszaru definiowany jest agent reprezentujący występowanie kongestii ruchu. Dla każdego z nich należy określić:

- prawdopodobieństwo wystąpienia kongestii ruchu w danym obszarze:

$$P_{KR} = x_{KR}, \quad x_{KR} \in (0; 1) \quad (6.2.5)$$

- zasięg działania zakłócenia definiowany jako obszar o określonym promieniu:

$$r_{KR} = y_{KR} [km], \quad y_{KR} \in (0; y_{KR_{max}} > [km] \quad (6.2.6)$$

- prędkość przejazdu w tym obszarze określana jest za pomocą rozkładu normalnego o następujących parametrach (definiując dodatkowo wartość minimalną oraz maksymalną):

$$V_{KR} = Normal(\mu_{V_{KR}}; \sigma_{V_{KR}}) \left[\frac{km}{h} \right] \quad (6.2.7)$$

- górna granica prędkości przejazdu może zostać zdefiniowana w następujący sposób:

$$V_{KR_{max}} = 0,68 * V_{Przep} \left[\frac{km}{h} \right], \quad Z_{KR} \in (0; 50,4 > \quad (6.2.8)$$

Wartość 0,68 przyjęta została na podstawie (Szczupakowski, 2014, s. 10299-10305).

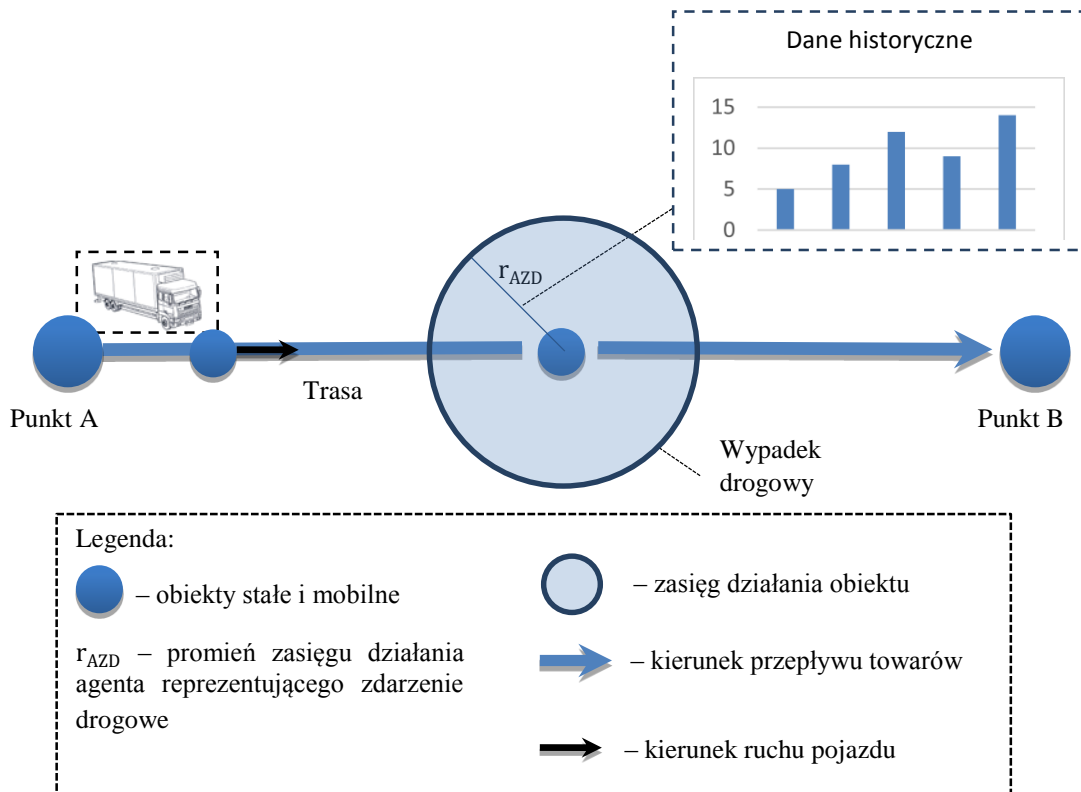
6.2.4. Zdarzenie drogowe

Kolejne zakłócenie to zdarzenie drogowe na planowanej trasie przejazdu środka realizującego zlecenie. Istnieją strony internetowe, na których aktualizowane są na bieżąco informacje o wypadkach i utrudnieniach występujących na danej trasie, np. v-traffic (<http://www.v-traffic.pl>, data dostępu: 13.10.2015), na której udostępniane są informacje o ruchu drogowym w rzeczywistym czasie. Ponadto Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego publikuje co roku szczegółowe raporty dotyczące wypadków w Polsce (2015). Również Komenda Główna Policji publikuje coroczne raporty (2015) dotyczące wypadków drogowych.

Metoda modelowania symulacyjnego

Dla tego zakłócenia zdefiniowano dwie sytuacje : 1 – pojazd realizujący zlecenie nie jest uczestnikiem zdarzenia drogowego, 2 – pojazd ten jest uczestnikiem wypadku lub kolizji. W pierwszym przypadku założono, że efektem tego zakłócenia jest spowolnienie prędkości przejazdu na określonym odcinku, co przekłada się na wydłużenie czasu przejazdu, zwiększenie emisji spalin, a także wiąże się z możliwością skończenia się czasu pracy kierowcy, co pociąga za sobą dodatkowe utrudnienia. Natomiast w drugiej sytuacji przyjęto, że środek transportowy nie może dalej się przemieszczać, co skutkuje niezrealizowaniem zlecenia, to zaś karami finansowymi dla przedsiębiorstwa.

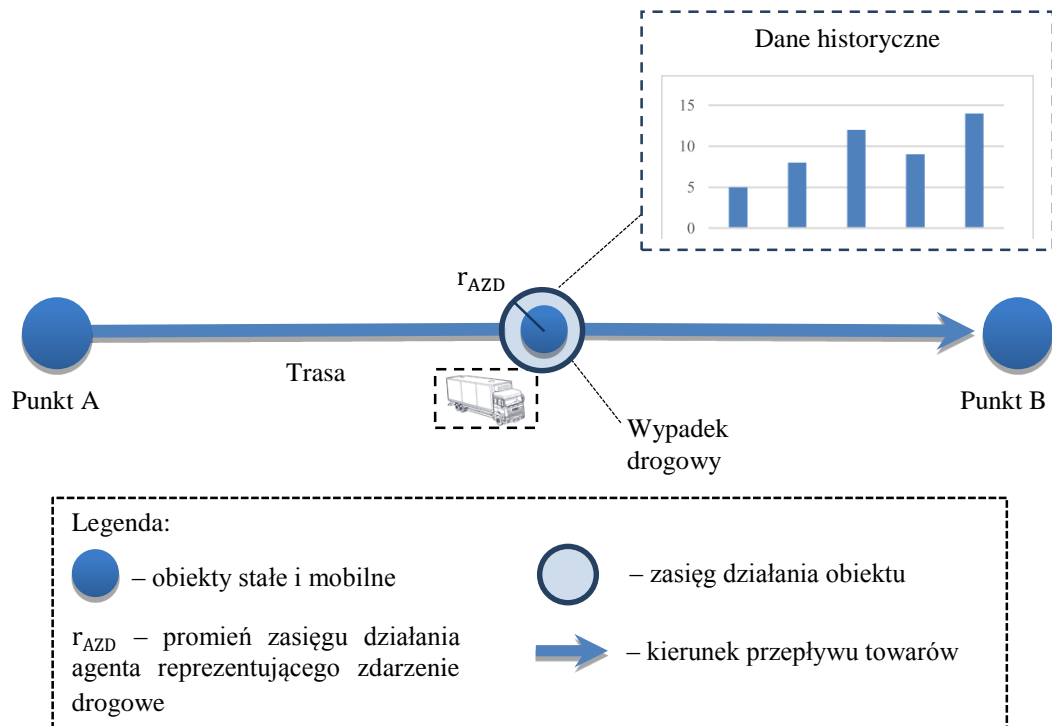
- Sytuacja 1 (rys. 6.2.7) – zdarzenie drogowe w danym punkcie reprezentowane jest za pomocą agenta o zasięgu działania definiowanym za pomocą okręgu o promieniu r_{AZD} . Zasięg wpływu tego zaburzenia zależy od jego typu (kolizja czy wypadek) oraz od natężenia ruchu w danym momencie (im większe natężenie ruchu tym większy zasięg występującej kongestii). Co określony przedział czasu [u.j.c.] agent reprezentujący zdarzenie drogowe sprawdza, czy w obszarze jego działania znalazł się inny podmiot – podmiot reprezentujący środek transportowy realizujący zlecenie. Jeżeli tak, to do pojazdu zostaje wysłana wiadomość o występującym zakłóceniu. Zawiera ona informację o spowolnieniu w ruchu, tzn. o prędkości przejazdu.



Rys. 6.2.7. Zdarzenie drogowe – sytuacja 1

Źródło: opracowanie własne

- Sytuacja 2 (rys. 6.2.8) – sposób modelowania zakłócenia jest zbliżony do przypadku 1.



Rys. 6.2.8. Zdarzenie drogowe – sytuacja 2

Źródło: opracowanie własne.

Dla tej sytuacji promień zakłócenia r_{AZD} wynosi 16,5 metra (co wynika z długości zestawu (ciągnik + naczepa)). Spowodowane jest to faktem, iż pojazd realizujący zlecenie transportowe jest uczestnikiem zdarzenia, zatem znajduje się w jego centrum, a nie wjeżdża w obszar o zmniejszonej prędkości przemieszczania się. Prędkość przemieszczania się dla tego środka wynosi 0 km/h.

Ujęcie analityczne

Efekt tego zakłócenia będzie różny w zależności od tego czy pojazd realizujący zlecenie jest uczestnikiem zdarzenia drogowego czy nie. Dlatego każdy z tych przypadków należy rozważyć osobno.

Przyjęto, że prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji drogowej bez udziału środka transportowego realizującego zlecenie (P_{ZD}) oraz prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia drogowego w danym punkcie z udziałem pojazdu realizującego zlecenie (P_{ZDP}) określone jest dla miejsc o podwyższonym ryzyku – dla tzw. „czarnych punktów”.

Przypadek 1

W sytuacji, gdy analizowany pojazd realizujący zlecenie nie jest uczestnikiem zdarzenia drogowego uwzględnić należy wydłużenie czasu spowodowane spowolnieniem ruchu w miejscu kolizji lub wypadku. Należy określić następujące wartości zmienne:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia drogowego:

$$P_{ZD} = x_{ZD}, \quad x_{ZD} \in (0; 1) \quad (6.2.9)$$

- zasięg działania zakłócenia definiowany jako obszar o określonym promieniu:

$$r_{ZD} = y_{ZD} [m], \quad y_{ZD} \in (0; y_{ZD_{max}}) \quad (6.2.10)$$

- prędkość przejazdu w tym obszarze – określana jest za pomocą rozkładu normalnego o następujących parametrach (definiując dodatkowo wartość minimalną oraz maksymalną):

$$V_{ZD} = Normal(\mu_{V_{ZD}}; \sigma_{V_{ZD}}) \left[\frac{km}{h} \right] \quad (6.2.11)$$

Przypadek 2

W sytuacji, gdy pojazd realizujący zlecenie jest uczestnikiem zdarzenia drogowego założono, że nie może kontynuować przejazdu. Dla tego przypadku należy zdefiniować:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia drogowego z udziałem pojazdu realizującego zlecenie:

$$P_{ZDP} = x_{ZDP}, \quad x_{ZDP} \in (0; 1) \quad (6.2.12)$$

- zasięg działania zakłócenia definiowany jako obszar o promieniu:

$$r_{ZDP} = 16,5 [m] \quad (6.2.13)$$

*celowo założono taką wartość promienia, ponieważ pojazd ma być uczestnikiem zdarzenia, a nie wjeżdżać w obszar o zmniejszonej prędkości przejazdu w związku z wypadkiem lub kolizją. Promień jest równoznaczny z długością zestawu (ciągnik + naczepa).

- prędkość przejazdu w tym obszarze definiowana jest jako 0 km/h, co odwzorowuje niemożliwość dalszej realizacji zlecenia, zgodnie z wcześniejszymi założeniami:

$$V_{ZDP} = 0 \left[\frac{km}{h} \right] \quad (6.2.14)$$

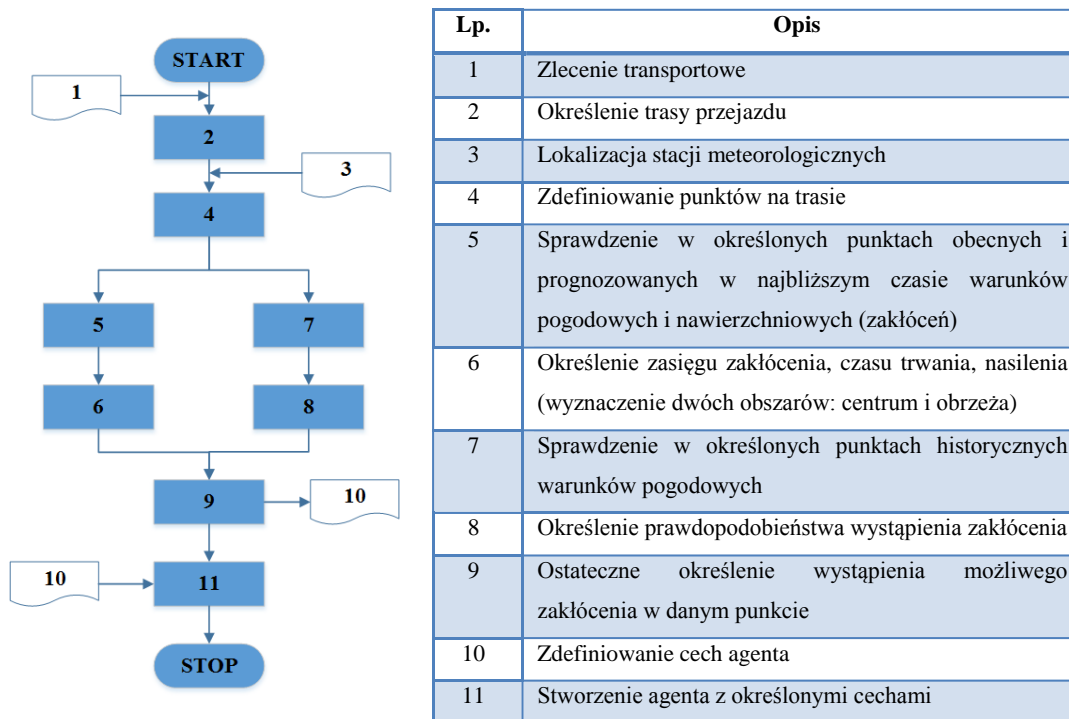
6.2.5. Trudne warunki pogodowe, mokra lub śliska nawierzchnia drogi

Trudne warunki pogodowe (np. ulewy, śnieżyce, silne wiatry), a także mokra lub śliska nawierzchnia drogi utrudniają realizację zlecenia transportowego, czasem nawet ją uniemożliwiają. W sytuacji pogorszenia się warunków pogodowych, prędkość z jaką porusza się pojazd zostaje zmniejszona, co skutkuje wydłużeniem czasu realizacji całego procesu. Modelując to zakłócenie należy skorzystać z informacji publikowanych na stronach pogodowych, danych historycznych, a także prognoz pogody. Aktualne warunki pogodowe oraz stan nawierzchni dróg (sucha, wilgotna, mokra) uzyskane z rozmieszczonych w różnych miejscach w Polsce stacji meteorologicznych publikowane są na stronie traxelektronik (<http://www.traxelektronik.pl>, data dostępu: 13.10.2015). Przewidywane zagrożenia pogodowe publikowane są przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) na stronie pogodynka.pl (<http://www.pogodynka.pl>, data dostępu: 31.01.2015).

Metoda modelowania symulacyjnego

Po określeniu trasy przejazdu dla danego zlecenia, należy sprawdzić panujące oraz prognozowane warunki pogodowe na trasie przejazdu. Zjawiska pogodowe występują lokalnie, w związku z tym należy przyjąć co jaką odległość sprawdzane są warunki pogodowe na trasie i ustalić w tych miejscach tzw. punkty kontrolne. Uwzględniając ich położenie, należy również wziąć pod uwagę ulokowanie wspomnianych wcześniej stacji meteorologicznych. W przypadku otrzymania informacji o możliwym wystąpieniu

znacznego pogorszenia warunków pogodowych w którymś z wyznaczonych punktów kontrolnych, stworzony zostaje w nim agent reprezentujący dane zakłócenie. Atrybutami tego agenta są: moment wystąpienia zjawiska atmosferycznego, obszar działania, informacja o prędkości przejazdu w obszarze występowania zjawiska pogodowego. Mówiąc o trudnych warunkach pogodowych należy uwzględnić dwa obszary jego zasięgu – centrum zmian pogodowych, w których następuje kulminacja zjawiska oraz obrzeża jego występowania, w których dane warunki pogodowe są trudne, lecz w mniejszym stopniu uciążliwe niż w centrum. Tak jak w przypadku ulew towarzyszących burzy – najpierw znajdujemy się w obszarze deszczu, a następnie silnej ulewy i znów w obszarze deszczu. W związku z takim podejściem agent posiada dwa zasięgi działania, z określonymi ograniczeniami dla każdego z nich. Na rysunku 6.2.9 zaprezentowano schemat tworzenia agenta reprezentującego dane zakłócenie wraz z opisem poszczególnych elementów.



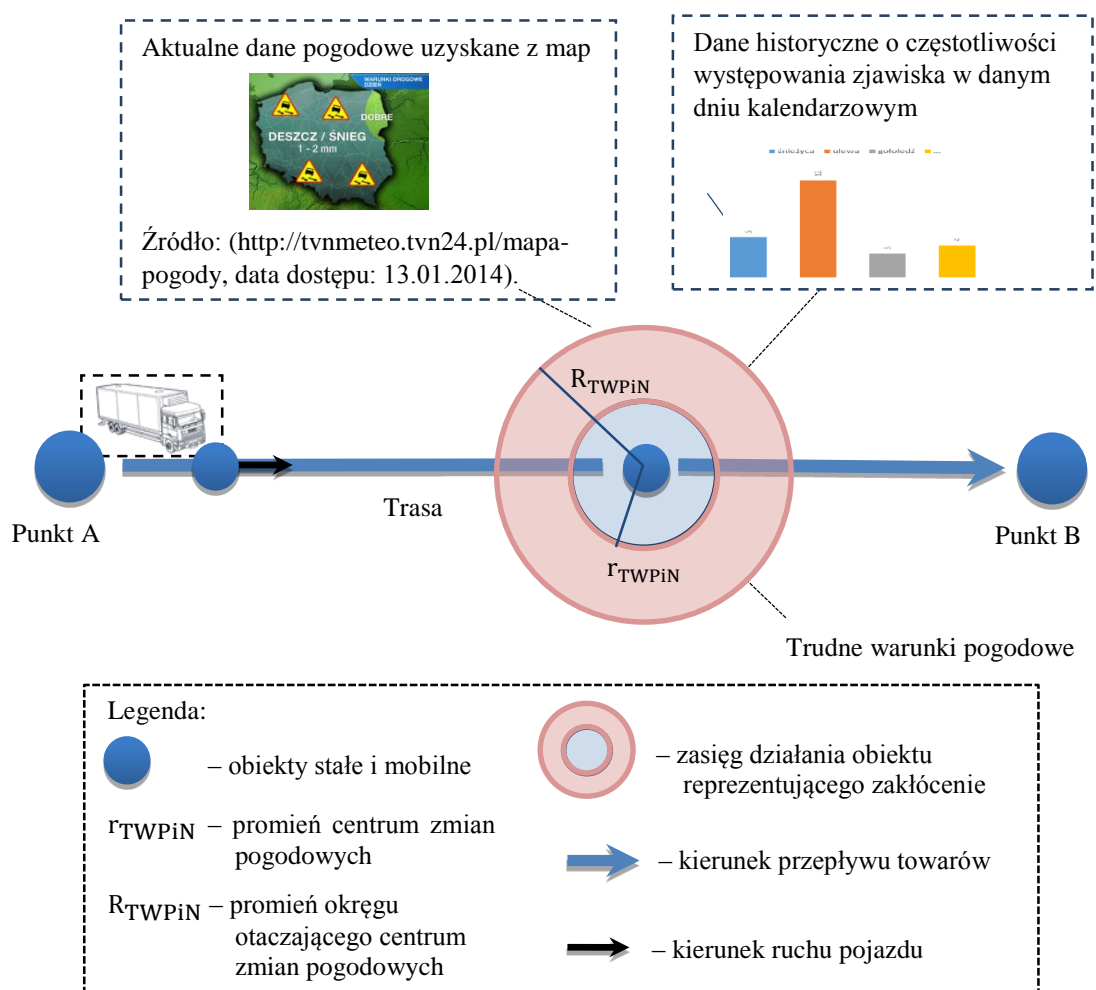
Rys. 6.2.9. Schemat blokowy tworzenia agenta dla zakłócenia trudne warunki pogodowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 152)

Zakłócenie to z wykorzystaniem agenta może zostać zamodelowane dwoma metodami (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 152-154):

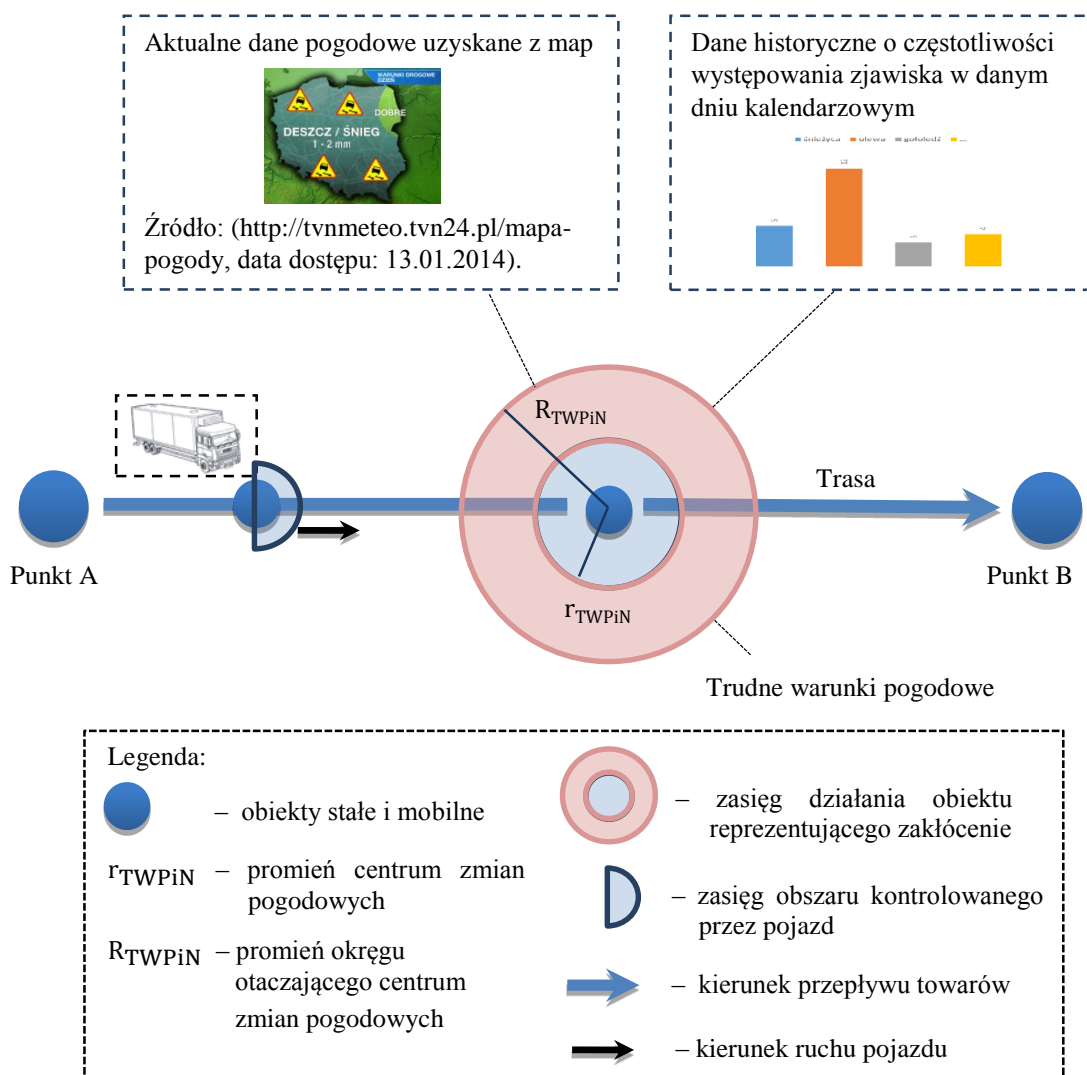
- Metoda 1 (rys. 6.2.10) – trudne warunki pogodowe lub mokra, śliska nawierzchnia drogi w danym punkcie reprezentowane są za pomocą agenta

o dwóch określonych zasięgach działania. Obszary te są następujące: koło o promieniu r_{TWPiN} , reprezentujące centrum zmian pogodowych oraz pierścien (zasięg działania zdefiniowany za pomocą dwóch promieni $R_{TWPiN} - r_{TWPiN}$), który tworzy obszar otaczający centrum. Agent sprawdza, co określoną jednostkę czasu [u.j.c.] czy w którymś z jego zasięgów nie znalazł się inny obiekt – reprezentujący środek transportowy. Jeżeli tak, to wysyła do pojazdu informację o występującym zakłóceniu (wiadomość o rodzaju zakłócenia, obszarze działania, zmniejszeniu prędkości). Pojazd po odebraniu wiadomości, zmienia prędkość jazdy zgodnie z podanymi informacjami. Na potrzeby odwzorowania tego zakłócenia, zakłada się pewną statyczność warunków pogodowych – nie zmieniają się w trakcie ich występowania. Postępowanie to jest podyktowane brakiem wystarczających danych i wiedzy na temat zmienności warunków pogodowych.



Rys. 6.2.10. Modelowanie trudnych warunków pogodowych – metoda 1
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 143)

- Metoda 2 (rys. 6.2.11) – tak jak w przypadku pierwszym agent reprezentujący trudne warunki pogodowe w danym punkcie posiada dwa obszary działania (centrum reprezentowane za pomocą koła o promieniu r_{TWPiN} oraz obszar otaczający definiowany za pomocą pierścienia). Dodatkowo środek transportowy posiada swój zasięg działania – stały obszar, w którym sprawdza czy nie występują w nim inni agenci (z uwzględnieniem ich zasięgu działania) reprezentujący zakłócenia. Obszar środka transportowego reprezentowany jest za pomocą półkola, ponieważ sprawdzane są ograniczenia występujące zgodnie z kierunkiem jazdy pojazdu.

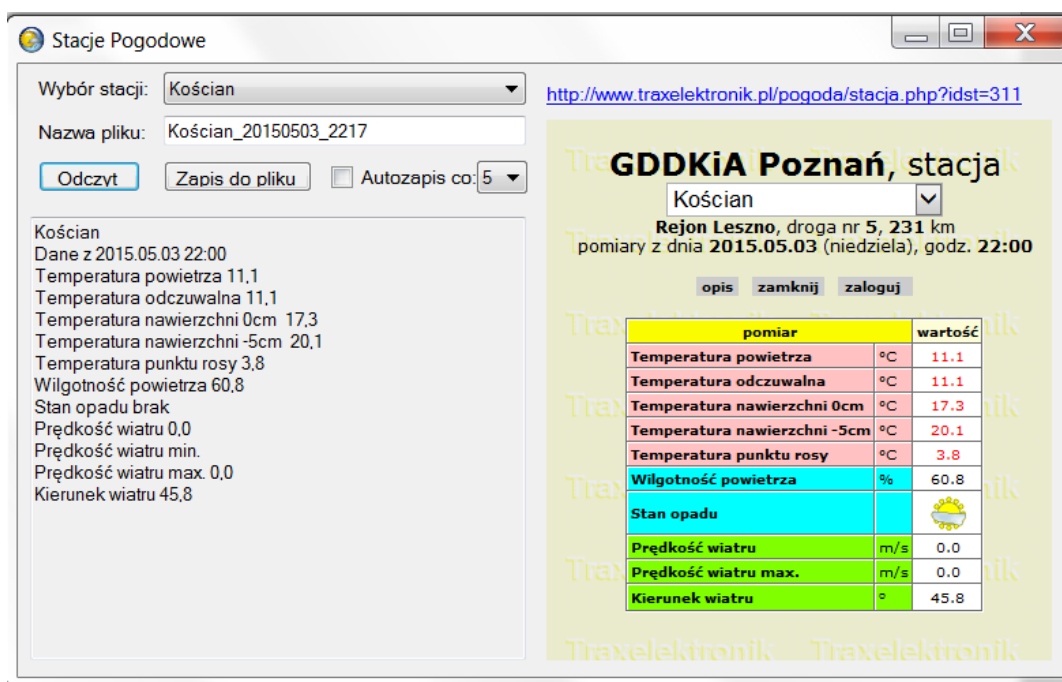


Rys. 6.2.11. Modelowanie trudnych warunków pogodowych – metoda 2
 Źródło: opracowanie własne na podstawie (Hoffa, Pawlewski, 2014a, s. 154)

W tym przypadku to agent, który reprezentuje pojazd, sprawdza czy w jego obszarze nie znajduje się jakieś zakłócenie. Jeżeli tak to wysyła wiadomość do zakłócenia o podanie warunków ograniczających (zmian). Po otrzymaniu

wiadomości, zmienia prędkość jazdy zgodnie z podaną informacją. Rozwiązanie to, tak jak w przypadku kongestii ruchu umożliwia w sytuacji nadania określonych umiejętności pojazdowi, zmianę trasy przejazdu przed wjechaniem w obszar zakłócenia.

Zebranie danych dotyczących warunków pogodowych jest zadaniem trudnym, jednak nie niemożliwym. Istnieją bazy danych z informacjami na temat temperatury, wiatru i opadów w danym dniu w roku w ciągu kilkunastu ostatnich lat. Również możliwe jest uzyskanie aktualnych informacji z map pogodowych. W celu zebrania informacji dotyczących warunków pogodowych w wybranych punktach zaprojektowany został program monitorujący i zapisujący informacje ze strony <http://www.traxelektronik.pl>. Rysunek 6.2.12 przedstawia interfejs programu spisującego informacje umieszczane na wyżej wymienionej stronie.



Rys. 6.2.12. Program zapisujący informacje pogodowe

Źródło: zrzut ekranu z zaprojektowanego programu

Na rysunku 6.2.13 przedstawiono uzyskane informacje z określonego przedziału czasowego dla wybranego punktu pomiarowego. Oczywiście należy poddać je dalszej obróbce, tak by uzyskać dane w formacie możliwym do wprowadzenia do programu symulacyjnego.

1	Stacja	Data	Godzina	Temperatura powietrza	Temperatura odczuwalna	Temperatura nawierzchni 0cm	Temperatura nawierzchni -5cm	Temperatura punktu rosy	Wilgotność powietrza	Stan opadu	Prędkość wiatru	Prędkość wiatru min.	Prędkość wiatru max.	Kierunek wiatru
2	Kościan	2015.10.07	08:30	9,3	9,3	13,7	14,5	4,8	73,5	brak	0	-	0	26,2
3	Kościan	2015.10.07	08:40	9,6	-	14,3	14,6	5,1	73,5	-	-	-	-	-
4	Kościan	2015.10.07	08:40	9,3	9,3	13,8	14,5	4,7	73,3	brak	0	-	0	25,6
5	Kościan	2015.10.07	08:50	9,7	-	14,3	14,7	5,1	73,1	-	-	-	-	-
6	Kościan	2015.10.07	08:50	9,2	9,2	13,8	14,5	4,6	73,2	brak	0	-	0	23,9
7	Kościan	2015.10.07	09:00	9,5	-	14,2	14,7	4,8	72,9	-	-	-	-	-
8	Kościan	2015.10.07	09:00	9,2	9,2	13,8	14,5	4,5	72,7	brak	0	-	0	31
9	Kościan	2015.10.07	09:10	9,2	9,2	13,9	14,5	4,5	72,6	brak	0	-	0	26,7
10	Kościan	2015.10.07	09:20	9,1	9,1	13,9	14,5	4,4	72,4	brak	0	-	0	24
11	Kościan	2015.10.07	09:30	9,3	-	13,9	14,6	4,4	71,3	-	-	-	-	-
12	Kościan	2015.10.07	09:40	9,2	-	14,1	14,8	4,2	70,8	-	-	-	-	-
13	Kościan	2015.10.07	09:40	9	9	14	14,6	4,1	71,8	brak	0	-	0	19,2
14	Kościan	2015.10.07	09:50	9,6	-	14,4	14,7	4,5	70,7	-	-	-	-	-
15	Kościan	2015.10.07	09:50	9	9	14,2	14,7	4	71,1	brak	0	-	0	28,1

Rys. 6.2.13. Przykładowe zebrane dane pogodowe

Źródło: na podstawie (<http://www.traxelektronik.pl>, data dostępu: 07.10.2015)

Dla danych zaprezentowanych na rysunku 6.2.13 postanowiono uznać za trudne warunki pogodowe sytuacje, gdy:

- temperatura nawierzchni wynosi <0 stopni i wystąpiły jakiekolwiek opady deszczu lub śniegu,
- wystąpiły opady deszczu lub śniegu i wieje silny wiatr,
- wystąpił silny wiatr.

Klasyfikację różnych zjawisk meteorologicznych do trzech stopni zagrożenia odnaleźć można na stronie (<http://www.pogodynka.pl/ostrezenia/klasyfikacja>, data dostępu: 31.01.2016).

Ujęcie analityczne

Dla każdego wyróżnionego miejsca występowania zakłócenia należy określić:

- prawdopodobieństwo wystąpienia trudnych warunków pogodowych:

$$P_{TWPiN} = x_{TWPiN}, \quad x_{TWPiN} \in (0; 1) \quad (6.2.15)$$

- zasięg działania zakłócenia definiowany jako:

- promień określający cały obszar:

$$R_{TWPiN} = y_{TWPiN} [km], \quad y_{TWPiN} \in (0; y_{TWPiN_{max}}) \quad (6.2.16)$$

- promień określający centrum zmian:

$$r_{TWPiN} = X_{r_{TWPiN}} * R_{TWPiN} [km], \quad X_{r_{TWPiN}} \in (0; 1) \quad (6.2.17)$$

- prędkość przejazdu:

- dla odcinka: prędkość wyrażona za pomocą rozkładu normalnego o następujących parametrach (definiując dodatkowo wartość minimalną i maksymalną):

$$V_{OTWPiN} = Normal(\mu_{V_{OTWPiN}}; \sigma_{V_{OTWPiN}}) \left[\frac{km}{h} \right] \quad (6.2.18)$$

- w centrum zjawiska: prędkość określona jest jako $X_{V_{CTWPIIN}}$ * zdefiniowana prędkość poruszania się w obszarze otaczającym centrum zmian:

$$V_{CTWPIIN} = X_{V_{CTWPIIN}} * V_{OTWPIIN} \left[\frac{km}{h} \right], \quad X_{V_{CTWPIIN}} \in (0; 1) \quad (6.2.19)$$

6.2.6. Miejsca kontroli wjazdu (np. wjazd na teren ogrodzony szlabanem) lub poniesienia opłaty (punkty poboru opłat na odcinkach płatnych)

Na trasie przejazdu środka transportowego wystąpić mogą miejsca z kontrolą wjazdu za pomocą tzw. szlabanów lub punkty poboru opłat (w skład, których wchodzi budka pracownicza oraz szlaban). W obu przypadkach pojazd musi zatrzymać się przed szlabanem i wykonać określone czynności w celu jego podniesienia, co umożliwi dalszy przejazd. Obydwie sytuacje potraktowano identycznie – sposób ich zamodelowania jest taki sam.

W przypadku punktów poboru opłat wyróżnia się ich dwa przypadki – manualny pobór lub elektroniczny. Manualny sposób poboru opłaty na określonym odcinku trasy oznacza, że kierowca wjeżdżając na taki odcinek autostrady pobiera bilet, na podstawie którego dokonuje opłaty w miejscu poboru opłat w momencie opuszczania danego odcinka trasy (<http://www.gddkia.gov.pl>, data dostępu: 10.08.2014). Elektroniczny system polega natomiast na automatycznym pobraniu opłaty za pomocą elektronicznego systemu (w Polsce viaTOLL). „Za każdym razem, gdy pojazd (wyposażony w viaAUTO) zjeżdża z autostrady, zostaje naliczona opłata za przejazd konkretnym odcinkiem drogi płatnej. Kierowca zostaje o tym powiadomiony pojedynczym sygnałem z viaAUTO. Jeżeli jednak przy wjeździe na autostradę zostanie stwierdzone, że pojazd ma nieaktywne viaAUTO lub niskie czy zerowe saldo konta przedpłaconego wówczas szlaban się nie otworzy. Kierowca będzie musiał pobrać bilet tranzytowy, a następnie w sposób manualny uiścić opłatę na pasie wyjazdowym” (<http://www.viatoll.pl>, data dostępu: 10.08.2014). Natomiast miejsce z kontrolą wjazdu można potraktować jak sytuację z manualnym poborem opłat, a dokładniej z pobraniem biletu przy wjeździe na dany odcinek. Kierowca musi zatrzymać pojazd, wykonać określone czynności i dopiero po otwarciu szlabanu może przejechać dalej.

Metoda modelowania symulacyjnego

Miejsca te odwzorowywane są przy pomocy modelowania agentowego. W każdym z nich tworzony jest obiekt, dla którego definiowany jest czas zatrzymania w tym punkcie. Wystąpienie tego zakłócenia jest pewne, zmienny jest natomiast czas

oczekiwania. Wpływ na to będzie miało natężenie ruchu. W celu zamodelowania tego zakłócenia można przyjąć pewne uproszczenie: modelowany jest zwiększony czas oczekiwania na bramce (zależny od natężenia ruchu) zamiast modelowania czasu oczekiwania na bramce oraz zmniejszenia prędkości dojazdu do bramki (w sytuacji oczekiwania większej liczby pojazdów do PPO).

Ujęcie analityczne

W przypadku punktów poboru opłat należy oddzielnie uwzględnić dwa sposoby poboru: manualny oraz elektroniczny. Korzystając z przeprowadzonych w ramach studiów inżynierskich badań (Grajek, Hoffa, Karcz, 2012, s. 105-109) dotyczących zbliżonej sytuacji – poboru biletu i uregulowania opłaty przy wyjeździe z parkingu, postanowiono skorzystać z uzyskanych wtedy wyników. Czas pobrania biletu na wjeździe na odcinek płatny oraz czas uregulowania opłaty w sposób manualny zdefiniowano za pomocą rozkładów normalnych, przy jednoczesnym określeniu wartości minimalnej oraz maksymalnej. Zapis tych wartości jest następujący: $TNormal(\text{średnia wartość, odchylenie, minimalna wartość, maksymalna wartość})$.

Przypadek 1 – pobór opłaty w sposób manualny bądź w sytuacji nieaktywnego viaAUTO lub niskiego stanu konta:

- czas pobrania biletu przez 1 pojazd na wjeździe na płatny odcinek:

$$T_{MPPWE1} = TNormal(5; 2; 3; 20)[s] \quad (6.2.20)$$

- czas uregulowania opłaty przez 1 pojazd na wyjeździe z płatnego odcinka (rys. 6.2.14):

$$80\% \text{ przypadków: } T_{MPPWY1} = TNormal(7,5; 4,5; 3; 300) [s] \quad (6.2.21)$$

$$20\% \text{ przypadków: } T_{MPPWY1} = TNormal(81; 71; 3; 300) [s] \quad (6.2.22)$$

Przyjmując, że w kolejce do uregulowania opłaty mamy do 5 pojazdów czasy te odpowiednio wynoszą:

- czas pobrania biletu (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wjeździe na płatny odcinek:

$$T_{MPPWE} = TNormal(\mu_{T_{MPPWE}}; \sigma_{T_{MPPWE}}; T_{MPPWE_{min}}; T_{MPPWE_{max}})[s], \quad (6.2.23)$$

$$\mu_{T_{MPPWE}} \in < 5; 25 >, \sigma_{T_{MPPWE}} \in < 2; 10 > ,$$

$$T_{MPPWE_{min}} \in < 3; 15 >, T_{MPPWE_{max}} \in < 20; 100 >$$

- czas uregulowania opłaty (z uwzględnieniem czasu oczekiwania) na wyjeździe z płatnego odcinka:

80% przypadków:

$$T_{MPPOWY} = TNormal(\mu_{T_{MPPOWY}}; \sigma_{T_{MPPOWY}}; T_{MPPOWY_{min}}; T_{MPPOWY_{max}})[s], \quad (6.2.24)$$

$$\mu_{T_{MPPOWY}} \in < 7.5 ; 37.5 >, \sigma_{T_{MPPOWY}} \in < 4.5 ; 22.5 > ,$$

$$T_{MPPOWY_{min}} \in < 3 ; 15 >, T_{MPPOWY_{max}} \in < 300 ; 1500 >$$

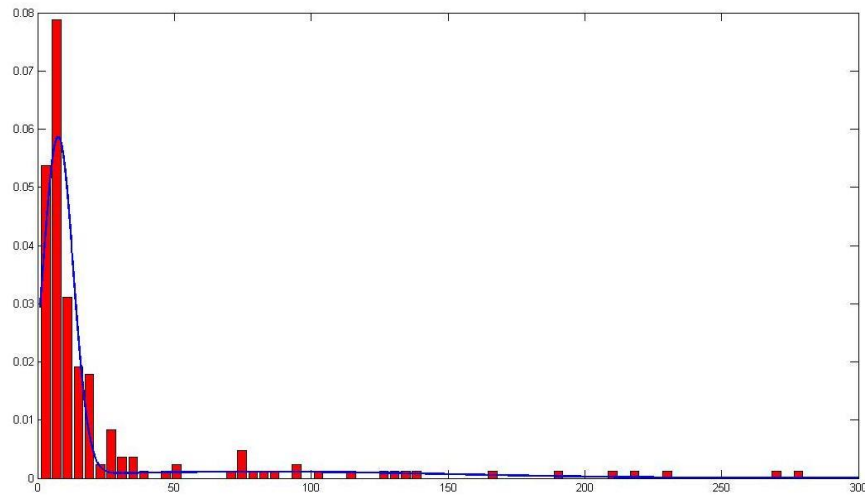
20% przypadków:

$$T_{MPPOWY} = TNormal(\mu_{T_{MPPOWY}}; \sigma_{T_{MPPOWY}}; T_{MPPOWY_{min}}; T_{MPPOWY_{max}})[s], \quad (6.2.25)$$

$$\mu_{T_{MPPOWY}} \in < 81 ; 405 >, \sigma_{T_{MPPOWY}} \in < 71 ; 355 > ,$$

$$T_{MPPOWY_{min}} \in < 3 ; 15 >, T_{MPPOWY_{max}} \in < 300 ; 1500 >$$

W sytuacji zwiększonego ruchu, liczba samochodów oczekujących w kolejce wzrośnie, co wpłynie również na czas oczekiwania.



Rys. 6.2.14. Histogram czasu obsługi jednego pojazdu na bramkach wyjazdowych z rozkładem statystycznym

Źródło: (Grajek, Hoffa, Karcz, 2012, s. 105-109)

- należy również określić prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji manualnego poboru opłat:

$$P_{MPPO} = x_{MPPO}, \quad x_{MPPO} \in (0; 1) \quad (6.2.26)$$

Przypadek 2 – pobór opłaty w sposób elektroniczny:

Czas przejazdu przez bramkę na wjeździe oraz wyjeździe w tej sytuacji będzie zbliżony.

- czas zatrzymania na bramkach elektronicznego poboru na wjeździe i wyjeździe dla 1 pojazdu:

$$T_{EPPOWEWY1} = TNormal(5; 2; 3; 20)[s] \quad (6.2.27)$$

Przyjmując, tak jak wcześniej, że w kolejce do przejazdu przez bramkę mamy do 5 pojazdów, czasy te będą wynosić:

- czas zatrzymania na bramkach elektronicznego poboru na wjeździe i wyjeździe:

$$T_{EPPPOWEY} = TNormal(\mu_{T_{EPPPOWEY}}, \sigma_{T_{EPPPOWEY}}, T_{EPPPOWEY_{min}}, T_{EPPPOWEY_{max}}) [s], \quad (6.2.28)$$

$$\mu_{T_{EPPPOWEY}} \in < 5; 25 >, \sigma_{T_{EPPPOWEY}} \in < 2; 10 > ,$$

$$T_{EPPPOWEY_{min}} \in < 3; 15 >, T_{EPPPOWEY_{max}} \in < 20; 100 >$$

- należy również zdefiniować prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji występowania elektronicznego poboru opłat:

$$P_{EPPPO} = x_{EPPPO}, \quad x_{EPPPO} \in (0; 1) \quad (6.2.29)$$

Przypadek 3 – wjazd na teren ogrodzony szlabanem (miejsce kontroli wjazdu) – w tym przypadku będziemy mieli do czynienia z sytuacją jak w przypadku 2. Można przyjąć te same czasy.

- należy również określić prawdopodobieństwo wystąpienia tej sytuacji w modelu:

$$P_{MKW} = x_{MKW}, \quad x_{MKW} \in (0; 1) \quad (6.2.30)$$

6.2.7. Brak wymaganych zasobów do realizacji procesu w danym momencie w punkcie załadunku (np. brak pracowników lub wolnej rampy załadunkowej)

Występują sytuacje z powodu, których proces załadunku nie rozpoczyna się zgodnie z harmonogramem. Jednym z takich powodów może być podstawienie auta do załadunku z opóźnieniem (sytuacja opisana w podrozdziale 6.2.2). Innym powodem może być ograniczona liczba pracowników w punkcie załadunku bądź brak wolnej rampy załadunkowej. W obu przypadkach skutkiem będzie wydłużony czas realizacji całego zlecenia.

Metoda modelowania symulacyjnego

Zakłócenie to modelowane jest podobnie do zakłócenia numer 2 – braku środka transportowego w punkcie załadunku w określonym momencie. Jednak w tym przypadku, za zaistniałą sytuację winę ponosi przedsiębiorstwo, w którym odbywa się załadunek. Zakłócenie to modelowane jest w następujący sposób: obiekt reprezentujący dane zaburzenie umiejscowiony jest w punkcie załadunku. W sytuacji pojawienia się pojazdu w tym punkcie oraz wystąpienia zakłócenia (zgodnie z przyjętym prawdopodobieństwem), pojazd zostaje zablokowany na określony przedział czasu. W celu zablokowania środka transportowego wysłana zostaje do niego informacja o podejmowanej czynności, a także czasie trwania tej sytuacji. Zablokowanie pojazdu

oznacza, że nie może on się przemieszczać oraz nie może zostać załadowany. Po upływie określonego czasu środek transportowy otrzymuje informację o odblokowaniu, co umożliwia rozpoczęcie procesu załadunkowego.

Ujęcie analityczne

Dla tego zakłócenia należy zdefiniować:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia braku wymaganych zasobów w punkcie załadunkowym:

$$P_{BWZ_{ZAŁ}} = x_{BWZ_{ZAŁ}}, \quad x_{BWZ_{ZAŁ}} \in (0; 1) \quad (6.2.31)$$

- rozkład czasu zablokowania pojazdu w punkcie załadunku jest definiowany za pomocą rozkładu normalnego w następujący sposób:

$$T_{BW_{ZAŁ}} = Normal(\mu_{T_{BW_{ZAŁ}}}; \sigma_{T_{BW_{ZAŁ}}}) [min] \quad (6.2.32)$$

Skutek: wydłużenie czasu realizacji całego procesu, w związku z późniejszym czasem rozpoczęcia załadunku.

6.2.8. Źle podana data, ilość, miejsce załadunku

Podczas realizacji zleceń transportowych zdarzają się sytuacje, w których zostaje podana nieprawidłowa ilość, data, godzina lub miejsce załadunku. W takim przypadku należy uwzględnić czas potrzebny na wyjaśnienie zaistniałej sytuacji.

Metoda modelowania symulacyjnego

Sytuacje te zaprezentować można za pomocą obiektu o określonych właściwościach. Sposób ich modelowania jest taki sam jak sposób modelowania braku wolnych zasobów do realizacji procesu w danym momencie (zakłócenie nr 7). W przypadku błędnie podanej daty załadunku skutkiem może być niezrealizowanie zlecenia.

Ujęcie analityczne

Dla każdej z tych sytuacji należy rozważyć dwa przypadki.

Przypadek 1 – opóźnienie czasu rozpoczęcia załadunku, wynikające z wyjaśniania zaistniałej sytuacji. Należy określić następujące zmienne:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia opóźnienia załadunku z powodu złych danych:

$$P_{ZINF_{ZAŁ}} = x_{ZINF_{ZAŁ}}, \quad x_{ZINF_{ZAŁ}} \in (0; 1) \quad (6.2.33)$$

- rozkład czasu zablokowania pojazdu w punkcie załadunku – definiowany jest za pomocą rozkładu normalnego w następujący sposób (definiując dodatkowo wartość minimalną i maksymalną):

$$T_{ZINFZAŁ} = Normal(\mu_{T_{ZINFZAŁ}}; \sigma_{T_{ZINFZAŁ}}) [min] \quad (6.2.34)$$

Skutek: wydłużenie czasu realizacji całego procesu, w związku z wyjaśnianiem zaistniałej sytuacji.

Przypadek II – niezrealizowanie zlecenia w związku z zaistniałą sytuacją. W tej sytuacji należy określić:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niezrealizowania zlecenia z powodu złych informacji dotyczących załadunku:

$$P_{NZZINFZAŁ} = x_{NZZINFZAŁ}, \quad x_{NZZINFZAŁ} \in (0; 1) \quad (6.2.35)$$

- czas zablokowania pojazdu jest nieskończenie długi, pojazd zostaje zablokowany do końca trwania symulacji:

$$T_{NZZINFZAŁ} \geq T_{SYM} [min] \quad (6.2.36)$$

Skutek: Niemożliwość zrealizowania danego zlecenia transportowego.

6.2.9. Brak wymaganych zasobów do realizacji procesu w danym momencie w punkcie rozładunku (np. brak pracowników lub wolnej rampy rozładunkowej)

Tak jak w punkcie załadunkowym, tak i w rozładunkowym może zdarzyć się sytuacja, w której nie ma wymaganych zasobów do realizacji czynności rozładunkowych, np. pracownika.

Metoda modelowania symulacyjnego

Identyczna jak w przypadku braku wolnych zasobów w punkcie załadunkowym.

Ujęcie analityczne

W celu opisu tego zakłócenia należy zdefiniować:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia braku wymaganych zasobów w punkcie rozładunkowym:

$$P_{BWZROZ} = x_{BWZROZ}, \quad x_{BWZROZ} \in (0; 1) \quad (6.2.37)$$

- rozkład czasu zablokowania pojazdu w punkcie rozładunku – definiowany jest za pomocą rozkładu normalnego w następujący sposób (definiując dodatkowo wartość minimalną i maksymalną):

$$T_{BWZ_{ROZ}} = Normal(\mu_{T_{BWZ_{ROZ}}}; \sigma_{T_{BWZ_{ROZ}}}) [min] \quad (6.2.38)$$

Skutek: wydłużenie czasu realizacji całego procesu, w związku z późniejszym czasem rozpoczęcia rozładunku.

6.2.10. Źle podana data, ilość, miejsce rozładunku

Zdarzają się rozbieżności w informacjach dotyczących rozładunku, które posiada kierowca, a które ma przedsiębiorstwo, w którym następuje rozładunek. Również bywają sytuację błędnie (najczęściej nieczytelnie) napisanego miejsca rozładunku.

Metoda modelowania symulacyjnego

Identyczna jak w przypadku źle podanej daty, ilości, miejsca załadunku.

Ujęcie analityczne

Rozważyć należy tylko jeden przypadek – wydłużenia czasu realizacji zlecenia. Nawet w przypadku źle podanego miejsca rozładunku, zlecenie zostanie zrealizowane. Trudno wyobrazić sobie sytuację, w której firma przewozowa zostaje z ładunkiem, ponieważ adresat nie chce odebrać towaru. Inną kwestią są oczywiście kary finansowe dla firmy realizującej przewóz z powodu niedotrzymania terminów.

Należy określić następujące zmienne w przypadku opóźnienia czasu rozpoczęcia rozładunku, wynikającego z wyjaśniania zaistniałej sytuacji:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia opóźnienia rozładunku z powodu złych danych:

$$P_{ZINF_{ROZ}} = x_{ZINF_{ROZ}}, \quad x_{ZINF_{ROZ}} \in (0; 1) \quad (6.2.39)$$

- rozkład czasu zablokowania pojazdu w punkcie rozładunku – definiowany jest za pomocą rozkładu normalnego w następujący sposób (definiując dodatkowo wartość minimalną i maksymalną):

$$T_{ZINF_{ROZ}} = Normal(\mu_{T_{ZINF_{ROZ}}}; \sigma_{T_{ZINF_{ROZ}}}) [min] \quad (6.2.40)$$

Skutek: wydłużenie czasu realizacji całego procesu, w związku z wyjaśnianiem zaistniałej sytuacji.

6.2.11. Umiejętności kierowcy

Kolejnym zakłóceniem mogą być umiejętności kierowcy. W przypadku niedoświadczonego pracownika należy przyjąć, że czas realizacji zlecenia transportowego (głównie czas wykonywanych manewrów w punkcie załadunkowym oraz rozładunkowym, np. prawidłowe ustawienie samochodu ciężarowego przy rampie) wydłuży się, co potraktować można jako zakłócenie.

Metoda modelowania symulacyjnego

W celu odwzorowania umiejętności kierowcy przyjęto 3 poziomą skalę doświadczenia, zależną od stażu pracy związanego z jazdą samochodem ciężarowym:

- 1 – staż od $<0 ; 0,5>$ lat (kierowca z małym stażem) – czas przejazdu zwiększa się o wartość współczynnika y_{MDK} w stosunku do obliczonego całkowitego czasu realizacji dostawy T_{proc} .
- 2 – staż od $(0,5 ; 2>$ lat (kierowca z średnim stażem) – czas przejazdu zwiększa się o wartość współczynnika $y_{\dot{S}DK}$ w stosunku do obliczonego całkowitego czasu realizacji dostawy T_{proc} .
- 3 – staż powyżej 2 lat (kierowca doświadczony) – czas przejazdu nie zmienia się w stosunku do obliczonego całkowitego czasu realizacji dostawy T_{proc} .

Zakłócenie to można modelować dodając w punkcie rozładunku obiekt, który będzie blokował pojazd na określony czas. W zależności od przyjętej powyżej skali i wartości, pojazd zostanie zablokowany na odpowiedni okres czasu, równy wartości procentowej pomnożonej przez dotychczasowy czas realizacji zlecenia (od momentu załadunku do momentu dotarcia do punktu rozładunku).

Ujęcie analityczne

Dla tego zakłócenia należy określić następujące aspekty:

- prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji realizacji zlecenia przez kierowcę z małym stażem:

$$P_{MDK} = x_{MDK}, \quad x_{MDK} \in (0; 1) \quad (6.2.41)$$

- prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji realizacji zlecenia przez kierowcę z średnim stażem:

$$P_{\dot{S}DK} = x_{\dot{S}DK}, \quad x_{\dot{S}DK} \in (0; 1) \quad (6.2.42)$$

- prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji realizacji zlecenia przez kierowcę z dużym stażem:

$$P_{DDK} = x_{DDK}, \quad x_{DDK} \in (0; 1) \quad (6.2.43)$$

- przy założeniu, że suma tych trzech prawdopodobieństw wynosi 1:

$$\sum x_{MDK} + x_{\dot{S}DK} + x_{DDK} = 1 \quad (6.2.44)$$

- wydłużenie czasu realizacji dostawy w przypadku kierowcy z małym stażem:

$$T_{WprocMDK} = y_{MDK} * T_{proc}, \quad y_{MDK} \in (0; 0,1) \quad (6.2.45)$$

- wydłużenie czasu realizacji dostawy w przypadku kierowcy z średnim stażem:

$$T_{Wproc\dot{S}DK} = y_{\dot{S}DK} * T_{proc}, \quad y_{\dot{S}DK} \in (0; 0,05) \quad (6.2.46)$$

Skutek: w przypadku realizacji zlecenia przez kierowcę z mniejszym niż dwa lata doświadczeniem w prowadzeniu pojazdów ciężarowych następuje nieznaczne wydłużenie czasu realizacji całego analizowanego procesu.

6.2.12. Czas pracy kierowcy

Zgodnie z obowiązującymi przepisami, zawodowy kierowca co określony przedział czasu zobowiązany jest do zrobienia przerwy w pracy (<http://isap.sejm.gov.pl>, data dostępu: 15.01.2015). W trakcie jej trwania nie może prowadzić samochodu, ani też wykonywać czynności załadunkowych, rozładunkowych, itp. Przerwę w czasie pracy postanowiono potraktować jako zakłócenie, ponieważ wydłuża ona czas realizacji analizowanego procesu logistycznego. Owszem, moment wystąpienia przerwy i jej czas trwania jest doskonale znany, jednak osoby odpowiedzialne za zlecenie transportu (w głównej mierze spedytorzy) często zapominają o tym fakcie podczas awizacji pojazdu w danym punkcie. Dla czasu pracy kierowcy z uwzględnieniem przerw przyjęto najprostszy układ:

- 4,5 godziny pracy,
- 45 minut przerwy,
- 4,5 godziny pracy,
- 11 godzin przerwy.

Nie rozpatrywane są inne przypadki przerw w czasie pracy kierowcy, ponieważ na rynku dostępne są specjalistyczne oprogramowania do zarządzania czasem pracy kierowcy. W tym przypadku ma ono tylko sygnalizować o takiej sytuacji i przypominać, że kierowcy należy się przerwa w trakcie wykonywanej pracy.

Metoda modelowania symulacyjnego

Zakłócenie to modelowane jest za pomocą obiektu, który monitoruje dla określonego pojazdu (założono, że danym pojazdem porusza się tylko jeden kierowca, na stałe przypisany do niego) czas trwania pracy. Po określonym czasie od rozpoczęcia pracy – w tym przypadku 4,5 godziny, obiekt blokuje samochód na 45 minut, a następnie odblokuje go na 4,5 godziny i ponownie blokuje na 11 godzin. W sytuacji ukończenia zlecenia przez pojazd licznik w obiekcie reprezentującym zakłócenie zostaje wyzerowany. W chwili otrzymania kolejnego zlecenia przez pojazd następuje ponowne liczenie czasu pracy. Obiekt ten posiada etykiety, w których zapisywane jest po jakim czasie ma nastąpić krótka (45-cio minutowa) przerwa w czasie pracy, a po jakim długa (11-to godzinna). Wartości te można zmienić, co daje możliwość wprowadzenia innych przypadków zarządzania czasem pracy kierowcy.

Ujęcie analityczne

Dla tego zakłócenia należy określić następujące aspekty:

- po jakim czasie od rozpoczęcia pracy występuje krótka przerwa:

$$T_{START-PrzerwaK} = 4,5 [h] \quad (6.2.47)$$

- po jakim czasie od rozpoczęcia pracy występuje długa przerwa:

$$T_{START-PrzerwaD} = 9,75 [h] \quad (6.2.48)$$

- czas trwania krótkiej przerwy:

$$t_{PrzerwaK} = 0,75 [h] \quad (6.2.49)$$

- czas trwania długiej przerwy:

$$t_{PrzerwaD} = 11 [h] \quad (6.2.50)$$

6.2.13. Katastrofy naturalne (huragany, powódzie, ...) i inne sytuacje spowalniające ruch na drodze (np. strajki)

Kolejne wyróżnione zakłócenie jest bardzo zbliżone do opisanego już wcześniej zaburzenia pod nazwą „trudne warunki pogodowe, mokra lub śliska nawierzchnia drogi”. Jednak częstotliwość jego występowania jest o wiele mniejsza. W przypadku katastrof naturalnych skutki będą bardziej rozległe oraz dłużej trwające niż w przypadku zakłócenia „trudne warunki pogodowe, mokra lub śliska nawierzchnia drogi”. Również strajki trwają zazwyczaj dłużej niż opady deszczu czy śniegu.

Sytuacje te postanowiono wyróżnić jako oddzielny aspekt z dwóch powodów:

- 1) występują znacznie rzadziej niż trudne warunki pogodowe (przynajmniej w Polsce),
- 2) dla wyróżnionych tutaj zjawisk pogodowych nie da się określić prawdopodobieństwa ich wystąpienia na podstawie historycznych danych (ponieważ występują zbyt rzadko).

Metoda modelowania symulacyjnego

Metoda modelowania tego zakłócenia będzie identyczna jak w przypadku trudnych warunków pogodowych – wyróżnić należy epicentrum zmian i panujące w nim warunki oraz obszar otaczający wraz z określonymi warunkami.

Ujęcie analityczne

Dla tego zakłócenia należy zdefiniować następujące aspekty:

- prawdopodobieństwo wystąpienia katastrof naturalnych lub innych sytuacji spowalniających ruch:

$$P_{KNiSSR} = x_{KNiSSR}, \quad x_{KNiSSR} \in (0; 1) \quad (6.2.51)$$

- zasięg działania zakłócenia definiowany jako:
 - promień określający centrum zmian:

$$r_{KNiSSR} = X_{r_{KNiSSR}} * R_{KNiSSR} [m], \quad X_{r_{KNiSSR}} \in (0; 1) \quad (6.2.52)$$

- promień określający cały obszar:

$$R_{KNiSSR} = y_{KNiSSR} [m], \quad y_{KR} \in (0; y_{KNiSSR_{max}} > [km] \quad (6.2.53)$$

- prędkość przejazdu:
 - w centrum zjawiska: prędkość określona jest jako $X_{V_{CKNiSSR}}$ * prędkość poruszania się w obszarze otaczającym centrum zmian:

$$V_{CKNiSSR} = X_{V_{CKNiSSR}} * V_{OKNiSSR} \left[\frac{km}{h} \right], \quad X_{V_{CKNiSSR}} \in (0; 1) \quad (6.2.54)$$

- dla obrzeża: prędkość wyrażona za pomocą rozkładu normalnego o następujących parametrach (definiując dodatkowo wartość minimalną i maksymalną):

$$V_{OKNiSSR} = Normal(\mu_{V_{OKNiSSR}}; \sigma_{V_{OKNiSSR}}) \left[\frac{km}{h} \right] \quad (6.2.55)$$

6.2.14. Awaria systemu informatycznego za pomocą, którego przedsiębiorstwa komunikują się lub systemu w obszarze magazynowym

Zdarzają się również sytuacje, w których zawodzi system informatyczny. Przyjmując założenie, że przedsiębiorstwo korzysta w codziennych czynnościach z oprogramowania komputerowego (np. podczas załadunku pracownik sprawdza co ma zostać załadowane na dana naczepę) może zdarzyć się sytuacja, w której poszczególne czynności zostaną wykonane z opóźnieniem z powodu awarii systemu.

Metoda modelowania symulacyjnego

Modelowanie awarii systemu informatycznego możliwe jest za pomocą wbudowanego mechanizmu MTBF/MTTR – tak jak w przypadku awarii środka transportowego. Oczywiście częstotliwość występowania oraz czas trwania naprawy będą inne niż w przypadku pojazdu. W związku z analizą procesu logistycznego uwzględniającego załadunek, transport i rozładunek zakłada się powiązanie awarii systemu z utrudnieniami w realizacji procesu. Przykładowo awaria systemu stosowanego do określenia, które dokładnie przygotowane palety mają zostać załadowane na daną naczepę spowoduje opóźnienie już na samym początku procesu. W związku z rozpatrywaniem tylko awarii systemów wpływających bezpośrednio na analizowany proces logistyczny postanowiono połączyć awarię systemu z bezpośrednim zablokowaniem pojazdu. Efekt jest ten sam – „na pojeździe” nie mogą być wykonywane żadne czynności, zatem czas całego procesu wydłuża się. W celu rozróżnienia zablokowania pojazdu spowodowanego uszkodzeniem auta (zakłócenie nr 1) a zablokowaniem spowodowanego awarią systemu (zakłócenie nr 14) wystarczy wprowadzić różną etykietę awarii, tak by je rozróżnić.

Ujęcie analityczne

Należy określić następujące elementy:

- średni czas pomiędzy wystąpieniem awarii dla danego systemu informatycznego:
 $T_{MTBF_{SI}}$ – może zostać zdefiniowany jako kombinacja różnych rozkładów statystycznych,
- średni czas potrzebny na naprawę awarii danego systemu informatycznego:
 $T_{MTTR_{SI}}$ – może zostać zdefiniowany jako kombinacja różnych rozkładów statystycznych.

Tabela 6.2.1 zawiera zestawienie sposobów modelowania zaprezentowanych zakłóceń w podrozdziale 6.2. Zakłócenia, które modelowane są w taki sam sposób (w ujęciu metodycznym, nie liczbowym) oznaczono tym samym kolorem. W sytuacji bardzo zbliżonego sposobu modelowania zastosowano cieniowanie. Inne podejście do zamodelowania tych zakłóceń zaprezentowano innymi kolorami.

Tab. 6.2.1. Modelowanie poszczególnych zakłóceń – cieniowanie według metody modelowania

1. Uszkodzenie środka transportowego
14. Awaria systemu informatycznego za pomocą, którego przedsiębiorstwa komunikują się lub systemu w obszarze magazynowym
2. Brak środka transportowego w punkcie załadunku w określonym momencie
6. Miejsca kontroli wjazdu lub poniesienia opłaty
7. Brak wymaganych zasobów do realizacji procesu w danym momencie w punkcie załadunku
9. Brak wymaganych zasobów do realizacji procesu w danym momencie w punkcie rozładunku
8. Źle podana data, ilość, miejsce załadunku
10. Źle podana data, ilość, miejsce rozładunku
3. Kongestia ruchu
4. Wypadek drogowy
5. Trudne warunki pogodowe, mokra lub śliska nawierzchnia drogi
13. Katastrofy naturalne (huragany, powódzie, ...) i inne sytuacje spowalniające ruch na drodze (np. strajki)
11. Umiejętności kierowcy
12. Czas pracy kierowcy

Źródło: opracowanie własne

Analizując tabelę 6.2.1 zauważyć można, że zakłócenia modelowane są na sześć różnych sposobów. Podział ten jest punktem wyjścia do szczegółowego opisu metody ich modelowania z wykorzystaniem oprogramowania symulacyjnego.

6.3. Symulacyjne modelowanie wybranych zakłóceń

Zgodnie z tematem rozprawy celem jest opracowanie metodyki modelowania zakłóceń procesów logistycznych. Chcąc uniknąć powtórzeń postanowiono przedstawić szczegółową metodykę modelowania z wykorzystaniem oprogramowania symulacyjnego dla jednego zakłócenia z każdej grupy wyróżnionej na podstawie tabeli 6.2.1, z wyjątkiem pierwszej grupy (awarii modelowanych za pomocą wbudowanego mechanizmu MTBF/MTTR). Pominięcie awarii modelowanych za pomocą MTBF/MTTR podyktowane jest faktem, iż mechanizm ten jest wbudowany do oprogramowania FlexSim, w związku z czym brak tutaj wkładu własnego do sposobu modelowania tego zakłócenia, poza wprowadzeniem prawidłowych danych dotyczących częstotliwości występowania oraz czasu trwania.

Obiekty odwzorowujące pozostałe zakłócenia zostały utworzone przy wykorzystaniu programu symulacyjnego FlexSim. Wprowadzane nazwy zmiennych w kodzie projektowanych obiektów są anglojęzyczne. Wynika to z faktu, iż składnia języka programowania również jest w języku angielskim.

6.3.1. Punkt poboru opłat (PPO)

Zaprojektowano własny obiekt odwzorowujący zakłócenia na trasie przejazdu zatytułowane jako „miejsca kontroli wjazdu lub poniesienia opłaty”, skupiając się na punkcie poboru opłat. Obiekt ten został zbudowany na podstawie dostępnego w oprogramowaniu symulacyjnym podstawowego obiektu stałego (Fixed Resource). W celu zamodelowania sytuacji zachodzących w punktach poboru opłat przyjęto, że środek transportowy zostaje zatrzymany w tym punkcie na określony czas. W chwili zablokowania pojazdu, jego stan zmieniany jest na stan „BLOCKED”. Dla każdego punktu poboru opłat występującego na trasie przejazdu należy utworzyć osobny obiekt i wprowadzić indywidualne dane dotyczące poszczególnych wartości zmiennych.

Funkcja celu dla tego zakłócenia to określenie czasu postoju w punkcie poboru opłat. Wartość ta oznaczona jest w kodzie jako „time_for_paying”. Utworzony obiekt o nazwie „PPO” posiada osiem zmiennych decyzyjnych, dla których należy wprowadzić wartości w jednostkach zgodnych z jednostkami przyjętymi w modelu:

- 1) „mean_80proc” – zawiera informację dotyczącą średniego czasu zatrzymania pojazdu w PPO dla 80% przypadków;
- 2) „dev_80proc” – zawiera informację dotyczącą odchylenia standardowego czasu postoju w PPO dla 80% przypadków;

- 3) „min_80proc” – zawiera informację dotyczącą minimalnego czasu postoju w PPO dla 80% przypadków;
- 4) „max_80proc” – zawiera informację dotyczącą maksymalnego czasu postoju w PPO dla 80% przypadków;
- 5) „mean_20proc” – zawiera informację dotyczącą średniego czasu zatrzymania pojazdu w PPO dla 20% przypadków;
- 6) „dev_20proc” – zawiera informację dotyczącą odchylenia standardowego czasu postoju w PPO dla 20% przypadków;
- 7) „min_20proc” – zawiera informację dotyczącą minimalnego czasu postoju w PPO dla 20% przypadków;
- 8) „max_20proc” – zawiera informację dotyczącą maksymalnego czasu postoju w PPO dla 20% przypadków.

Wszystkie zmienne zapisane są za pomocą etykiet liczbowych w obiekcie reprezentującym zakłócenie.

Dla obiektu „PPO” napisano następujący kod programu, który jest wyzwalany w momencie otrzymania wiadomości przez ten obiekt:

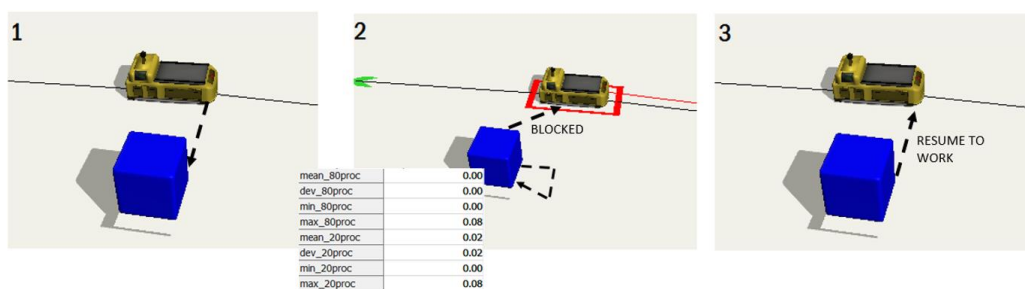
```
1  /**PHD Code*/
2  treenode current = ownerobject(c);
3  if (msgparam(1)==2000)
4  {
5      double random_type=uniform(0.01,1,1);
6      if (random_type<=80)
7      {
8          double time_for_paying;
9          double mean_80= getlabelnum(current,"mean_80proc");
10         double dev_80= getlabelnum(current,"dev_80proc");
11         double min_80= getlabelnum(current,"min_80proc");
12         double max_80= getlabelnum(current,"max_80proc");
13
14         time_for_paying = normal(mean_80,dev_80,1);
15         if (time_for_paying>max_80) time_for_paying=max_80;
16         if (time_for_paying<min_80) time_for_paying=min_80;
17         stopobject(msgsendingobject,STATE_BLOCKED);
18         setlabelnum(msgsendingobject, "czas_do_ktorego_stoi", (time+time_for_paying));
19         senddelayedmessage(current,time_for_paying,msgsendingobject,2001);
20     }
21     else
22     {
23         double time_for_paying;
24         double mean_20= getlabelnum(current,"mean_20proc");
25         double dev_20= getlabelnum(current,"dev_20proc");
26         double min_20= getlabelnum(current,"min_20proc");
27         double max_20= getlabelnum(current,"max_20proc");
28
29         time_for_paying = normal(mean_20,dev_20,1);
30         if (time_for_paying>max_20) time_for_paying=max_20;
31         if (time_for_paying<min_20) time_for_paying=min_20;
32         stopobject(msgsendingobject,STATE_BLOCKED);
33         setlabelnum(msgsendingobject, "czas_do_ktorego_stoi", (time+time_for_paying));
34         senddelayedmessage(current,time_for_paying,msgsendingobject,2001);
35     }
36 }
37 if (msgparam(1)==2001)
38 resumeobject(msgsendingobject);
```

Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linia kodu 2 – definicję obiektu, do którego odnosi się kod.
- Linie kodu 3-36 – kod zawarty w tej części wykonywany jest w momencie, gdy obiekt otrzyma wiadomość o numerze 2000, wiadomość ta wysyłana jest do obiektu w chwili pojawienia się środka transportowego w PPO.
- Linie kodu 5-6 – losowanie zmiennej w celu określenia, które wartości mają być analizowane – czy te dla 80% przypadków, czy dla 20%.
- Linia kodu 8 – definicję zmiennej „time_for_paying”, czyli czasu potrzebnego na zapłacenie w PPO, co zgodnie z opisem w podrozdziale 6.2 równoznaczne jest z czasem postoju w PPO.
- Linie kodu 9-12 – definicję czterech zmiennych decyzyjnych dotyczących średniej, odchylenia, wartości minimalnej oraz maksymalnej dla czasu postoju dla 80% przypadków.
- Linia kodu 14 – zdefiniowanie wartości zmiennej „time_for_paying” za pomocą rozkładu normalnego dla 80% przypadków.
- Linie kodu 15-16 – przyjęcie odpowiednio minimalnej lub maksymalnej wartości czasu postoju w sytuacji wylosowania dla zmiennej „time_for_paying” wartości większej lub mniejszej od przyjętych wartości granicznych (dla 80% przypadków).
- Linia kodu 17 – zatrzymanie obiektu przysyłającego wiadomość (czyli środka transportowego znajdującego się w PPO). Dodatkowo przypisuje pojazdowi stan oznaczony jako „BLOCKED”.
- Linia kodu 18 – kontrolę czasu, w celu odblokowania środka transportowego w odpowiednim momencie.
- Linia kodu 19 – wysłanie wiadomości o numerze 2001 opóźnionej o wylosowaną wartość czasu postoju w PPO. Wiadomość tą wysyła sam do siebie obiekt reprezentujący zakłócenie (czyli PPO).
- Linie kodu 23-34 – tak samo jak linie kodu 8-19, tylko dotyczą 20% przypadków (dla których definiowane są inne wartości poszczególnych zmiennych).
- Linie kodu 37-38 – odblokowanie środka transportowego w momencie otrzymania wiadomości o numerze 2001 przez obiekt reprezentujący zakłócenie.

Opis działania obiektu „PPO”

Zaprojektowany obiekt „PPO” należy połączyć z punktem na drodze, w którym występuje pobór opłaty. W momencie przyjazdu środka transportowego do punktu, w którym następuje pobór opłat, zostaje wysłana wiadomość do obiektu „PPO” o pojawieniu się środka transportowego (rys.6.3.1 (1)), w odpowiedzi na którą zostaje przesłana wiadomość do pojazdu o czasie jego zablokowania w tym punkcie (rys.6.3.1 (2)). Czas zatrzymania losowany jest w momencie resetowania eksperymentu, na podstawie wprowadzonych do obiektu danych. W momencie zatrzymania środka transportowego, jego stan zmienia się na stan „BLOCKED”, w celu odróżnienia przyczyn (typu zakłócenia) postępu środka transportowego. Po upływie wylosowanego czasu pojazd otrzymuje kolejną wiadomość o możliwości wznowienia wykonywanych wcześniej czynności (rys.6.3.1 (3)).



Rys. 6.3.1. Obiekt „PPO” – zasada działania

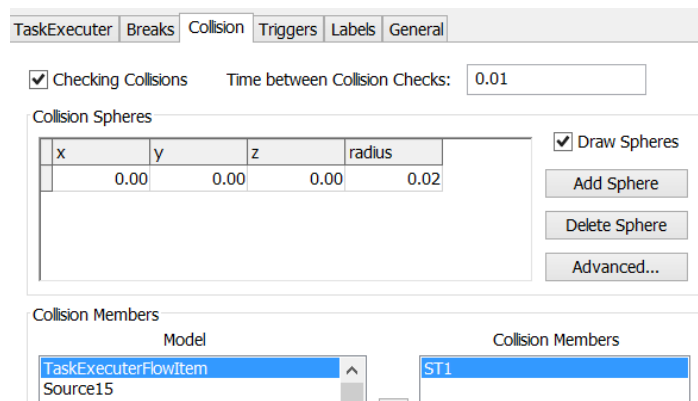
Źródło: (Hoffa, Pawlewski, 2015, s.96)

6.3.2. Zdarzenie drogowe

Zakłócenie to odwzorowane zostało za pomocą zaprojektowanego obiektu o nazwie „Collision”. Obiekt ten zbudowano na podstawie dostępnego w oprogramowaniu obiektu „Task Executor”, co umożliwiło skorzystanie z wbudowanych funkcji, tj.: definicja obszaru (sfery) kolizji, określenie przedziału czasu do sprawdzania sfery kolizji (czy znajduje się w niej inny obiekt – uczestnik), a także zdefiniowanie uczestników kolizji (rys. 6.3.2).

Funkcje celu dla tego zakłócenia to określenie promienia zasięgu „radius” (r_{AZD}) zakłócenia oraz prędkości „speed” (V_{ZD}) poruszania się w tym obszarze.

Utworzony obiekt o nazwie „Collision” posiada dziesięć zmiennych decyzyjnych, dla których należy wprowadzić wartości w jednostkach zgodnych z jednostkami przyjętymi w modelu.



Rys. 6.3.2. Obiekt „Collision” – informacje o sferze kolizji
Źródło: opracowanie własne (z zastosowaniem programu FlexSim)

Zmienne decyzyjne dla obiektu „Collision”:

- 1) „Collision_type1-probability” – określa prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia drogowego bez udziału środka transportowego realizującego zlecenie;
- 2) „Collision_type2-probability” – określa prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia drogowego z udziałem środka transportowego realizującego zlecenie;
- 3) „type1_speed_mean” – zawiera informację dotyczącą średniej prędkości przejazdu w obszarze zakłócenia w sytuacji wystąpienia zdarzenia drogowego typu 1 (bez udziału środka transportowego realizującego zlecenie);
- 4) „type1_speed_dev” – zawiera informację dotyczącą wartości odchylenia prędkości przejazdu w obszarze zakłócenia w sytuacji wystąpienia zdarzenia drogowego typu 1;
- 5) „type1_speed_min” – zawiera informację dotyczącą minimalnej wartości prędkości przejazdu w obszarze zakłócenia w sytuacji wystąpienia zdarzenia drogowego typu 1;
- 6) „type1_speed_max” – zawiera informację dotyczącą maksymalnej wartości prędkości przejazdu w obszarze zakłócenia w sytuacji wystąpienia zdarzenia drogowego typu 1;
- 7) „type1_radius_mean” – zawiera informację dotyczącą średniej wartości promienia zasięgu zakłócenia w sytuacji wystąpienia zdarzenia drogowego typu 1;
- 8) „type1_radius_dev” – zawiera informację dotyczącą wartości odchylenia promienia zasięgu zakłócenia w sytuacji wystąpienia zdarzenia drogowego typu 1;

- 9) „type1_radius_min” – zawiera informację dotyczącą minimalnej wartości promienia zasięgu zakłócenia w sytuacji wystąpienia zdarzenia drogowego typu 1;
- 10) „type1_radius_max” – zawiera informację dotyczącą maksymalnej wartości promienia zasięgu zakłócenia w sytuacji wystąpienia zdarzenia drogowego typu 1.

Wartości dla promienia oraz prędkości dla zdarzenia drogowego typu 2 obliczane są zgodnie z przedstawionym opisem w podpunkcie 6.2.4.

Dla tego obiektu napisano oddzielne kody wyzwalane w momencie resetowania modelu, w momencie sprawdzania kolizji („collcheckinterval”) oraz w momencie otrzymania wiadomości przez obiekt.

Kod programu obiektu „Collision” w momencie resetowania modelu jest następujący:

```

1  /**PHD Code*/
2  treenode current = ownerobject(c);
3  //inicjalizacja losowego stream
4  int stream=getlabelnum(current,"stream");
5  randinit(stream,realtime(2));
6  //czyszczenie tabeli pojazdow
7  settablesize(label(current,"vehicles"),0,0);
8  //ustawienie sprawdzania kolizji
9  setcollisioncheck(current,1,getvarnum(current,"collcheckinterval"));
10 //losowanie typu wypadku
11 double collision_type=uniform(0.01,1,stream);
12
13 if (collision_type<=getlabelnum(current,"Collision_type2-probability"))
14 //wypadek z udzialem naszego auta
15 {
16     setlabelnum(current,"Collision_type",2);
17     setlabelnum(current,"speed",0);
18     setlabelnum(current,"radius",0.02);
19     settablenum(getvarnode(current,"collisionspheres"),1,4,0.02);
20 }
21
22 else if ((collision_type<=getlabelnum(current,"Collision_type2-probability")
23         +getlabelnum(current,"Collision_type1-probability")))
24 //wypadek bez naszego auta
25 {
26     setlabelnum(current,"Collision_type",1);
27
28     int mean_speed= getlabelnum(current,"type1_speed_mean");
29     int dev_speed= getlabelnum(current,"type1_speed_dev");
30     int minimum_speed= getlabelnum(current,"type1_speed_min");
31     int maximum_speed= getlabelnum(current,"type1_speed_max");
32     int speed = normal(mean_speed,dev_speed,stream);
33     if (speed>maximum_speed)
34         speed=maximum_speed;
35     if (speed<minimum_speed)
36         speed=minimum_speed;
37     setlabelnum(current,"speed",speed);
38
39     double mean_radius= getlabelnum(current,"type1_radius_mean");
40     double dev_radius= getlabelnum(current,"type1_radius_dev");
41     double minimum_radius= getlabelnum(current,"type1_radius_min");
42     double maximum_radius= getlabelnum(current,"type1_radius_max");
43     double radius = normal(mean_radius,dev_radius,stream);
44     if (radius>maximum_radius)
45         radius=maximum_radius;
46     if (radius<minimum_radius)
47         radius=minimum_radius;
48     setlabelnum(current,"radius",radius);

```

```

48
49     settablenum(getvarnode(current, "collisionspheres"), 1, 4, radius);
50 }
51 else
52 //brak wypadku
53 {
54     setlabelnum(current, "Collision_type", 0);
55     setlabelnum(current, "radius", 0);
56     settablenum(getvarnode(current, "collisionspheres"), 1, 4, 0);
57     //wylaczenie sprawdzania kolizji
58     setcollisioncheck(current, 0);
59 }
60 //usuniecie obiektow kolizji
61 removeallcouplingreferences(getvarnode(current, "collisionobjects"));
62 //dodanie wszystkich TaskExecutors z drzewa o nazwie ST... do kolizji
63 for (int k=1; k<=content(model()); k++)
64 {
65     if ((classobject(current)==classobject(rank(model(), k)))&&
66         comparetext("ST", stringcopy(getnodename(rank(model(), k)), 1, 2)))
67     {
68         createcoupling(getvarnode(current, "collisionobjects"), getvarnode(rank(model(), k),
69             "collisionobjects"));
68     }
69 }

```

Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linia kodu 2 – definicję obiektu, do którego odnosi się kod.
- Linie kodu 4-5 – inicjalizację losowego strumienia.
- Linia kodu 7 – czyszczenie tabeli środków transportowych, która zawarta jest w tym obiekcie. Tabela ta ma na celu kontrolowanie środków transportowych znajdujących się w zasięgu działania obiektu.
- Linia kodu 9 – definicję przedziału czasu, w którym następuje sprawdzanie obszaru działania zakłócenia.
- Linia kodu 11 – wylosowanie liczby z przedziału $<0,01;1>$ w celu ustalenia typu kolizji.
- Linie kodu 13-21 – definicję prędkości i promienia zasięgu zakłócenia w przypadku kolizji z udziałem środka transportowego realizującego zlecenie.
- Linie kodu 22-50 – definicję prędkości i promienia zasięgu zakłócenia w przypadku kolizji bez udziału środka transportowego realizującego zlecenie.
- Linie kodu 51-59 – definicję prędkości i promienia zasięgu zakłócenia w przypadku braku kolizji.
- Linie kodu 60-69 – powiązanie środków transportowych w modelu z zakłóceniem, w celu sprawdzania obszarów kolizyjnych.

Kod programu obiektu „Collision” w momencie sprawdzania kolizji („**collcheckinterval**”) jest następujący:

```

1  /**PHD Code*/
2  treenode thisobject = ownerobject(c);
3  treenode otherobject = parnode(1);
4  treenode thissphere = parnode(2);
5  treenode othersphere = parnode(3);
6
7  //ustalenie liczby aut bedacych w kolizji
8  int vehicles=gettablerows(label(thisobject,"vehicles"));
9  int vehicle_nr=0;
10
11  if(vehicles>0)
12  {
13  //jezeli sa jakies auta w kolizji sprawdzamy czy rozpatrywane auto znajduje sie w
14  //tabeli i ustalamy jego numer
15  for (int k=1;k<=vehicles;k++)
16  {
17      if (comparetext(getnodename(otherobject),
18          gettablestr(label(thisobject,"vehicles"),k,1)))
19          vehicle_nr=k;
20  }
21  }
22  else
23  {
24      //gdz nie ma zadnych aut w kolizji tworzymy tabele z odpowiednimi kolumnami
25      //i wpisujemy rozpatrywane auto do pierwszego wiersza
26      settablesize(label(thisobject,"vehicles"),1,1,2);
27      addtablecol(label(thisobject,"vehicles"),2,1);
28      settableheader(label(thisobject,"vehicles"),2,1,"Vehicle Name");
29      settableheader(label(thisobject,"vehicles"),2,2,"Collision Active");
30      vehicle_nr=1;
31      settablestr(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,1,getnodename(otherobject));
32      settablenum(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,2,0);
33  }
34
35  if (vehicle_nr==0)
36  {
37      //jezeli sa jakies auta w kolizji, ale rozpatrywane auto pojawia sie po raz pierwszy
38      //to dodajemy kolejny wiersz do tabeli
39      addtablecol(label(thisobject,"vehicles"),2,1);
40      vehicle_nr=vehicles+1;
41      settablestr(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,1,getnodename(otherobject));
42      settablenum(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,2,0);
43  }
44
45  //dla wypadku bez udzialu naszego auta, ustawienie znacznika aktywnej kolizji w tabeli
46  //i wyslanie opoznionych wiadomosci
47  if (getlabelnum(thisobject,"Collision_type")==1)
48  {
49      settablenum(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,2,1);
50      senddelayedmessage(thisobject,0.9*getvarnum(thisobject,
51          "collcheckinterval"),otherobject,1);
52      senddelayedmessage(thisobject,1.1*getvarnum(thisobject,
53          "collcheckinterval"),otherobject,2);
54  }
55
56  //dla wypadku naszego auta ustawienie czasu postoju do konca modelu
57  if (getlabelnum(thisobject,"Collision_type")==2)
58  setlabelnum(otherobject, "czas_do_ktorego_stoi",100000000000);
59
60  //ustawienie predkosci auta
61  stopobject(otherobject,STATE_BLOCKED);
62  setvarnum(otherobject, "maxspeed",getlabelnum(thisobject,"speed"));
63  if (getlabelnum(thisobject,"speed")>0)
64  resumeobject(otherobject);

```


Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linie kodu 2-5 – definicję obiektów, do których odnosi się kod.
- Linia kodu 8 – ustalenie ilości środków transportowych znajdujących się w obszarze działania zakłócenia.
- Linia kodu 9 – definicję zmiennej pomocniczej „vehicle_nr”, służącej do określania liczby środków transportowych znajdujących się w obszarze działania zakłócenia.
- Linie kodu 11-19 – ustalenie numeru środka transportowego, którego dotyczy rozpatrywana kolizja.
- Linie kodu 20-31 – inicjalizację tabeli ze spisem środków transportowych znajdujących się w obszarze działania zakłócenia w sytuacji wjazdu pierwszego środka transportowego do tego obszaru.
- Linie kodu 33-41 – dopisanie kolejnego wiersza do tabeli środków transportowych w chwili pojawienia się następnego środka transportowego w obszarze kolizji.
- Linie kodu 44-49 – ustawienie w tabeli środków transportowych znacznika aktywności kolizji. Znacznik ten wykorzystywany jest do kontroli środków transportowych znajdujących się w obszarze kolizji w momencie sprawdzania kolizji. Kod odnosi się do sytuacji rozpatrywania wypadku bez udziału środka transportowego realizującego zlecenie.
- Linie kodu 51-52 – ustalenie czasu postoju dla środka transportowego, w sytuacji gdy jest uczestnikiem kolizji.
- Linie kodu 55-58 – zmianę prędkości pojazdu w obszarze kolizji, w przypadku pojazdu uczestniczącego w zdarzeniu drogowym, prędkość przejazdu wynosi 0 km/h, a jego stan określany jest jako „STATE_BLOCKED”.

Kod programu obiektu „Collision” w momencie otrzymania wiadomości przez ten obiekt jest następujący:

```
1  /**PHD Code*/
2  treenode current = ownerobject(c);
3  //ustalenie numeru auta w tabeli
4  int vehicles=gettablerows(label(current,"vehicles"));
5  int vehicle_nr=0;
6  if(vehicles>0)
7  {
8      for (int k=1;k<=vehicles;k++)
9      {
10         if (comparetext(getnodename(msgsendingobject),
11             gettablestr(label(current,"vehicles"),k,1)))
12             vehicle_nr=k;
13     }
14 }
```

```

14 //typ wiadomosci msgparam(1) (1 - reset kolizji, 2 - sprawdzenie czy obiekt opuscil
    sfere kolizji
15 if (msgparam(1)==1)
16 {
17     settablenum(label(current,"vehicles"),vehicle_nr,2,0);
18 }
19 else if(msgparam(1)==2)
20 {
21     if (gettablenum(label(current,"vehicles"),vehicle_nr,2)==0)
22     {
23         stopobject(msgsendingobject,STATE_BLOCKED);
24         setvarnum(msgsendingobject, "maxspeed",80);
25         resumeobject(msgsendingobject);
26         deletetablerow(label(current,"vehicles"),vehicle_nr);
27     }
28 }

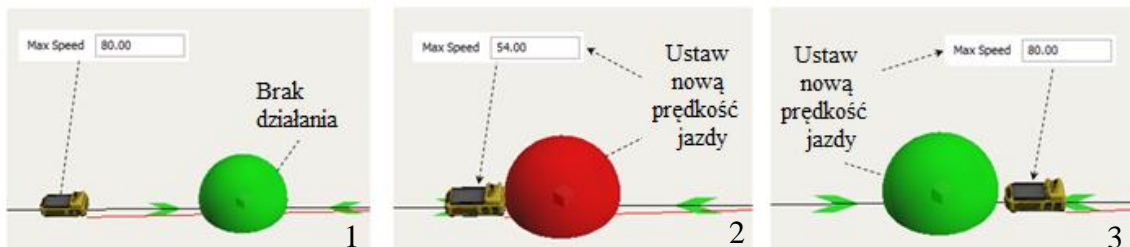
```

Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linia kodu 2 – definicję obiektu, do którego odnosi się kod.
- Linie kodu 4-5 – definicję ilości środków transportowych znajdujących się w zasięgu działania zakłócenia na podstawie danych znajdujących się w tabeli środków transportowych w tym zakłóceniu.
- Linie kodu 6-13 – ustalenie numeru adresata wiadomości.
- Linie kodu 15-28 – zmianę wartości znacznika kolizji w tabeli środków transportowych. W przypadku opuszczenia przez środek transportowy strefy kolizji następuje ustawienie obowiązującej na tej trasie prędkości przejazdu dla środka transportowego.

Opis działania obiektu „Collision”

Wprowadzenie zakłócenia reprezentującego zdarzenie drogowe w określonym miejscu na trasie przejazdu następuje poprzez umieszczenie zaprojektowanego obiektu „Collision” w określonym miejscu i wprowadzeniu wartości dla zmiennych decyzyjnych. W momencie resetowania modelu losowany jest typ zakłócenia, jego zasięg działania oraz prędkość przejazdu w obrębie jego działania.



Rys. 6.3.3. Obiekt „Collision” – zasada działania

Źródło: (Hoffa, Pawlewski, 2015, s. 97)

Co określoną w obiekcie jednostkę czasu („**collcheckinterval**”) sprawdzane jest czy w zasięgu zakłócenia znalazł się inny obiekt – jeśli nie, nie są podejmowane żadne czynności (rys.6.3.3 (1)). Jeśli tak to zostaje zmieniona prędkość poruszania się pojazdu, zgodnie z wylosowaną wartością zmiennej „**speed**” (rys.6.3.3 (2)). W celu kontrolowania, czy w zasięgu zakłócenia znajduje się inny obiekt, utworzona została tabela środków transportowych posiadająca etykietę – znacznik aktywności kolizji. W momencie, gdy przez zakłócenie zostanie wykryte, że środek transportowy opuścił obszar zdarzenia drogowego, następuje ustawienie w pojeździe jego wcześniejszej prędkości przejazdu (rys.6.3.3 (3)). Ustawienie małej wartości dla czasu sprawdzania kolizji gwarantuje częste sprawdzanie tego obszaru, co skutkuje szybkim wychwyceniem momentu opuszczenia obszaru działania zakłócenia przez środek transportowy i zmianą prędkości pojazdu na obowiązującą na dalszym odcinku trasy.

6.3.3. Trudne warunki pogodowe

W celu zamodelowania trudnych warunków pogodowych zaprojektowano obiekt o nazwie „Bad_Weather”. Tak jak w przypadku zdarzenia drogowego, skorzystano z obiektu „Task Executer” dostępnego w oprogramowaniu symulacyjnym FlexSim.

Funkcje celu dla tego zakłócenia to określenie promienia centrum zmian pogodowych „**radius_center**” (r_{TWPiN}), promienia obrzeża „**radius_outside**” (R_{TWPiN}) oraz prędkości w centrum zmian pogodowych „**speed_center**” (V_{CTWPiN}) i prędkości w obrzeżu zmian pogodowych „**speed_outside**” (V_{OTWPiN}).

Utworzony obiekt o nazwie „Bad_Weather” posiada osiem zmiennych decyzyjnych, dla których należy wprowadzić wartości w jednostkach zgodnych z jednostkami przyjętymi w modelu:

- 1) „**speed_mean**” – zawiera informację dotyczącą średniej prędkości przejazdu na obrzeżu zmian pogodowych;
- 2) „**speed_dev**” – zawiera informację dotyczącą wartości odchylenia prędkości przejazdu na obrzeżu zmian pogodowych;
- 3) „**speed_min**” – zawiera informację dotyczącą minimalnej wartości prędkości przejazdu na obrzeżu zmian pogodowych;
- 4) „**speed_max**” – zawiera informację dotyczącą maksymalnej wartości prędkości przejazdu na obrzeżu zmian pogodowych;
- 5) „**radius_mean**” – zawiera informację dotyczącą średniej wartości promienia definiującego zasięg obrzeża zmian pogodowych;

- 6) „radius_dev” – zawiera informację dotyczącą odchylenia wartości promienia definiującego zasięg obrzeża zmian pogodowych;
- 7) „radius_min” – zawiera informację dotyczącą minimalnej wartości promienia definiującego zasięg obrzeża zmian pogodowych;
- 8) „radius_max” – zawiera informację dotyczącą maksymalnej wartości promienia definiującego zasięg obrzeża zmian pogodowych.

Dla tego obiektu napisano oddzielne kody wyzwalane w momencie resetowania modelu, w momencie sprawdzania kolizji („collisioninterval”) oraz w momencie otrzymania wiadomości przez obiekt.

Kod programu obiektu „Bad_Weather” w momencie resetowania modelu jest następujący:

```
1  /**PHD Code*/
2  treenode current = ownerobject(c);
3  //inicjalizacja losowego stream
4  int stream=getlabelnum(current,"stream");
5  randinit(stream,realtime(2));
6  //czyszczenie tabeli pojazdow
7  settablesize(label(current,"vehicles"),0,0);
8  //usuwanie sfer kolizji
9  clearcontents(getvarnode(current,"collisionspheres"));
10
11 //losowanie predkosci
12 int srednia_speed= getlabelnum(current,"speed_mean");
13 int odchylenie_speed= getlabelnum(current,"speed_dev");
14 int minimum_speed= getlabelnum(current,"speed_min");
15 int maximum_speed= getlabelnum(current,"speed_max");
16 int speed = normal(srednia_speed,odchylenie_speed,stream);
17 if (speed>maximum_speed)
18 speed=maximum_speed;
19 if (speed<minimum_speed)
20 speed=minimum_speed;
21
22 setlabelnum(current,"speed_outside",speed);
23 setlabelnum(current,"speed_center",0.7*speed);
24
25 //losowanie promienia sfer
26 double srednia_radius= getlabelnum(current,"radius_mean");
27 double odchylenie_radius= getlabelnum(current,"radius_dev");
28 double minimum_radius= getlabelnum(current,"radius_min");
29 double maximum_radius= getlabelnum(current,"radius_max");
30 double radius = normal(srednia_radius,odchylenie_radius,stream);
31 if (radius>maximum_radius)
32 radius=maximum_radius;
33 if (radius<minimum_radius)
34 radius=minimum_radius;
35 setlabelnum(current,"radius_outside",radius);
36 setlabelnum(current,"radius_center",0.3*radius);
37
38 double random_probability=uniform(0.01,1,stream);
39
40 //usuniecie obiektow kolizji
41 removeallcouplingreferences(getvarnode(current,"collisionobjects"));
42
43 if (random_probability<=getlabelnum(current,"probability"))
44 //sa trudne warunki pogodowe
45 {
46 //dodawanie sfer
47 addsphere(current,0,0,0,getlabelnum(current,"radius_outside"));
48 setnodename(last(getvarnode(current,"collisionspheres")), "outside");
49 addsphere(current,0,0,0,getlabelnum(current,"radius_center"));
50 setnodename(last(getvarnode(current,"collisionspheres")), "center");
```

```
51
52 //dodanie wszystkich TaskExecutors z drzewa o nazwie ST... do kolizji
53 for (int k=1;k<=content(model());k++)
54 {
55     if ((classobject(current)==classobject(rank(model(),k)))&&
56         comparetext("ST",stringcopy(getnodename(rank(model(),k)),1,2)))
57     {
58         createcoupling(getvarnode(current, "collisionobjects"),
59             getvarnode(rank(model(),k), "collisionobjects"));
60     }
61 //ustawienie sprawdzania kolizji
62 setcollisioncheck(current,1,getvarnum(current,"collcheckinterval"));
63 }
```

Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linia kodu 2 – definicję obiektu, do którego odnosi się kod.
- Linie kodu 4-5 – inicjalizację losowego strumienia.
- Linia kodu 7 – czyszczenie tabeli środków transportowych zawartej w tym obiekcie, mającej na celu kontrolowanie środków transportowych znajdujących się w zasięgu działania obiektu.
- Linia kodu 9 – usunięcie istniejących obszarów (sfer) kolizyjnych.
- Linie kodu 12-36 – wylosowanie prędkości i promienia zasięgu zakłócenia dla obrzeża zmian pogodowych.
- Linia kodu 38 – wylosowanie liczby służącej do określenia czy występują trudne warunki pogodowe.
- Linia kodu 41 – usunięcie powiązań kolizyjnych pomiędzy zakłóceniem a środkiem transportowym.

W przypadku wystąpienia zakłócenia wykonywane są następujące linie kodu odpowiadające za:

- Linie kodu 47-50 – stworzenie sfery kolizji dla modelowanego zakłócenia zgodnie z wylosowanymi wartościami w liniach kodu 11-36.
- Linie kodu 53-59 – powiązanie środków transportowych w modelu z zakłóceniem, w celu sprawdzania obszarów kolizyjnych.
- Linia kodu 61 – definicję przedziału czasowego, w którym następuje sprawdzanie obszaru kolizji.

Kod programu obiektu „Bad_Weather” w momencie sprawdzania kolizji („**collcheckinterval**”) jest następujący:

```

1  /**PHD Code*/
2  treenode thisobject = ownerobject(c);
3  treenode otherobject = parnode(1);
4  treenode thissphere = parnode(2);
5  treenode othersphere = parnode(3);
6
7  //ustalenie z ktora sfera nastapila kolizja
8  int collisionsphere=0;
9  if (getnodename(thissphere)=="outside")
10 collisionsphere=2;
11 if (getnodename(thissphere)=="center")
12 collisionsphere=3;
13
14 //ustalenie liczby aut bedacych w kolizji
15 int vehicles=gettablerows(label(thisobject,"vehicles"));
16 int vehicle_nr=0;
17
18 if(vehicles>0)
19 {
20 //jezeli sa jakies auta w kolizji sprawdzamy czy rozpatrywane auto znajduje sie w
tabeli
21 //i ustalamy jego numer
22 for (int k=1;k<=vehicles;k++)
23 {
24 if (comparetext(getnodename(otherobject),
gettablestr(label(thisobject,"vehicles"),k,1)))
25 vehicle_nr=k;
26 }
27 }
28 else
29 {
30 //gdy nie ma zadnych aut w kolizji tworzymy tabele z odpowiednimi kolumnami
31 //i wpisujemy rozpatrywane auto do pierwszego wiersza
32 settablesize(label(thisobject,"vehicles"),1,1,2);
33 addtablecol(label(thisobject,"vehicles"),2,1);
34 addtablecol(label(thisobject,"vehicles"));
35 settableheader(label(thisobject,"vehicles"),2,1,"Vehicle Name");
36 settableheader(label(thisobject,"vehicles"),2,2,"Collision Active Outside");
37 settableheader(label(thisobject,"vehicles"),2,3,"Collision Active Center");
38 vehicle_nr=1;
39 settablestr(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,1,getnodename(otherobject));
40 settablenum(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,2,0);
41 settablenum(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,3,0);
42 }
43
44 if (vehicle_nr==0)
45 {
46 //jezeli sa jakies auta w kolizji, ale rozpatrywane auto pojawia sie po raz pierwszy
47 //to dodajemy kolejny wiersz do tabeli
48 addtablerow(label(thisobject,"vehicles"));
49 vehicle_nr=vehicles+1;
50 settablestr(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,1,getnodename(otherobject));
51 settablenum(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,2,0);
52 settablenum(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,3,0);
53 }
54
55 //ustawienie znacznika aktywnej kolizji w tabeli i wyslanie opoznionych wiadomosci
56 settablenum(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,collisionsphere,1);
57 senddelayedmessage(thisobject,0.9*getvarnum(thisobject,
"collcheckinterval"),otherobject,1,collisionsphere);
58 if (collisionsphere==2)
59 senddelayedmessage(thisobject,1.1*getvarnum(thisobject,
"collcheckinterval"),otherobject,2,collisionsphere);
60
61 //ustawienie predkosci auta
62 int speed=0;
63
64 if(collisionsphere==2 && gettablenum(label(thisobject,"vehicles"),vehicle_nr,3)==0)
65 speed=gettablenum(thisobject,"speed_outside");
66 else

```

```
67 speed=getlabelnum(thisobject,"speed_center");
68
69 stopobject(otherobject,STATE_BLOCKED);
70 setvarnum(otherobject, "maxspeed",speed);
71 if (speed>0)
72 resumeobject(otherobject);
```

Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linie kodu 2-5 – definicję obiektów, do których odnosi się kod.
- Linie kodu 8-12 – ustalenie sfery, w której znajduje się środek transportowy (2 – oznacza obrzeże, 3 – oznacza centrum zmian pogodowych).
- Linia kodu 15 – ustalenie ilości środków transportowych znajdujących się w obszarze kolizyjnym.
- Linia kodu 16 – definicję zmiennej pomocniczej „vehicle_nr”, służącej do określania liczby środków transportowych znajdujących się w obszarze działania zakłócenia.
- Linie kodu 18-27 – ustalenie numeru środka transportowego, którego dotyczy rozpatrywane zakłócenie.
- Linie kodu 28-42 – inicjalizację tabeli ze spisem środków transportowych znajdujących się w obszarze zakłócenia; następuje ona w sytuacji wjazdu pierwszego pojazdu do obszaru zakłócenia.
- Linie kodu 44-53 – dopisanie kolejnego wiersza do tabeli środków transportowych w chwili pojawienia się następnego pojazdu w obszarze zakłócenia.
- Linie kodu 56-59 – ustawienie w tabeli środków transportowych znacznika aktywności kolizji. Znacznik ten wykorzystywany jest do kontroli pojazdów znajdujących się w strefach kolizji (obszarach działania zakłócenia) w momencie jej sprawdzania.
- Linie kodu 62-72 – zmianę prędkości środka transportowego w zależności od tego, w którym obszarze zakłócenia się znajduje.

Kod programu obiektu „Bad_Weather” w momencie otrzymania wiadomości przez ten obiekt jest następujący:

```
1  /**PHD Code*/
2  treenode current = ownerobject(c);
3  //ustalenie numeru auta w tabeli
4  int vehicles=gettablerows(label(current,"vehicles"));
5  int vehicle_nr=0;
6  if(vehicles>0)
7  {
8      for (int k=1;k<=vehicles;k++)
9      {
10         if (comparetext(getnodename(msgsendingobject),
11             gettablestr(label(current,"vehicles"),k,1)))
12             vehicle_nr=k;
```



```

12     }
13   }
14   //typ wiadomosci msgparam(1) (1 - reset kolizji, 2 - sprawdzenie czy obiekt opuscil
    sfere kolizji)
15   //srefa kolizji msgparam(2) (2 - sfera outside, 3 - sfera center)
16   if (msgparam(1)==1)
17   {
18     settablenum(label(current,"vehicles"),vehicle_nr,msgparam(2),0);
19   }
20   else if(msgparam(1)==2)
21   {
22     if (gettablenum(label(current,"vehicles"),vehicle_nr,msgparam(2))==0)
23     {
24       stopobject(msgsendingobject,STATE_BLOCKED);
25       setvarnum(msgsendingobject, "maxspeed",80);
26       resumeobject(msgsendingobject);
27       deletetablerow(label(current,"vehicles"),vehicle_nr);
28     }
29   }

```

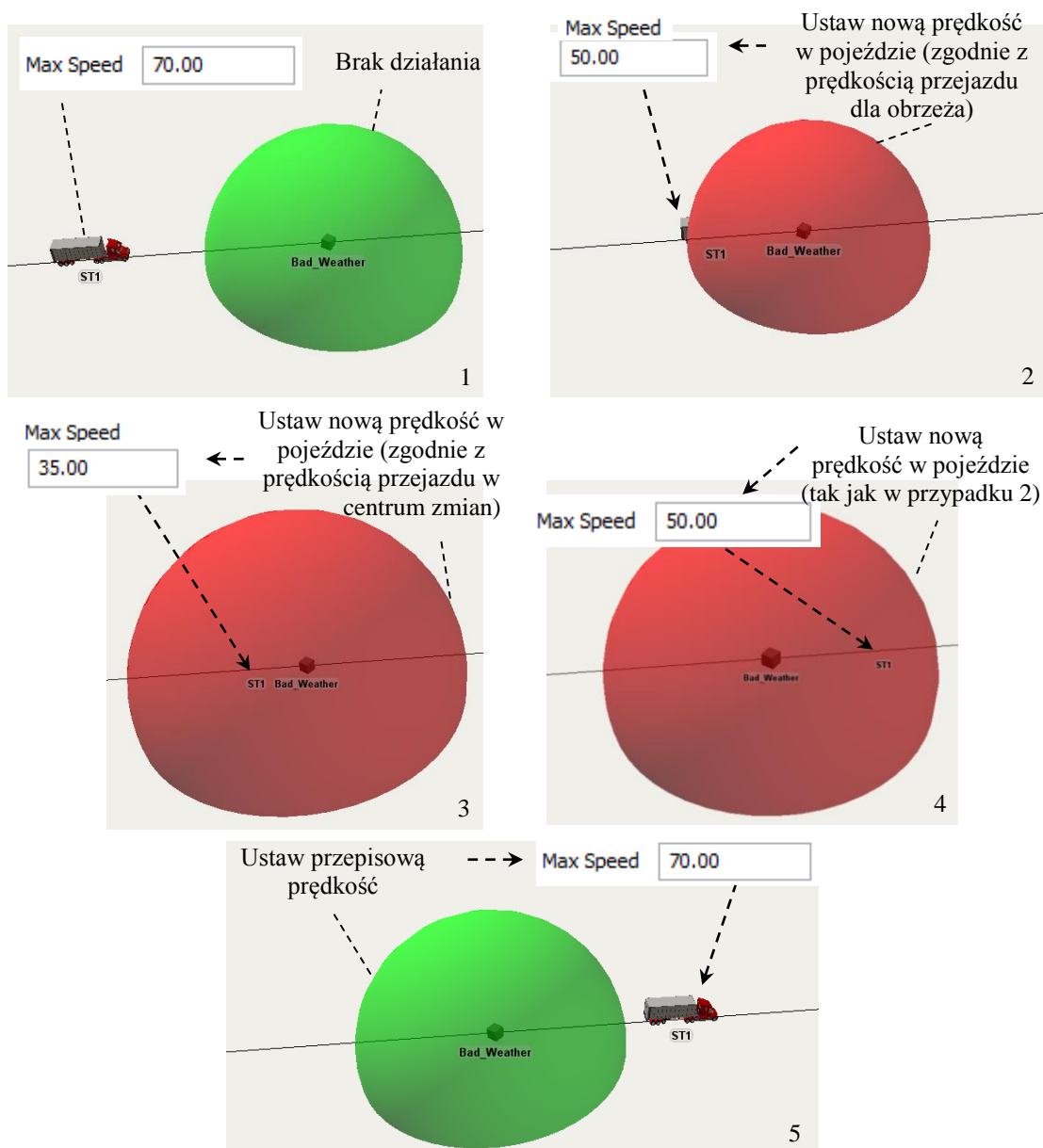
Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linia kodu 2 – definicję obiektu, do którego odnosi się kod.
- Linie kodu 4-5 – definicję ilości środków transportowych znajdujących się w zasięgu działania zakłócenia na podstawie danych znajdujących się w tabeli środków transportowych („vehicles”) w tym zakłóceniu.
- Linie kodu 6-13 – ustalenie numeru adresata wiadomości.
- Linie kodu 16-29 – zmianę wartości znacznika kolizji w tabeli środków transportowych; w przypadku całkowitego opuszczenia przez pojazd obszaru zakłócenia następuje ustawienie obowiązującej na tej trasie prędkości przejazdu dla środka transportowego.

Opis działania obiektu „Bad_Weather”

Wprowadzenie zakłócenia reprezentującego wystąpienie trudnych warunków pogodowych w określonym miejscu na trasie przejazdu następuje poprzez umieszczenie zaprojektowanego obiektu „Bad_Weather” w zdefiniowanym miejscu i wprowadzeniu wartości dla zmiennych decyzyjnych. W momencie resetowania modelu, definiowany jest zasięg działania tego zakłócenia dla centrum oraz obrzeża zmian pogodowych, a także prędkość przejazdu w tych obszarach. Co określoną w obiekcie jednostkę czasu („collcheckinterval”) sprawdzane jest czy w zasięgu zakłócenia znalazł się inny obiekt – jeśli nie, nie są podejmowane żadne czynności (rys. 6.3.4 (1)). Gdy środek transportowy znajdzie się w zasięgu działania obrzeża zmian pogodowych następuje zmiana prędkości pojazdu na prędkość ustaloną dla obrzeża (rys. 6.3.4 (2)), następnie po wjechaniu w obszar centralny zmieniana jest prędkość środka transportowego na obowiązującą w centrum zmian pogodowych (rys 6.3.4 (3)). Po opuszczeniu centrum zmian pogodowych prędkość pojazdu jest ponownie zmieniana na prędkość zdefiniowaną dla

obrzeża (rys. 6.3.4 (4)). W momencie, gdy przez zakłócenie zostanie wykryte, że środek transportowy opuścił obszar zdarzenia drogowego, następuje ustawienie w pojeździe prędkości przejazdu zgodnej z przepisami (rys.6.3.4 (5)). W celu kontrolowania, czy w zasięgu zakłócenia znajduje się inny obiekt, utworzona została tabela środków transportowych posiadająca dwie etykiety – znacznik aktywności kolizji dla każdej strefy działania zakłócenia oddzielnie (obrzeża i centrum). Ustawienie małej wartości dla czasu sprawdzania kolizji gwarantuje częste sprawdzanie tego obszaru, co skutkuje szybkim wychwyceniem momentu opuszczenia obszaru działania zakłócenia przez środek transportowy i zmianą prędkości pojazdu na obowiązującą na dalszym odcinku trasy.



Rys. 6.3.4. Obiekt „Bad_Weather” – sposób działania
Źródło: opracowanie własne (z zastosowaniem programu FlexSim)

6.3.4. Umiejętności kierowcy

W celu odwzorowania wpływu doświadczenia kierowcy (zależnego od stażu pracy związanego z jazdą samochodem ciężarowym) na czas realizacji procesów utworzono obiekt o nazwie „Driving_Skills”, który w ułożonym miejscu zatrzymuje środek transportowy na określony czas. Obiekt ten został zbudowany na podstawie dostępnego w oprogramowaniu symulacyjnym podstawowego obiektu stałego. Dla każdego środka transportowego, a tym samym kierowcy, należy przypisać oddzielny obiekt „Driving_Skills”. Zakłada się, że kierowca stale porusza się tym samym pojazdem. Czas zablokowania środka transportowego zależy od poziomu umiejętności kierowcy oraz czasu realizowanych procesów od chwili rozpoczęcia pracy przez kierowcę do chwili dojechania do miejsca ułożenia obiektu „Driving_Skills” (czas zablokowania pojazdu jest iloczynem współczynnika wzrostu zależnego od stażu i dotychczasowego czasu wykonywanych procesów przez kierowcę w ramach realizowanego zadania transportowego). Czas ten obliczany jest w chwili przyjechania środka transportowego do punktu, w którym umieszczono obiekt „Driving_Skills”. Analizując czas dla całego procesu logistycznego można założyć, że czas realizacji procesu obliczany jest w węźle (network node) znajdującym się tuż przy punkcie rozładunku. Przed rozładowaniem następuje zablokowanie środka transportowego na wyliczony okres czasu. Stan pojazdu definiowany jest wtedy w modelu symulacyjnym jako „**SCHEDULED_DOWN**”.

Funkcja celu dla tego zakłócenia to określenie czasu zablokowania środka transportowego zdefiniowanego jako „**time for blocked**”.

Utworzony obiekt o nazwie „Driving_Skills” posiada cztery zmienne decyzyjne, dla których należy wprowadzić wartości w jednostkach zgodnych z jednostkami przyjętymi w modelu:

- 1) „**driving_skills_level**” – zawiera informację dotyczącą poziomu umiejętności kierowcy;
- 2) „**increase of Tproc for skills nr 1**” – zawiera informację dotyczącą wartości wzrostu czasu w wyniku poziomu umiejętności nr 1, zgodnie z przedstawionymi w podpunkcie 6.2.11 informacjami;
- 3) „**increase of Tproc for skills nr 2**” – zawiera informację dotyczącą wartości wzrostu czasu w wyniku poziomu umiejętności nr 2, zgodnie z przedstawionymi w podpunkcie 6.2.11 informacjami;

- 4) „increase of Tproc for skills nr 3” – zawiera informację dotyczącą wartości wzrostu czasu w wyniku poziomu umiejętności nr 3, zgodnie z przedstawionymi w podpunkcie 6.2.11 informacjami.

Kod programu obiektu „Driving_Skills” w momencie resetowania modelu jest następujący:

```
1  /**PHD Code*/
2  treenode current = ownerobject(c);
3  setlabelnum(current,"simulation_time_work_start",0);
4  setlabelnum(current,"simulation_time_work_end",0);
5  setlabelnum(current,"Tproc",0);
6  setlabelnum(current,"Time for blocked",0);
```

Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linia kodu 2 – definicję obiektu, do którego odnosi się kod.
- Linia kodu 3 – ustawienie wartości równej 0 dla zmiennej „simulation_time_work_start” (czas rozpoczęcia pracy przez kierowcę).
- Linia kodu 4 – ustawienie wartości równej 0 dla zmiennej „simulation_time_work_end” (czas zakończenia pracy przez kierowcę).
- Linia kodu 5 – ustawienie wartości równej 0 dla zmiennej „Tproc” (całkowity czas procesów realizowanych przez kierowcę).
- Linia kodu 6 – odpowiada za ustawienie wartości równej 0 dla zmiennej „Time for blocked” (czas zablokowania pojazdu z kierowcą, wyliczany w zależności od stażu pracy kierowcy oraz całkowitego czasu zrealizowanych procesów).

Kod programu obiektu „Driving_Skills” w momencie otrzymania wiadomości przez ten obiekt jest następujący:

```
1  /**PHD Code*/
2  treenode current = ownerobject(c);
3
4  if (msgparam(1)==1000)
5  {
6      double time_work_start =time;
7      setlabelnum(current,"simulation_time_work_start", time_work_start);
8  }
9  if (msgparam(1)==2000)
10 {
11     double time_work_end =time;
12     setlabelnum(current,"simulation_time_work_end", time_work_end);
13     setlabelnum(current,"Tproc",getlabelnum(current,"simulation_time_work_end")-
14     getlabelnum(current,"simulation_time_work_start"));
15     settablenum("Time_of_processes",1,4,getlabelnum(current,"simulation_time_work_end")-
16     getlabelnum(current,"simulation_time_work_start"));
17
18     if (getlabelnum(current,"driving_skills_level")==1)
19     {
20         setlabelnum(current,"Time for blocked", (getlabelnum(current,"Tproc")*
21         getlabelnum(current,"increase of Tproc for skills nr 1")));
22     }
23     else if (getlabelnum(current,"driving_skills_level")==2)
24     {
25         setlabelnum(current,"Time for blocked", (getlabelnum(current,"Tproc")*
26         getlabelnum(current,"increase of Tproc for skills nr 2")));
27     }
28     else
29     {
```

```

25     {
26         setlabelnum(current,"Time for blocked",(getlabelnum(current,"Tproc")*
           getlabelnum(current,"increase of Tproc for skills nr 3")));
27     }
28     stopobject(node("ST1", model()),STATE_SCHEDULED_DOWN);
29     senddelayedmessage(current,getlabelnum(current,"Time for blocked"),current,3000);
30 }
31 if (msgparam(1)==3000)
32 resumeobject(node("ST", model()));

```

Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linia kodu 2 – definicję obiektu, do którego odnosi się kod.
- Linie 4-8 – zapisanie czasu rozpoczęcia pracy w etykiecie „simulation_time_work_start” obiektu.
- Linie kodu 9-30 – zapisanie czasu zakończenia pracy w etykiecie „simulation_time_work_end” oraz obliczenie czasu procesu i zwiększenia go o określony współczynnik wydłużenia wykonywania procesu w zależności od stażu pracy kierowcy.
- Linie kodu 31-32 – odblokowanie pojazdu po upływie obliczonego czasu.

Opis działania obiektu „Driving_Skills”

Zaprojektowany obiekt „Driving_Skills” należy połączyć z punktem na drodze, w którym ma nastąpić zablokowanie pojazdu. W momencie przyjazdu środka transportowego do tego punktu, zostaje wysłana wiadomość do obiektu „Driving_Skills”, w odpowiedzi, na którą zostaje przesłana wiadomość do pojazdu o czasie zablokowania. Stan pojazdu zmieniany jest na stan „SCHEDULED_DOWN”. Po upływie wylosowanego czasu pojazd otrzymuje kolejną wiadomość o możliwości wznowienia wykonywanych wcześniej czynności. Obiekt „Driving_Skills” działa w sposób bardzo zbliżony do obiektu „PPO” dlatego postanowiono pominąć rysunek prezentujący sposób działania dla tego obiektu.

6.3.5. Czas pracy kierowcy

Ostatnim opisanym szczegółowo zakłóceniem jest czas pracy kierowcy. W celu odwzorowania wymaganych przerw w czasie pracy kierowcy zaprojektowano własny obiekt o nazwie „Driving_Work_Time_Measure”. Dla każdego środka transportowego, a tym samym kierowcy, należy oddzielnie przypisać obiekt odwzorowujący przerwy w czasie pracy. Zakłada się, że kierowca stale porusza się tym samym pojazdem. W momencie zablokowania środka transportowego w związku z realizacją przerwy w czasie pracy, stan środka transportowego definiowany jest w modelu symulacyjnym jako „BUSY”. Obiekt ten został zbudowany na podstawie dostępnego w oprogramowaniu

symulacyjnym podstawowego obiektu stałego. Zgodnie z opisem w podpunkcie 6.2.12 rozpatrywany jest najprostszy układ przerw w czasie pracy kierowcy.

Funkcją celu tego zakłócenia jest określenie chwili, w której kierowca ma zaprzestać wykonywanych czynności w celu realizacji krótkiej bądź długiej przerwy w pracy.

Obiekt ten posiada 4 zmienne decyzyjne, dla których należy wprowadzić wartości w jednostkach zgodnych z jednostkami przyjętymi w modelu:

- 1) „short_break_after_hour” – zawiera informację po jakim czasie ma nastąpić krótka przerwa,
- 2) „long_break_after_hour” – zawiera informację po jakim czasie ma nastąpić długa przerwa,
- 3) „short_break_duration” – zawiera informację dotyczącą czasu trwania krótkiej przerwy,
- 4) „long_break_duration” – zawiera informację dotyczącą czasu trwania długiej przerwy.

Kod programu obiektu „Driving_Work_Time_Measure” w momencie resetowania modelu jest następujący:

```
1  /**PHD Code*/
2  treenode current = ownerobject(c);
3  setlabelnum(current,"simulation_time_work_start",0);
```

Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linia kodu 2 – definicję obiektu, do którego odnosi się kod.
- Linia kodu 3 – ustawienie wartości równej 0 dla zmiennej „simulation_time_work_start” (czas rozpoczęcia pracy przez kierowcę).

Kod programu obiektu „Driving_Work_Time_Measure” w momencie otrzymania wiadomości przez ten obiekt jest następujący:

```
1  /**PHD Code*/
2  treenode current = ownerobject(c);
3  if (msgparam(1)==1000)
4  {
5      double time_work_start=time;
6      setlabelnum(current,"simulation_time_work_start", time_work_start);
7      senddelayedmessage(current,getlabelnum(current,"short_break_after_hour"),
8                          current,1001);
9  }
10 if (msgparam(1)==1001)
11 {
12     if (time>getlabelnum(centerobject(current, 1), "czas_do_ktorego_stoi"))
13     {
14         stopobject(centerobject(current, 1),3);
15         senddelayedmessage(current,getlabelnum(current,"short_break_duration"),
16                             current,1002);
17     }
18     else
19     senddelayedmessage(current,getlabelnum(centerobject(current, 1),
20                                     "czas_do_ktorego_stoi")-time+1,current,1001);
21 }
22 if (msgparam(1)==1002)
```

```

20 {
21     resumeobject(centerobject(current, 1));
22     senddelayedmessage(current, getlabelnum(current, "short_break_after_hour"),
23         current, 1003);
24 }
25 if (msgparam(1)==1003)
26 {
27     if (time>getlabelnum(centerobject(current, 1), "czas_do_ktorego_stoi"))
28     {
29         stopobject(centerobject(current, 1), 3);
30         senddelayedmessage(current, getlabelnum(current, "long_break_duration"), current, 1004);
31     }
32     else
33     {
34         senddelayedmessage(current, getlabelnum(centerobject(current, 1),
35             "czas_do_ktorego_stoi")-time+1, current, 1003);
36     }
37 }
38 if (msgparam(1)==1004)
39 {
40     resumeobject(centerobject(current, 1));
41     senddelayedmessage(current, getlabelnum(current, "short_break_after_hour"),
42         current, 1001);
43 }

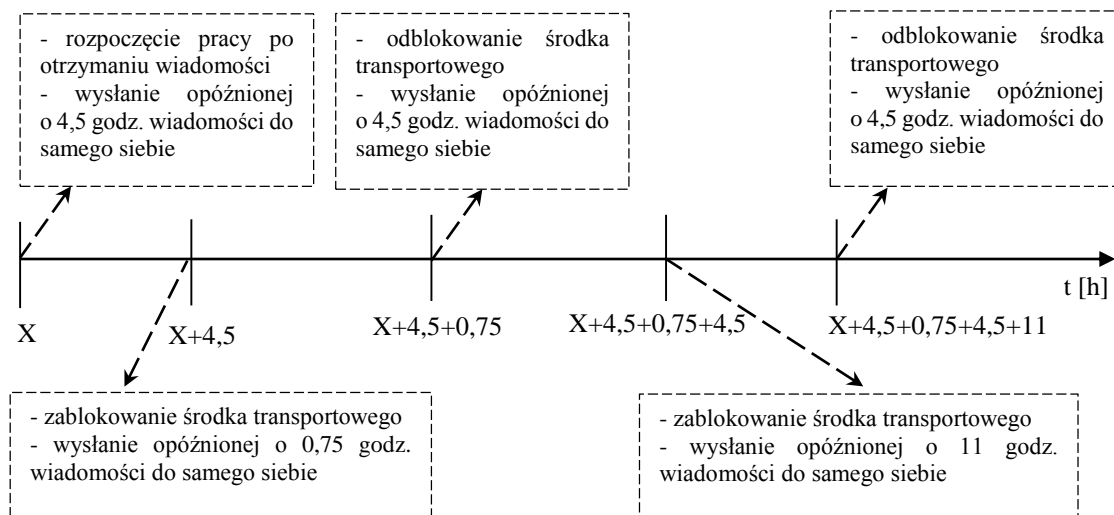
```

Poszczególne linie kodu odpowiadają za:

- Linia kodu 2 – definicję obiektu, do którego odnosi się kod.
- Linie kodu 3-8 – zapisanie czasu rozpoczęcia pracy w etykiecie „simulation_time_work_start” obiektu oraz wysłania przez zakłócenie do samego siebie opóźnionej wiadomości; wartość opóźnienia równa jest czasowi trwania krótkiej przerwy.
- Linie kodu 9-18 – zatrzymanie środka transportowego na krótką przerwę oraz kontrolę czasu jej trwania.
- Linie kodu 19-23 – wznowienie pracy po upływie krótkiej przerwy.
- Linie kodu 24-33 – zatrzymanie środka transportowego na długą przerwę oraz kontrolę czasu jej trwania.
- Linie kodu 34-39 – wznowienie pracy po upływie długiej przerwy.

Opis działania obiektu „Driving_Work_Time_Measure”

Zaprojektowany obiekt „Driving_Work_Time_Measure” należy połączyć z środkiem transportowym, dla którego ma być kontrolowany czas pracy. Zakłada się, że do danego pojazdu przypisany jest określony kierowca, nie rozpatruje się sytuacji, w której kierowca zmienia pojazd. Zasadę działania tego obiektu zaprezentowano na rysunku 6.3.5. W momencie rozpoczęcia pracy przez kierowcę zostaje wysłana wiadomość do obiektu o czasie rozpoczęcia pracy („simulation_time_work_start”). Otrzymanie tej wiadomości jest impulsem do wysłania do samego siebie przez obiekt reprezentujący zakłócenie opóźnionej wiadomości. Wartość opóźnienia jest równoznaczna z okresem czasu, po którym następuje krótka przerwa (4,5 godziny).



Rys. 6.3.5. Schemat przesłanych wiadomości w obiekcie „Driving_Work_Time_Measure”

Źródło: opracowanie własne

Obiekt po otrzymaniu tej wiadomości blokuje środek transportowy oraz wysyła sam do siebie kolejną opóźnioną wiadomość. Opóźnienie jest równe czasowi trwania krótkiej przerwy (0,75 godziny). Po otrzymaniu tej wiadomości zakłócenie odblokowuje środek transportowy i ponownie wysyła sam do siebie opóźnioną o 4,5 godziny wiadomość. Po otrzymaniu tej wiadomości obiekt blokuje pojazd i wysyła sam do siebie kolejną opóźnioną o 11 godzin wiadomość. Po otrzymaniu tej wiadomości następuje odblokowanie środka transportowego i wysłanie opóźnionej o 4,5 godziny wiadomości. Dalej powtarza się opisany schemat wysyłania wiadomości. Każdorazowy stan zablokowania środka transportowego w ramach tego zakłócenia definiowany jest w modelu symulacyjnym jako „BUSY”.

6.4. Podsumowanie rozdziału

Rozdział szósty prezentuje metodykę modelowania zakłóceń procesów logistycznych. Dla wyróżnionych i sklasyfikowanych zakłóceń ze względu na podmiot odpowiedzialny za ich powstanie oraz przedmiot, którego dotyczą (podrozdział 2.4), zaprezentowano metodę modelowania w ujęciu formalnym. Dla każdego z nich przedstawiono teoretycznie metodę modelowania symulacyjnego, a także ujęcie analityczne.

Wartości zmienne definiowane w ujęciu analitycznym dla zakłóceń to:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia,
- rozkład czasu zablokowania pojazdu w punkcie definiowany za pomocą rozkładu normalnego, przy jednoczesnym określeniu wartości minimalnej oraz maksymalnej,
- zasięg działania zakłócenia definiowany jako obszar o określonym promieniu,
- prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia określana za pomocą rozkładu normalnego, przy jednoczesnym określeniu wartości minimalnej oraz maksymalnej.

Podczas opisywania metod modelowania dla czternastu zdefiniowanych zakłóceń zauważono powtarzalność (w ujęciu metodycznym, nie liczbowym) metod modelowania zaburzeń. W związku z tym pogrupowano zakłócenia ze względu na metodę modelowania, co zostało zaprezentowane w tabeli 6.2.1. Pogrupowanie zakłóceń ze względu na podobieństwo metody modelowania spowodowało, iż zostało zdefiniowanych sześć grup metod modelowania. Z pięciu grup wybrano po jednym zakłóceniu, dla którego opisano szczegółową metodykę modelowania z wykorzystaniem oprogramowania symulacyjnego FlexSim. Pominęto grupę zakłóceń, które modelowane są z wykorzystaniem wbudowanego mechanizmu MTBF/MTTR, ponieważ w tych przypadkach stosowane jest dostępne już rozwiązanie.

Obiekty odwzorowujące zakłócenia zaprojektowano na bazie dwóch obiektów oferowanych w oprogramowaniu symulacyjnym FlexSim: obiektu stałego (Fixed Resource) oraz obiektu mobilnego (Task Executer). W tabeli 6.4.1 zestawiono poszczególne zamodelowane zakłócenia ze względu na zastosowany obiekt bazowy.

Tab. 6.4.1. Typ zastosowanego bazowego obiektu przy projektowaniu zakłócenia

Na podstawie obiektu stałego (Fixed Resource)	Na podstawie obiektu mobilnego (Task Executer)
PPO Umiejętności kierowcy Czas pracy kierowcy	Zdarzenie drogowe Trudne warunki pogodowe

Źródło: opracowanie własne

W przypadku zakłóceń przypisanych od początku modelowania do środka transportowego (czas pracy kierowcy oraz wydłużenie czasu realizacji procesu ze względu na staż pracy kierowcy) skorzystano z obiektu stałego. Programując w tym obiekcie określone cechy i sposoby postępowania w określonych przypadkach stworzono

obiekt odwzorowujący to zaburzenie. Tak samo postąpiono w przypadku punktu poboru opłaty – w sytuacji wystąpienia PPO na trasie przejazdu pewnym jest zatrzymanie środka transportowego na określony przedział czasu w tym punkcie. Niepewny jest czas zatrzymania. Dla modelowania pozostałych dwóch zakłóceń (zdarzenia drogowego oraz trudnych warunków pogodowych) skorzystano z obiektu mobilnego, ponieważ umożliwia on wprowadzenie obszaru (sfery) kolizji, określenie przedziału czasu sprawdzania sfery kolizji (czy znajduje się w niej inny obiekt – uczestnik), a także zdefiniowanie uczestników kolizji (rys. 6.3.2). Zdefiniowane elementy umożliwiają kontrolowanie pobytu środka transportowego w sferze działania zakłócenia.

Opisując szczegółową metodykę modelowania z wykorzystaniem oprogramowania symulacyjnego FlexSim dla każdego zakłócenia zdefiniowano:

- funkcję celu,
- zmienne decyzyjne,
- napisany kod programu,
- oraz zaprezentowano sposób działania obiektu w modelu symulacyjnym.

Ponadto, dla zakłóceń blokujących środek transportowy, uwzględniono zmianę stanu pojazdu, w celu odróżniania przyczyny (typu zakłócenia) zablokowania środka transportowego. Wprowadzono następujące stany:

- „**BLOCKED**” – w sytuacji zablokowania środka transportowego w PPO,
- „**SCHEDULED_DOWN**” – w sytuacji zablokowania w określonym punkcie środka transportowego, wynikającego z faktu wydłużenia czasu realizacji procesu w związku z stażem pracy kierowcy,
- „**BUSY**” – w sytuacji zablokowania środka transportowego w związku z wystąpieniem przerwy w czasie pracy kierowcy.

W ten sposób zaprezentowana została metodyka modelowania zakłóceń procesów logistycznych, co jest celem niniejszej rozprawy.

7. Zastosowanie symulacji w modelowaniu procesu logistycznego

7.1. Wprowadzenie

Rozdział ten pokazuje praktyczne wykorzystanie opisanych we wcześniejszych rozdziałach aspektów, tj.:

- metody modelowania sieci transportowych,
- metody modelowania punktów infrastrukturalnych,
- zbudowania i zastosowania w modelu symulacyjnym podstawowych mierników służących ocenie procesu logistycznego,
- zbudowania i zastosowania w modelu symulacyjnym zakłóceń, oraz określenia ich wpływu na cały analizowany proces.

W celu praktycznego zastosowania wymienionych aspektów zaprojektowano przykładowy system logistyczny, w ramach którego realizowany jest transport ładunku z punktu A (punktu załadunku) do punktu B (punktu rozładunku), z uwzględnieniem procesów wykonywanych w tych punktach. Obszar i procesy uwzględniane w modelu symulacyjnym w poszczególnych miejscach zaprojektowano zgodnie z przeprowadzoną analizą 4-ro poziomową, która została przedstawiona w podrozdziale 4.2. Przejazd środka transportowego z punktu A do punktu B następuje tylko raz, ponieważ analizowane jest jedno zlecenie transportowe. W związku z tym nie jest uwzględniany powrót środka transportowego do punktu początkowego i ponowne wykonywanie całego cyklu procesów. Projektowanie i budowa modelu symulacyjnego przebiegała zgodnie z przyjętymi w podrozdziale 3.2 etapami. W pierwszej kolejności zdefiniowano system oraz problem badawczy, następnie zbudowano model symulacyjny zgodnie z założeniami (podrozdział 7.2). Kolejną czynnością było zaprojektowanie i przeprowadzenie eksperymentów oraz analiza otrzymanych wyników (podrozdział 7.3)

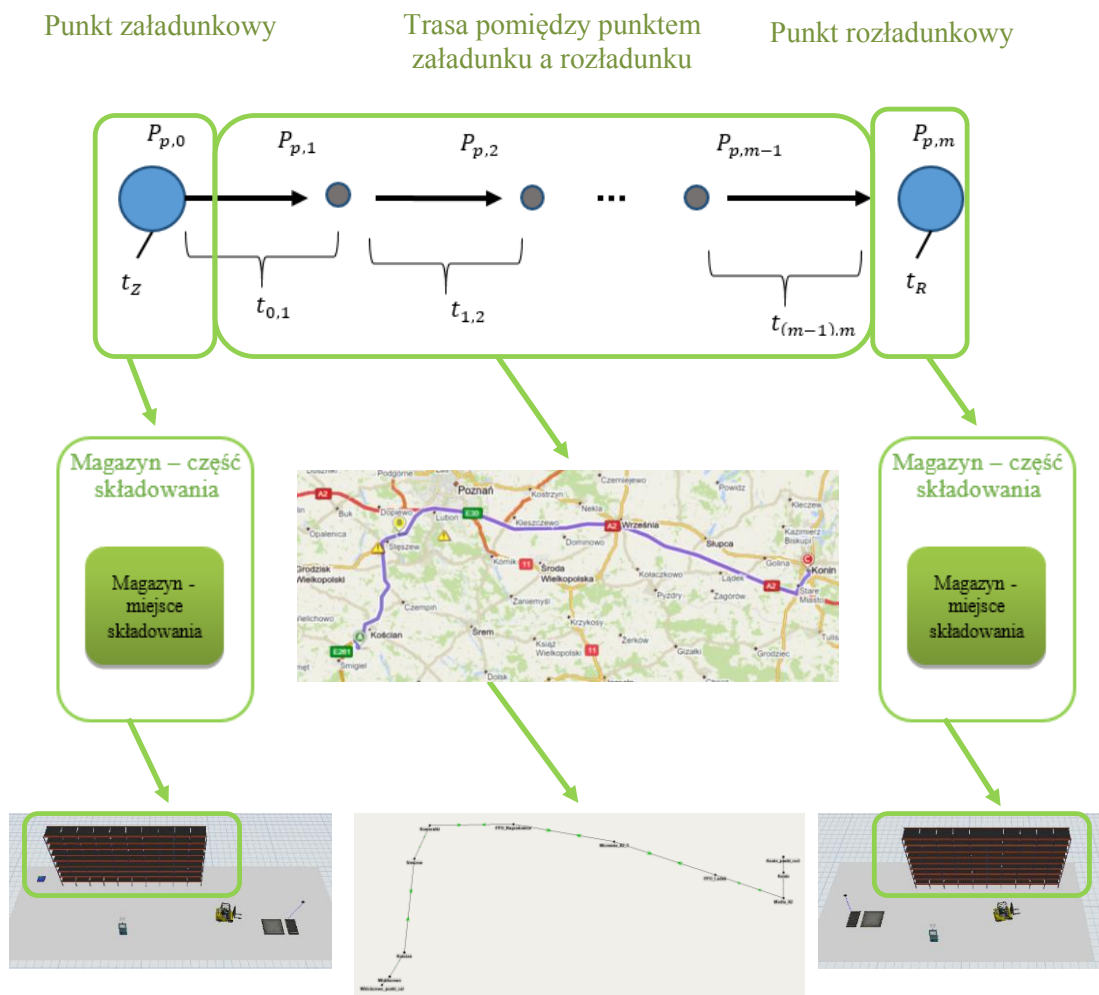
7.2. Definicja modelowanego systemu

7.2.1. Etap 1

Pierwszym krokiem jest zapoznanie się z tematem badań oraz tłem projektu, które definiują w sposób ogólny zakres oraz problem badawczy badań. Następnie należy precyzyjnie określić cel lub cele budowanego modelu. Głównym celem jest pokazanie w zastosowaniu opracowanej metodyki modelowania zakłóceń, a także określenie wpływu zakłóceń na czas realizowanego procesu logistycznego. W celu zamodelowania systemu logistycznego zaprezentowana zostanie opisana metoda modelowania sieci

transportowej oraz punktów infrastrukturalnych. Dodatkowo, przy wykorzystaniu oprogramowania symulacyjnego poszukiwana jest odpowiedź na sformułowane w części kreatywnej rozprawy pytanie: „Jaki jest termin załadunku Z_0 , który zagwarantuje, z zadaniem prawdopodobieństwem P_d , dostawę w terminie $Ra_0 \in (Ra'; Ra)??$ ”.

Następnie należy określić granice systemu. W analizowanym przypadku granicą początkową jest punkt załadunkowy, a dokładniej miejsce składowania w części magazynowej. Granicą końcową jest punkt rozładunkowy – miejsce składowania w części magazynowej w tym punkcie. Po określeniu granic modelowanego systemu należy dokładnie zdefiniować obiekty wchodzące w skład modelu oraz realizowane w nim procesy. Rysunek 7.2.1 przedstawia zakres modelowanego systemu z wykorzystaniem opisanych we wcześniejszych rozdziałach pracy elementów.



Rys. 7.2.1. Zakres modelowanego systemu
Źródło: opracowanie własne

Dla analizowanego systemu wyróżnić można następujące obiekty:

- miejsce załadunku,
- miejsce rozładunku,
- środek transportowy w punkcie załadunku wraz z pracownikiem obsługującym ten środek,
- środek transportowy w punkcie rozładunku wraz z pracownikiem obsługującym ten środek,
- sieć transportowa zbudowana z połączonych węzłów (tzw. network node),
- środek transportowy realizujący transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku wraz z kierowcą.

Uwzględniając procesy zachodzące w punkcie załadunku należy zdefiniować obiekty związane z analizowanym obszarem w tym punkcie. Wyróżniono następujące dodatkowe obiekty:

- miejsce składowania w magazynie,
- miejsce tymczasowego składowania w magazynie,
- rampa załadunkowa,
- drogi transportowe w punkcie załadunku.

Tak samo należy postąpić w przypadku punktu rozładunkowego. Wyróżniono następujące dodatkowe obiekty:

- miejsce składowania w magazynie,
- miejsce tymczasowego składowania w magazynie,
- rampa rozładunkowa,
- drogi transportowe w punkcie rozładunku.

Dla analizowanego procesu logistycznego wyróżniono następujące procesy:

- załadunek i transport towaru z miejsca składowania w magazynie w punkcie załadunkowym do miejsca tymczasowego składowania w magazynie, a następnie rozładunek towaru w tym miejscu,
- załadunek i transport towaru z miejsca tymczasowego składowania w magazynie przez rampę załadunkową na naczepę środka transportowego, a następnie rozładunek na naczepie,
- transport towarów z punktu załadunku do punktu rozładunku,

- załadunek i transport towaru z naczepy środka transportowego przez rampę rozładunkową do miejsca tymczasowego składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym, a następnie rozładunek towarów w tym punkcie,
- załadunek i transport towaru z miejsca składowania w magazynie w punkcie rozładunkowym do miejsca tymczasowego składowania w magazynie, a następnie rozładunek towaru w tym miejscu.

Przyjęto założenie, że podczas realizacji procesu logistycznego mogą wystąpić następujące zdarzenia niepożądane w modelu (związane z rozpatrywaniem zakłóceń):

- postój w punkcie poboru opłaty w celu uregulowania opłaty za przejazd odcinkiem płatnym (w sytuacji gdy trasa obejmuje odcinki płatne),
- wystąpienie zdarzenia drogowego na trasie przejazdu w punktach o zwiększonym ryzyku (w tzw. czarnych punktach),
- wystąpienie trudnych warunków pogodowych,
- wydłużenie czasu realizacji analizowanego procesu w związku z niskim lub średnim stażem pracy,
- wydłużenie czasu realizacji analizowanego procesu w związku z wystąpieniem przerw w czasie pracy kierowcy.

Po określeniu obiektów wchodzących w skład analizowanego systemu, a także realizowanych w nim procesów należy zdefiniować sposób oceny analizowanego systemu i realizowanych w nim procesów ze względu na założone cele.

Dla analizowanego procesu logistycznego mierzony jest całkowity czas jego realizacji. Określane są także czasy składowe, wpływające na efekt końcowy. Do czasów składowych zaliczono:

- czas realizacji procesów w punkcie załadunkowym,
- czas realizacji procesów w punkcie rozładunkowym (uwzględniany w sytuacji gdy za zakończenie procesu uważany jest moment rozładowania towarów z naczepy i jego sprawdzenia pod względem jakościowym i ilościowym),
- oraz czas przejazdu pomiędzy tymi punktami.

Ponadto, dla transportu zewnętrznego określany jest koszt przejazdu oraz ilość wygenerowanych emisji spalin.

7.2.2. Etap 2

Kolejnym krokiem jest zdefiniowanie założeń dla systemu, które będą wprowadzone do modelu symulacyjnego podczas jego budowy.

Po pierwsze ustalić należy w jakich jednostkach czasu i odległości będzie budowany model symulacyjny. W związku z modelowaniem procesu logistycznego uwzględniającego transport zewnętrzny postanowiono przyjąć następujące jednostki:

- dla czasu – godziny [h],
- dla odległości – kilometry [km].

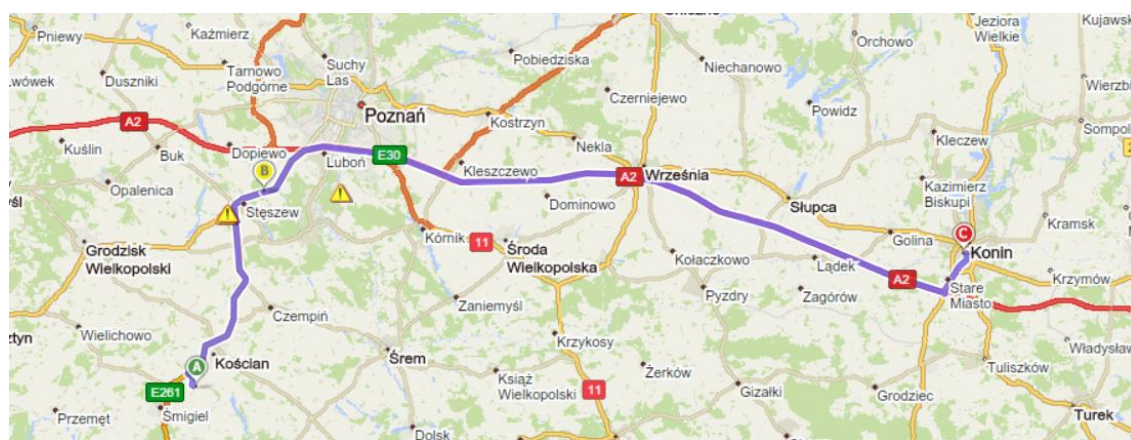
Po drugie określić należy dokładny przebieg trasy transportowej z punktu załadunku do punktu rozładunku. Podstawowe informacje o trasie zestawiono w tabeli 7.2.1.

Tab. 7.2.1. Przebieg trasy transportowej

Miejsce załadunku	Kod pocztowy	Miejsce rozładunku	Kod pocztowy	Odległość [km]
Widziszewo	64-000	Konin	62-500	157

Źródło: opracowanie własne

Szczegółowy przebieg trasy przedstawiono na rysunku 7.2.2.



Rys. 7.2.2. Przebieg trasy Widziszewo – Konin

Źródło: (<https://mapa.targeo.pl>, data dostępu: 01.10.2015)

Trasę należy przeanalizować pod względem występujących typów dróg (zależy od nich prędkość poruszania się środka transportowego) oraz miejsc, w których mogą występować rozważane zakłócenia. Transport towarów odbywa się za pomocą dwuosowego ciągnika siodłowego oraz trzyosiowej naczepy. Dopuszczalna masa całkowita zestawu wynosi 40 ton.

Prędkość z jaką porusza się środek transportowy wynosi odpowiednio (<http://www.przepisy.gofin.pl> , data dostępu: 01.10.2015) :

- 70 km/h – w przypadku poruszania się po drogach krajowych,
- 80 km/h – w przypadku poruszania się po autostradzie A2 na odcinku Komorniki – węzeł Stare Miasto.

W modelu nie jest uwzględniany obszar zabudowany (model nie jest budowany na takim poziomie szczegółowości), w związku z czym nie jest rozważana prędkość przejazdu samochodu ciężarowego dla tego obszaru.

W związku z poruszaniem się drogą płatną należy zdefiniować punkty poboru opłat (PPO). Na trasie przejazdu występują dwa manualne PPO (na odcinku autostrady A2 zarządzanym przez Autostradę Wielkopolską) (<http://autostrada-a2.pl/pl/index>, data dostępu: 12.03.2016):

- PPO w Nagrodowicach,
- PPO w Łądku.

Dla każdego z tych punktów należy określić czas postoju w tym miejscu. Przyjęte czasy na podstawie informacji zawartych w podrozdziale 6.2 zaprezentowano w tabeli 7.2.2 oraz 7.2.3.

Tab. 7.2.2. Manualny PPO – założenia do czasu uregulowania opłaty dla 80% przypadków

Lp.	Zmienna	Wartość [h]
1.	Średnia	≈0,0021
2.	Odchylenie	≈0,0013
3.	Wartość minimalna	≈0,0009
4.	Wartość maksymalna	≈0,0833

Źródło: opracowanie własne

Tab. 7.2.3. Manualny PPO – założenia do czasu uregulowania opłaty dla 20% przypadków

Lp.	Zmienna	Wartość [h]
1.	Średnia	≈0,0225
2.	Odchylenie	≈0,0197
3.	Wartość minimalna	≈0,0009
4.	Wartość maksymalna	≈0,0833

Źródło: opracowanie własne

Następnie należy przeanalizować trasę pod względem rozpatrywanych zakłóceń. W pierwszej kolejności należy stwierdzić czy występują miejsca o zwiększonym prawdopodobieństwie wystąpienia zdarzenia drogowego. Na trasie przejazdu występuje jeden „czarny punkt” (<http://www.gddkia.gov.pl>, data dostępu: 12.03.2016) w miejscowości Kościan. Dla tego punktu należy określić prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia drogowego oraz jego skutek – czyli zasięg i prędkość poruszania się w obszarze zakłócenia. Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia obliczono na podstawie danych zawartych w raporcie dotyczącym wypadków w 2014 roku publikowanym przez Komendę Główną Policji (2015).

Prawdopodobieństwo to obliczono według następującego wzoru:

$$P_{zakł_{zd}} = \frac{\text{wskaźnik liczby wypadków na 100000 mieszkańców}}{100000} \quad (7.2.1)$$

Obliczone prawdopodobieństwo zdarzenia drogowego w Wielkopolsce wynosi 0,000689.

Modelując zdarzenie drogowe w wyznaczonym punkcie należy zdefiniować kilka wartości zmiennych. Przyjęte wartości (niepoparte badaniami, założone na podstawie obserwacji) zawarto w tabeli 7.2.4.

Tab. 7.2.4. Zdarzenie drogowe – założenia

Lp.	Zmienna	Oznaczenie	Wartość	Jednostka
1.	Prawdopodobieństwo zdarzenia drogowego typu 1 (bez udziału środka transportowego realizującego zlecenie)	P_{ZD}	$0,95 \cdot 0,000689 = 0,00065455 \approx 0,0007$	-
2.	Prawdopodobieństwo zdarzenia drogowego typu 2 (z udziałem środka transportowego realizującego zlecenie)	P_{ZDP}	$0,05 \cdot 0,000689 = 0,00003445 \approx 0,0001$	-
3.	Zasięg działania zakłócenia typu 1	r_{ZD}	na podstawie tab. 7.2.4	[km]
4.	Prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia typu 1	V_{ZD}	na podstawie tab. 7.2.5	$\left[\frac{km}{h}\right]$
5.	Zasięg działania zakłócenia typu 2	r_{ZDP}	16,5	[km]
6.	Prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia typu 2	V_{ZDP}	0	$\left[\frac{km}{h}\right]$

Źródło: opracowanie własne

Zasięg działania zakłócenia typu 1 obliczany jest za pomocą rozkładu normalnego o parametrach zdefiniowanych w tabeli 7.2.5.

Tab. 7.2.5. Zdarzenie drogowe – założenia do promienia zasięgu działania

Lp.	Zmienna	Wartość [km]
1.	Średnia	1
2.	Odchylenie	0,3
3.	Wartość minimalna	0,2
4.	Wartość maksymalna	5

Źródło: opracowanie własne

Prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia typu 1 obliczana jest za pomocą rozkładu normalnego o parametrach zdefiniowanych w tabeli 7.2.6.

Tab. 7.2.6. Zdarzenie drogowe – założenia do prędkości przejazdu

Lp.	Zmienna	Wartość [km/h]
1.	Średnia	40
2.	Odchylenie	15
3.	Wartość minimalna	5
4.	Wartość maksymalna	60

Źródło: opracowanie własne

Kolejnym elementem, który należy zdefiniować dla danej trasy przejazdu jest określenie miejsc występowania zakłócenia odwzorowującego trudne warunki pogodowe. Zakłócenie to postanowiono umiejscowić w punktach występowania stacji meteorologicznych (<http://www.traxelektronik.pl>, data dostępu: 13.10.2015), ponieważ umożliwia to zebranie danych dotyczących warunków pogodowych. Na trasie przejazdu Widziszewo – Konin występuje kilka stacji meteorologicznych, jednak tylko dwie z nich publikują pełne informacje (w tym dotyczące opadów i siły wiatru):

- stacja meteorologiczna Przyborki,
- stacja meteorologiczna Stare Miasto.

Dla każdego z tych punktów należy zdefiniować prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia oraz jego skutek – czyli zasięg i prędkość poruszania się w obszarze zakłócenia. Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia założono dla obu punktów takie samo, jako 0,5 (współczynnik ten będzie zmienny dla różnych pór roku, wstępnie przyjęto wartość środkową).

W celu modelowania trudnych warunków pogodowych w wyznaczonym punkcie należy zdefiniować kilka wartości zmiennych. Przyjęte wartości (niepoparte badaniami, założone na podstawie obserwacji) zawarto w tabeli 7.2.7.

Tab. 7.2.7. Trudne warunki pogodowe – założenia

Lp.	Zmienna	Oznaczenie	Wartość	Jednostka
1.	Prawdopodobieństwo wystąpienia trudnych warunków pogodowych	P_{TWPiN}	0,5	-
2.	Promień obrzeża zmian pogodowych	R_{TWPiN}	na podstawie tab. 7.2.8	[km]
3.	Promień centrum zmian pogodowych	r_{TWPiN}	$X_{r_{TWPiN}} * R_{TWPiN}$	[km]
4.	Współczynnik określający stosunek promienia centrum do obrzeża	$X_{r_{TWPiN}}$	0,3	-
5.	Prędkość poruszania się w obrzeżu zmian pogodowych	V_{OTWPiN}	Na podstawie tab. 7.2.9	$\left[\frac{km}{h}\right]$
6.	Prędkość poruszania się w centrum zmian pogodowych	V_{CTWPiN}	$X_{V_{CTWPiN}} * V_{OTWPiN}$	$\left[\frac{km}{h}\right]$
7.	Współczynnik określający stosunek prędkości centrum do obrzeża	$X_{V_{CTWPiN}}$	0,7	-

Źródło: opracowanie własne

Zasięg obrzeża zmian pogodowych obliczany jest za pomocą rozkładu normalnego o parametrach zdefiniowanych w tabeli 7.2.8.

Tab. 7.2.8. Trudne warunki pogodowe – założenia do promienia obrzeża zmian

Lp.	Zmienna	Wartość [km]
1.	Średnia	5
2.	Odchylenie	1,5
3.	Wartość minimalna	1,5
4.	Wartość maksymalna	10

Źródło: opracowanie własne

Prędkość przejazdu w obszarze reprezentującym obrzeże zmian pogodowych obliczana jest za pomocą rozkładu normalnego o parametrach zdefiniowanych w tabeli 7.2.9.

Tab. 7.2.9. Trudne warunki pogodowe – założenia do prędkości przejazdu w obszarze obrzeża

Lp.	Zmienna	Wartość [km/h]
1.	Średnia	60
2.	Odchylenie	5
3.	Wartość minimalna	45
4.	Wartość maksymalna	70

Źródło: opracowanie własne

Po opracowaniu trasy przejazdu, wraz z występującymi zakłóceniami, należy poddać analizie punkt załadunku oraz rozładunku, a także realizowane w nich procesy. Zatem niezbędne jest zdefiniowanie czasu załadunku i rozładunku jednej palety przez wózek jezdniowy (tab. 7.2.10). Czasy te przyjęto na podstawie zdobytych doświadczeń podczas odbywania stażu w centrum dystrybucyjnym.

Tab. 7.2.10. Czas załadunku oraz rozładunku jednej palety przez wózek jezdniowy

Operacja	Średnia [h]	Odchylenie [h]	Min [h]	Max [h]
Załadunek	0,02	0,015	0,015	0,1
Rozładunek	0,02	0,01	0,015	0,1

Źródło: opracowanie własne

Prędkość poruszania się wózka jezdniowego w analizowanym obszarze założono jako 6 km/h (<http://www.widlowe-wozki.eu>, data dostępu: 01.04.2016).

W punktach załadunkowych oraz rozładunkowych występują także obiekty reprezentujące miejsce składowania oraz rampę załadunkową i rozładunkową. Z punktu widzenia prowadzonych badań kwestia wymiaru i pojemności tych punktów nie jest istotna, dlatego też nie jest definiowana. Ważnym aspektem jest natomiast odległość pomiędzy tymi punktami, co przedstawiono w tabeli 7.2.11.

Tab. 7.2.11. Długość trasy pomiędzy obiektami w punkcie załadunkowym i rozładunkowym

Punkt	Definicja trasy pomiędzy obiektami	Odległość [km]
załadunkowy	miejsce składowania – tymczasowe miejsce składowania	0,2
	tymczasowe miejsce składowania – rampa załadunkowa (i z powrotem)	0,02
	tymczasowe miejsce składowania – miejsce składowania	0,25
rozładunkowy	rampa rozładunkowa – tymczasowe miejsce składowania (i z powrotem)	0,02
	tymczasowe miejsce składowania – miejsce składowania	0,25
	miejsce składowania – tymczasowe miejsce składowania	0,35

Źródło: opracowanie własne

Następnym elementem, który należy zdefiniować na potrzeby modelowania wymienionych procesów w kroku pierwszym, to występowanie dwóch zakłóceń:

- wydłużenie czasu realizacji analizowanego procesu w związku z niskim lub średnim stażem pracy,
- wydłużenie czasu realizacji analizowanego procesu w związku z wystąpieniem przerw w czasie pracy kierowcy.

W przypadku modelowania wydłużenia czasu realizacji procesu wykonywanego przez kierowcę w związku z jego umiejętnościami (stażem pracy) należy określić w obiekcie odwzorującym to zakłócenie wartości dla następujących zmiennych:

- dotyczącej poziomu umiejętności kierowcy (od 1 do 3),
- dotyczące wartości wzrostu czasu w związku z poziomem umiejętności nr 1,
- dotyczące wartości wzrostu czasu w związku z poziomem umiejętności nr 2,
- dotyczące wartości wzrostu czasu w związku z poziomem umiejętności nr 3.

W przypadku modelowania zakłócenia reprezentującego czas pracy kierowcy nie ma potrzeby zmieniania wartości dotyczących czasu i długości przerw w pracy, które zostały zdefiniowane w podrozdziale 6.2 zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Ponadto w modelu przyjęto następujące uproszczenia:

- model symulacyjny nie dopuszcza możliwości, aby pojazdy poruszały się niezgodnie z przepisami ruchu drogowego (np. jeździły niezgodnie z kierunkiem ruchu, zatrzymywały się lub zawracały w niedozwolonych miejscach);
- model symulacyjny nie uwzględnia bezpośrednio ruchu innych pojazdów; udział pojazdów został odwzorowany w wybranych punktach przez wydłużenie czasu zatrzymania w tym miejscu (zamiast spowalniania prędkości przejazdu);
- model symulacyjny nie uwzględnia możliwości wystąpienia awarii bramek znajdujących się w punktach poboru opłat, czy też szlabanów i bram;
- przy przeprowadzaniu eksperymentów nie uwzględniono w ruchu drogowym różnic dotyczących natężenia ruchu w zależności od godzin czy też dni tygodnia, w związku z brakiem szczegółowych danych;
- pojazdy poruszają się z określoną prędkością, z uwzględnieniem przyspieszania i hamowania.

Należy jeszcze ustalić sposób pomiaru, oceny analizowanego systemu zgodnie z zdefiniowanymi w kroku pierwszym aspektami. Stwierdzono, że podstawowymi obserwowanymi wartościami są: czas realizacji całego procesu oraz czas realizacji procesów składowych. Budując model symulacyjny należy określić początek oraz koniec dla każdego z procesów składowych w celu zmierzenia czasu realizacji całego procesu.

Ponadto, ustalono, że dla transportu zewnętrznego określony zostanie koszt przejazdu oraz ilość wygenerowanych emisji spalin. Przyjęto, że całkowity koszt realizacji transportu zewnętrznego zawiera w sobie:

- koszt paliwa zużytego na przejazd określonej odległości przez samochód ciężarowy, obliczony zgodnie z wzorem przedstawionym w podrozdziale 2.3. Do obliczeń przyjęto obowiązującą w dniu 05.04.2016 cenę oleju napędowego jako 3,92 [PLN/l] (<http://epoznan.pl/komunikacja-petroserwis>, data dostępu: 05.04.2016)
- koszt przejazdu płatnymi odcinkami dróg – dla projektowanej trasy wynosi on 126 zł (<https://www.autostrada-a2.pl/payments>, data dostępu: 12.03.2016).

Ostatnim mierzonym elementem jest ilość wygenerowanych emisji spalin podczas realizowania procesu transportu zewnętrznego. Wartość ta zależna jest od klasy emisji spalin dla danego samochodu ciężarowego. Ilość wygenerowanych emisji spalin obliczana jest zgodnie z informacjami przedstawionymi w podrozdziale 2.3.

Kolejnymi krokami w ramach badań symulacyjnych jest budowa modelu symulacyjnego zgodnie z przyjętymi założeniami, a następnie eksperymentowanie z nim.

7.3. Eksperymenty symulacyjne

Dla zaprojektowanego w podrozdziale 7.2 systemu logistycznego postanowiono przeprowadzić różne eksperymenty. Czas załadunku i rozładunku jednej palety przez wózek jezdniowy postanowiono zostawić zgodnie z wstępnymi ustaleniami. Natomiast zmienne dla wszystkich wymienionych zakłóceń uwzględniane są w ramach eksperymentów symulacyjnych. Ma to na celu pokazanie wpływu zakłóceń na czas realizacji całego procesu. Wszystkie eksperymenty przeprowadzono przy użyciu wbudowanego narzędzia „Eksperymentator” w oprogramowaniu FlexSim. Przyjęta norma Euro dla środka transportowego wynosi 6. W związku z stosowaniem amerykańskiego oprogramowania do symulacji, wartości liczbowe zapisano przy użyciu symbolu „.” dla separatora dziesiętnego. Rozpatrywany czas symulacji w eksperymencie zdefiniowano jako 24 godziny – dystans pomiędzy miastami pokonywany jest

w 2-3 godziny, jednak zgodnie z czasem pracy kierowcy postanowiono rozpatrywać w symulacji okres czasu równy dobie. Dla każdego scenariusza (każdego eksperymentu) wykonano 100 powtórzeń, w celu pokazania wpływu wartości zmiennych losowych na obserwowane wartości. Wyniki prezentowane są dla przedziału ufności 95%. Wybrano liczbę 100 powtórzeń, ponieważ przy tej liczbie powtórzeń uzyskano największą dokładność wyników dla czasu transportu z punktu załadunku do punktu rozładunku (do czterech miejsc po przecinku). Dodanie kolejnych replikacji nie powoduje zmian. Wyniki uzyskane dla tego samego eksperymentu dla czasu transportu dla 10, 20, 100 i 200 powtórzeń zawarto w załączniku nr 2.

Tabela 7.3.1 zawiera zestawienie wszystkich zmiennych decyzyjnych poddawanych zmianom w ramach poszczególnych eksperymentów.

Tab. 7.3.1. Wstępnie założone wartości zmiennych decyzyjnych

Nr zmiennej	Obiekt	Zmienna	Jednostka
1.	PPO w Nagrodowicach	Czas opłaty dla 80% przypadków – wartość średnia	[h]
2.		Czas opłaty dla 80% przypadków – odchylenie	[h]
3.		Czas opłaty dla 80% przypadków – wartość minimalna	[h]
4.		Czas opłaty dla 80% przypadków – wartość maksymalna	[h]
5.		Czas opłaty dla 20% przypadków – wartość średnia	[h]
6.		Czas opłaty dla 20% przypadków – odchylenie	[h]
7.		Czas opłaty dla 20% przypadków – wartość minimalna	[h]
8.		Czas opłaty dla 20% przypadków – wartość maksymalna	[h]
9-16.	PPO w Łądku	Identyczne zmienne jak w PPO w Nagrodowicach	-
17.	Zdarzenie drogowe w Kościanie	Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia drogowego typu 1 (bez udziału środka transportowego realizującego zlecenie)	-
18.		Prawdopodobieństwo zdarzenia drogowego typu 2 (z udziałem środka transportowego realizującego zlecenie)	-
19.		Zasięg działania zakłócenia typu 1 – wartość średnia	[km]
20.		Zasięg działania zakłócenia typu 1 – odchylenie	[km]
21.		Zasięg działania zakłócenia typu 1 – wartość minimalna	[km]
22.		Zasięg działania zakłócenia typu 1 – wartość maksymalna	[km]

Nr zmiennej	Obiekt	Zmienna	Jednostka
23.	Zdarzenie drogowe w Kościanie	Prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia typu 1 – wartość średnia	$\left[\frac{km}{h}\right]$
24.		Prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia typu 1 – odchylenie	$\left[\frac{km}{h}\right]$
25.		Prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia typu 1 – wartość minimalna	$\left[\frac{km}{h}\right]$
26.		Prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia typu 1 – wartość maksymalna	$\left[\frac{km}{h}\right]$
27.	Trudne warunki pogodowe (Przyborki)	Prawdopodobieństwo wystąpienia	-
28.		Promień obrzeża zmian pogodowych – wartość średnia	[km]
29.		Promień obrzeża zmian pogodowych – odchylenie	[km]
30.		Promień obrzeża zmian pogodowych – wartość minimalna	[km]
31.		Promień obrzeża zmian pogodowych – wartość maksymalna	[km]
32.		Prędkość poruszania się w obrzeżu zmian pogodowych – wartość średnia	$\left[\frac{km}{h}\right]$
33.		Prędkość poruszania się w obrzeżu zmian pogodowych – odchylenie	$\left[\frac{km}{h}\right]$
34.		Prędkość poruszania się w obrzeżu zmian pogodowych – wartość minimalna	$\left[\frac{km}{h}\right]$
35.		Prędkość poruszania się w obrzeżu zmian pogodowych – wartość maksymalna	$\left[\frac{km}{h}\right]$
36.		Współczynnik określający stosunek promienia centrum do obrzeża	
37.		Współczynnik określający stosunek prędkości centrum do obrzeża	
38-48.	Trudne warunki pogodowe (Stare Miasto)	Identyczne zmienne jak w miejscu Przyborki	-
49.	Umiejętność i kierowcy	Poziom umiejętności kierowcy	-
50.		Wartość wzrostu czasu w związku z poziomem umiejętności nr 1	-
51.		Wartość wzrostu czasu w związku z poziomem umiejętności nr 2	-
452.		Wartości wzrostu czasu w związku z poziomem umiejętności nr 3	-

Źródło: opracowanie własne

Dla każdego eksperymentu obserwowany jest czas realizacji procesów, ilość zużytego paliwa przez samochód ciężarowy oraz ilość wygenerowanych substancji szkodliwych. Obserwowane wartości zestawiono w tabeli 7.3.2. Dla każdej z tych wartości definiowana jest wartość średnia oraz przedział wartości dla obserwowanej zmiennej przy założeniu 95% przedziału ufności.

Tab. 7.3.2. Obserwowane wartości w eksperymentach

Nr obserwowanej wartości	Obserwowana wartość
1.	Czas realizacji procesów w punkcie załadunkowym
2.	Czas realizacji procesów w punkcie rozładunkowym
3.	Czas realizacji procesu transportowego
4.	Całkowity czas realizacji procesu
5.	Ilość zużytego paliwa przez samochód ciężarowy
6.	Ilość wygenerowanych substancji szkodliwych CO przez samochód ciężarowy
7.	Ilość wygenerowanych substancji szkodliwych HC przez samochód ciężarowy
8.	Ilość wygenerowanych substancji szkodliwych NOx przez samochód ciężarowy
9.	Ilość wygenerowanych substancji szkodliwych PM przez samochód ciężarowy

Źródło: opracowanie własne

7.3.1. Eksperyment 1

W ramach pierwszego eksperymentu postanowiono odwzorować sytuację, w której nie występują żadne zakłócenia, zatem wartości wszystkich zdefiniowanych zmiennych wynoszą 0. Uzyskane wyniki prezentowane są w oprogramowaniu w różny sposób.

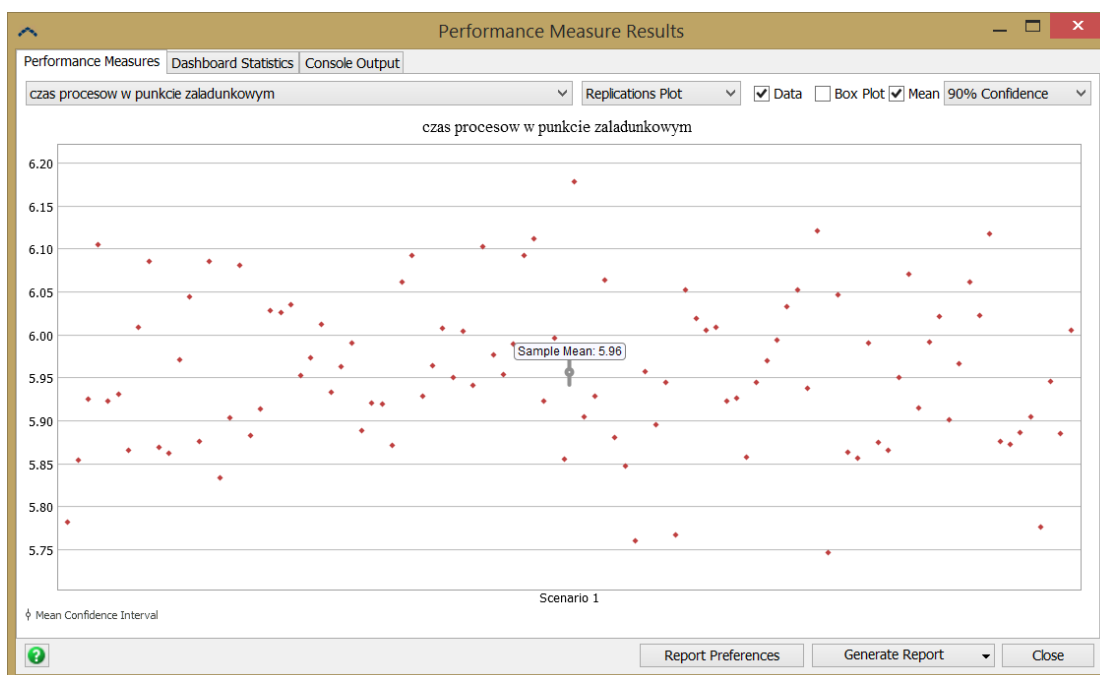
Jednym z nich jest prezentacja rezultatów dla każdej replikacji w formie tabelarycznej (rys. 7.3.1).

	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6	Rep 7	Rep 8	Rep 9	Rep 10	Re
Scenario 1	5.78	5.85	5.92	6.11	5.92	5.93	5.87	6.01	6.09	5.87	

Rys. 7.3.1. Pierwsza metoda prezentacji rezultatów w eksperymentatorze

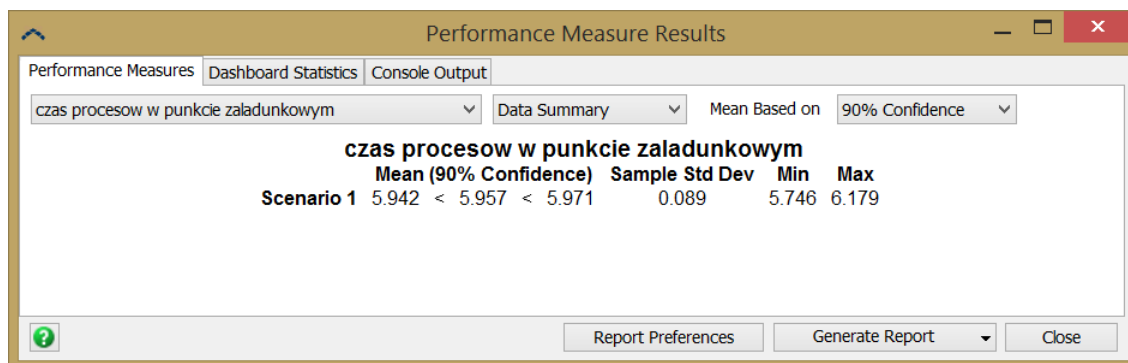
Źródło: opracowanie własne (wyniki z programu FlexSim)

Inną metodą jest zaprezentowanie wyniku każdej replikacji na wykresie (rys. 7.3.2).



Rys. 7.3.2. Druga metoda prezentacji rezultatów w eksperymentatorze
Źródło: opracowanie własne (wyniki z programu FlexSim)

Kolejną metodą prezentacji wyników jest określenie przedziału dla obserwowanej wartości przy założeniu 90, 95 lub 99% przedziału ufności (rys. 7.3.3).



Rys. 7.3.3. Trzecia metoda prezentacji rezultatów w eksperymentatorze
Źródło: opracowanie własne (wyniki z programu FlexSim)

Uzyskane wyniki dla analizowanych wartości zestawiono w tabeli 7.3.3. Zaprezentowano w niej wartość średnią oraz przedział wartości dla obserwowanej zmiennej przy założeniu 95% przedziału ufności.

Tab. 7.3.3. Eksperyment 1 – wyniki

Nr obserwowanej wartości	Obserwowana wartość	Średni wynik	Przedział wartości dla obserwowanej zmiennej przy założeniu 95% przedziału ufności
1.	Czas realizacji procesów w punkcie załadunkowym	5.96 [h]	(5.942 ; 5.971) [h]
2.	Czas realizacji procesów w punkcie rozładunkowym	1.734 [h]	(1.722 ; 1.746) [h]
3.	Czas realizacji procesu transportowego	2.094 [h]	(2.09441000000000166 ; 2.09441000000000166) [h]
4.	Całkowity czas realizacji procesu	9.79 [h]	(9.758 ; 9.811) [h]
5.	Ilość zużytego paliwa przez samochód ciężarowy	75.28 [l]	(75.28 ; 75.28) [l]
6.	Ilość wygenerowanych substancji szkodliwych CO przez samochód ciężarowy	79.28	(79.28064300000000262 ; 79.28064300000000262) [g]
7.	Ilość wygenerowanych substancji szkodliwych HC przez samochód ciężarowy	14.27	(14.27051600000000184 ; 14.27051600000000184) [g]
8.	Ilość wygenerowanych substancji szkodliwych NOx przez samochód ciężarowy	12.68	(12.684903000000000381 ; 12.684903000000000381) [g]
9.	Ilość wygenerowanych substancji szkodliwych PM przez samochód ciężarowy	0.79	(0.79280599999999901 ; 0.79280599999999901) [g]

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że:

- Czas realizacji procesów w punkcie załadunkowym oraz rozładunkowym uzyskał różne wyniki w kolejnych replikacjach, co jest uzasadnione zastosowaniem rozkładu normalnego w celu określenia czasu załadunku i czasu rozładunku.
- Czas realizacji transportu jest dla każdej replikacji taki sam, co wynika z faktu braku występowania zakłóceń na trasie przejazdu, środek transportowy przemieszcza się z prędkości ustaloną dla danego odcinka.
- Całkowity czas realizacji procesu uzyskał różne wyniki w kolejnych replikacjach, co jest podyktowane uzyskaniem różnych wyników dla dwóch z trzech czasów składowych (obserwowana wartość nr 1 i 2).
- Ilość zużytego paliwa również jest taka sama, co wynika z faktu, iż środek transportowy w każdym eksperymencie pokonuje ten sam dystans oraz porusza

się z taką samą prędkością. Wartość zużytego paliwa zgodnie z założeniami w podrozdziale 7.2 wynosi 295.0976 złotych.

- Ilość generowanych substancji szkodliwych zależy jest od pokonanego dystansu oraz przyjętej normy Euro dla samochodu ciężarowego. W związku z tym wartość ta jest taka sama dla każdej replikacji, co potwierdzają otrzymane wyniki. W dalszych eksperymentach postanowiono pominąć obserwacje ilości wygenerowanych substancji szkodliwych w związku z niewprowadzaniem zmian do elementów wpływających na te wartości (czyli na długość pokonywanej trasy oraz normę Euro dla pojazdu).

Po przeprowadzeniu analizy otrzymanych wyników można stwierdzić poprawność działania modelu nieuwzględniającego występowanie zakłóceń. W ten sposób zweryfikowano poprawność działania modelu bez zakłóceń. W celu zweryfikowania modelu z zakłóceniami postanowiono przeprowadzić eksperyment nr 2.

7.3.2. Eksperyment 2

Eksperyment drugi ma na celu pokazanie działania modelu uwzględniającego zakłócenia procesów logistycznych. Tabela 7.3.4 zawiera zestawienie wszystkich zmiennych wraz z założonymi wartościami dla zakłóceń w eksperymencie drugim. Wartości te zgadzają się z opisanymi założeniami w podrozdziale 7.2. W celu zmniejszenia zawartości tabeli pominięto kolumnę o nazwie *Obiekt* oraz *Zmienna*. Kolejność zmiennych w tej tabeli jest identyczna jak w tabeli 7.3.1.

Tab. 7.3.4. Wstępnie założone wartości zmiennych decyzyjnych

Nr zmiennej	Wartość	Jednostka
1.	0.0021	[h]
2.	0.0013	[h]
3.	0.0009	[h]
4.	0.0833	[h]
5.	0.0225	[h]
6.	0.0197	[h]
7.	0.0009	[h]
8.	0.0833	[h]
9.-16.	Takie jak w Łądku	-
17.	0.0007	-
18.	0.0001	-
19	1	[km]
20.	0.3	[km]
21.	0.2	[km]
22.	5	[km]

Nr zmiennej	Wartość	Jednostka
23.	40	$\left[\frac{km}{h}\right]$
24.	15	$\left[\frac{km}{h}\right]$
25.	5	$\left[\frac{km}{h}\right]$
26.	60	$\left[\frac{km}{h}\right]$
27.	0.5	-
28.	5	[km]
29.	1.5	[km]
30.	1.5	[km]
31.	10	[km]
32.	60	$\left[\frac{km}{h}\right]$
33.	5	$\left[\frac{km}{h}\right]$
34.	45	$\left[\frac{km}{h}\right]$
35.	70	$\left[\frac{km}{h}\right]$
36.	0,3	-
37.	0,7	-
38.-48.	Takie jak w Przyborki	-
49.	1	-
50.	0.05	-
51.	0.02	-
452.	0	-

Źródło: opracowanie własne

Otrzymane wartości dla przeprowadzonego eksperymentu zestawiono w tabeli 7.3.5.

Tab. 7.3.5. Eksperyment 2 – wyniki

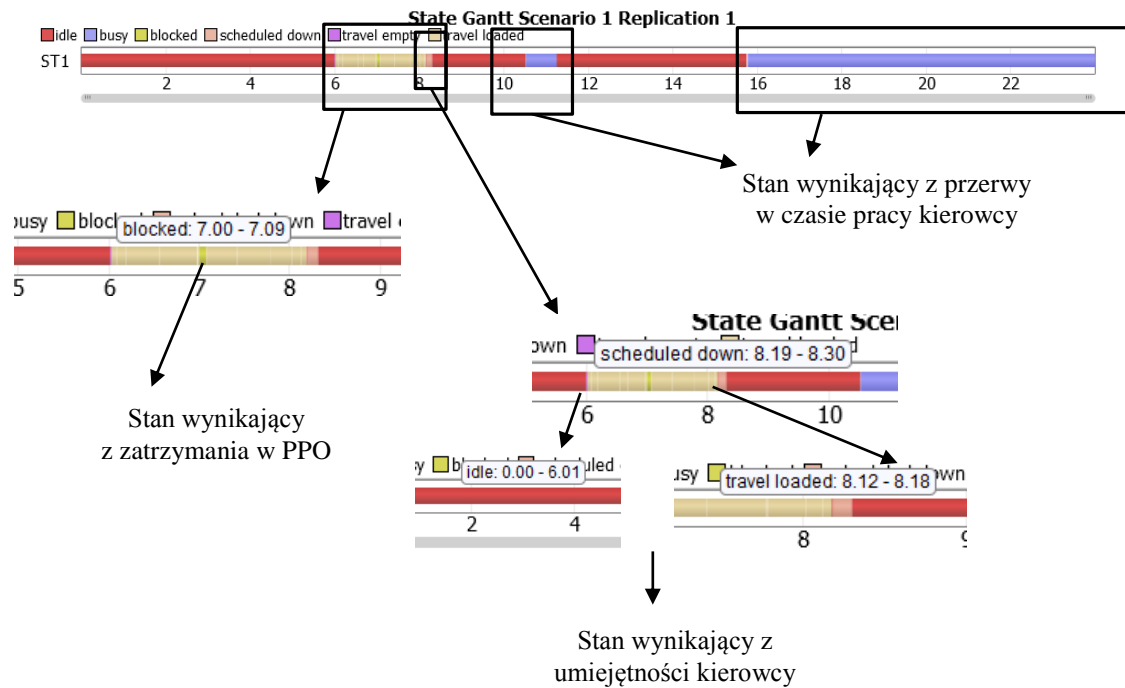
Nr obserwowanej wartości	Obserwowana wartość	Średni wynik	Przedział wartości dla obserwowanej zmiennej przy założeniu 95% przedziału ufności
1.	czas realizacji procesów w punkcie załadunkowym	5.95 [h]	(5.930 ; 5.961) [h]
2.	czas realizacji procesów w punkcie rozładunkowym	1.729 [h]	(1.718 ; 1.740) [h]
3.	czas realizacji procesu transportowego	2.38 [h]	(2.362 ; 2.390) [h]
4.	całkowity czas realizacji procesu	10.05 [h]	(10.029 ; 10.073) [h]
5.	ilość zużytego paliwa przez samochód ciężarowy	76.8 [l]	(76.62 ; 77.07) [l]

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że:

- Czas realizacji procesów w punkcie załadunkowym oraz rozładunkowym uzyskał różne wyniki w kolejnych replikacjach, co jest uzasadnione zastosowaniem rozkładu normalnego w celu określenia czasu załadunku i czasu rozładunku. Jednocześnie można zauważyć, że wyniki te są zbliżone do wyników uzyskanych w eksperymencie 1. W punktach tych nie wprowadzono żadnego zakłócenia można uznać, że uzyskane wyniki są prawidłowe.
- Czas realizacji procesu transportowego uzyskał różne wyniki dla kolejnych replikacji, spowodowane jest to wystąpieniem zakłóceń na trasie przejazdu.
- Całkowity czas realizacji procesu uzyskał różne wyniki w kolejnych replikacjach, co jest podyktowane uzyskaniem różnych wyników dla wszystkich trzech czasów składowych (obserwowana wartość nr 1, 2 i 3).
- Ilość zużytego paliwa jest różna dla kolejnych replikacji, co wynika z faktu występowania zakłóceń, które wpływają na prędkość przejazdu samochodu ciężarowego. Prędkość przejazdu ma bezpośredni wpływ na wartość zużywanego paliwa. Wartość zużytego paliwa to 301.056 złotych.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że w tym eksperymencie wystąpiły zakłócenia. Jednak niemożliwe jest określenie, które zakłócenia wystąpiły oraz w jaki sposób wpłynęły na realizację procesu transportowego. Aby ustalić te dwa elementy należy szczegółowo przeanalizować wykres Gantta dla stanów samochodu ciężarowego. Wykres ten tworzony jest dla każdej replikacji. Na rysunku 7.3.4 przedstawiono wykres Gantta dla wybranej replikacji w celu jak najlepszego pokazania zależności pomiędzy występowaniem zakłócenia a stanem pojazdu. Czas trwania zatrzymania samochodu ciężarowego z powodu określonych umiejętności kierowcy jest równy iloczynowi współczynnika wydłużenia czasu (w tym eksperymencie 0,05) i czasu realizacji procesów realizowanych przez kierowcę (w tym eksperymencie $8,18-6,01=2,17$), co daje wynik 0,11. Na tej podstawie można stwierdzić, iż zakłócenie odwzorowujące umiejętności kierowcy działa zgodnie z założeniami. Podczas analizy wykresu Gantta dla analizowanego modelu wystarczy skupić się na stanach występujących do momentu pojawienia się w wykresie po raz drugi stanu „IDLE”. W związku z jednokrotną realizacją transportu z punktu załadunku do punktu rozładunku, moment rozpoczęcia stanu „IDLE” po raz drugi. Można uznać za moment ukończenia realizacji procesu.



Rys. 7.3.4. Wykres Gantta dla stanów samochodu ciężarowego

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie legendy do wykresu oraz znajomości modelu i sposobu modelowania zaburzeń określić można, że podczas wybranej replikacji wystąpiły następujące zakłócenia:

- Zablokowanie samochodu ciężarowego w punkcie poboru opłat (stan „**BLOCKED**”). Z tym samym stanem mamy do czynienia w sytuacji zablokowania pojazdu w wyniku udziału w zdarzeniu drogowym, jednak wtedy pojazd zostaje zablokowany do końca trwania symulacji. W analizowanym przypadku wystąpiło zablokowanie w PPO.
- Zablokowanie samochodu ciężarowego w związku z wystąpieniem przerwy w czasie pracy (stan „**BUSY**”).
- Zablokowanie samochodu ciężarowego w wyniku wydłużenia czasu pracy związanej z poziomem umiejętności kierowcy nr 1 (stan „**SCHEDULED DOWN**”).

Po przeanalizowaniu uzyskanych wyników oraz wykresu Gantta można stwierdzić, że model generuje poprawne, wytłumaczalne wyniki. Zatem modelowanie zakłóceń zostało prawidłowo wprowadzone do modelu.

7.3.3. Eksperymenty 3-9

Kolejne eksperymenty postanowiono przeprowadzić tak, by pokazać wystąpienie poszczególnego zakłócenia (lub kilku z nich) oraz jego wpływu na obserwowane wartości w procesie (poszczególne czasy realizacji, zużycie paliwa). W tym celu ustalana jest wartość dla zmiennych definiujących prawdopodobieństwo wystąpienia danego zdarzenia na 1 (w sytuacji gdy zdarzenie ma wystąpić), a w przeciwnym przypadku na 0. Reszta wartości pozostaje bez zmian. Pozwoli to na pokazanie wpływu konkretnego zakłócenia na analizowany proces logistyczny. Tabela 7.3.6 przedstawia krótką charakterystykę poszczególnych eksperymentów wraz z określeniem numeru zmiennej oraz wartości jaką przyjmuje. W rozważaniach pominięto występowanie zakłócenia związanego z umiejętnościami kierowcy (na podstawie eksperymentu drugiego zaprezentowano i zweryfikowano sposób działania tego zakłócenia). Pozwoli to na dokładniejszą analizę pozostałych zdarzeń niepożądanych.

Tab. 7.3.6. Charakterystyka eksperymentów 3-9

Nr ekspery- mentu	Występujące zakłócenie	Nr zmiennej	Definiowana wartość
3.	Zdarzenie drogowe w Kościanie typu 1	17	1
		18	0
4.	Trudne warunki pogodowe w miejscu Przyborki	27	1
5.	Trudne warunki pogodowe w miejscu Stare Miasto	36	1
6.	Zdarzenie drogowe w Kościanie typu 1 + Trudne warunki pogodowe w miejscu Przyborki	17	1
		18	0
		27	1
7.	Zdarzenie drogowe w Kościanie typu 1 + Trudne warunki pogodowe w miejscu Stare Miasto	17	1
		18	0
		36	1
8.	Trudne warunki pogodowe w miejscu Przyborki + Trudne warunki pogodowe w miejscu Stare Miasto	27	1
		36	1
9.	Zdarzenie drogowe w Kościanie typu 1 + Trudne warunki pogodowe w miejscu Przyborki + Trudne warunki pogodowe w miejscu Stare Miasto	17	1
		18	0
		27	1
		36	1

Źródło: opracowanie własne

Otrzymane wyniki przeprowadzanych eksperymentów zestawiono w tabeli 7.3.7. W celu poprawienia czytelności tabeli zmieniono nazwy niektórych nagłówków *Nr obserwowanej wartości* na *NrW*, a nagłówek *Przedział wartości dla obserwowanej zmiennej przy założeniu 95% przedziału ufności* na *Przedział wartości*.

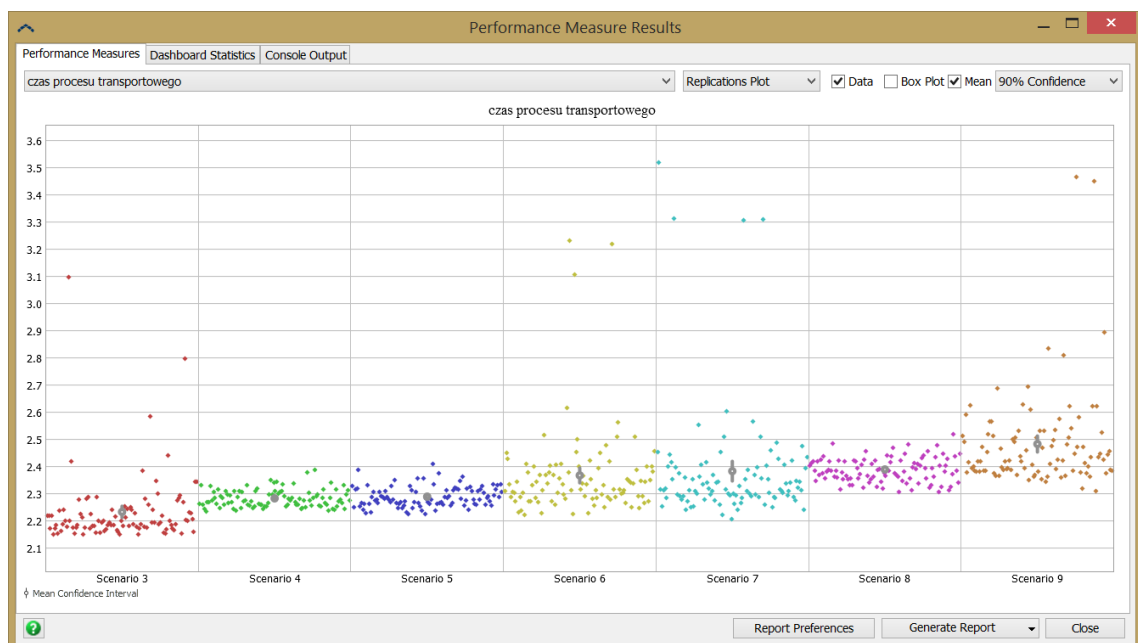
Tab. 7.3.7. Eksperyment 3-9 – wyniki

Eksperyment nr 3			Eksperyment nr 4	
NrW	Średni wynik	Przedział wartości	Średni wynik	Przedział wartości
1.	5.95 [h]	(5.930 ; 5.967) [h]	5.94 [h]	(5.924 ; 5.956) [h]
2.	1.73 [h]	(1.715 ; 1.741) [h]	1.73 [h]	(1.720 ; 1.744) [h]
3.	2.23 [h]	(2.2097 ; 2.2515) [h]	2.28 [h]	(2.2765 ; 2.2872) [h]
4.	9.91 [h]	(9.879 ; 9.934) [h]	9.95 [h]	(9.934 ; 9.974) [h]
5.	75.6 [l]	(75.481 ; 75.714) [l]	77.2 [l]	(77.156 ; 77.329) [l]
Eksperyment nr 5			Eksperyment nr 6	
NrW	Średni wynik	Przedział wartości	Średni wynik	Przedział wartości
1.	5.94 [h]	(5.929 ; 5.944) [h]	5.95 [h]	(5.923 ; 5.955) [h]
2.	1.74 [h]	(1.724 ; 1.750) [h]	1.72 [h]	(1.714 ; 1.735) [h]
3.	2.29 [h]	(2.2822 ; 2.2946) [h]	2.37 [h]	(2.3383 ; 2.3929) [h]
4.	9.97 [h]	(9.949 ; 9.989) [h]	10.03 [h]	(9.998 ; 10.060) [h]
5.	77.2 [l]	(77.144 ; 77.349) [l]	77.7 [l]	(77.550 ; 77.862) [l]
Eksperyment nr 7			Eksperyment nr 8	
NrW	Średni wynik	Przedział wartości	Średni wynik	Przedział wartości
1.	5.94 [h]	(5.919 ; 5.955) [h]	5.95 [h]	(5.930 ; 5.961) [h]
2.	1.74 [h]	(1.725 ; 1.747) [h]	1.73 [h]	(1.722 ; 1.746) [h]
3.	2.38 [h]	(2.3442 ; 2.4161) [h]	2.39 [h]	(2.3789 ; 2.3939) [h]
4.	10.05 [h]	(10.011 ; 10.096) [h]	10.07 [h]	(10.046 ; 10.086) [h]
5.	77.6 [l]	(77.442 ; 77.787) [l]	78.9 [l]	(79.791 ; 79.039) [l]
Eksperyment nr 9				
NrW	Średni wynik	Przedział wartości		
1.	5.94 [h]	(5.9321 ; 5.954) [h]		
2.	1.75 [h]	(1.737 ; 1.762) [h]		
3.	2.48 [h]	(2.4526 ; 2.5151) [h]		
4.	10.17 [h]	(10.131 ; 10.207) [h]		
5.	79.5 [l]	(79.333 ; 79.705) [l]		

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że:

- Czas realizacji procesów w punkcie załadunkowym oraz rozładunkowym uzyskał różne, lecz zbliżone wyniki dla każdej replikacji i każdego eksperymentu. Spowodowane jest to faktem zastosowania rozkładu normalnego do określenia czasu załadunku oraz rozładunku oraz pozostawie tych wartości bez zmian dla każdego eksperymentu.
- Czas realizacji procesu transportowego wzrasta wraz z występowaniem kolejnego zakłócenia (rys. 7.3.5). Ponadto zauważyć można, że w sytuacji wystąpienia tylko zakłócenia dotyczącego trudnych warunków pogodowych (eksperyment 4 oraz 5) średni czas uzyskano na zbliżonym poziomie. Pomimo wprowadzenia takich samych wartości dla zmiennych dotyczących zasięgu zakłócenia oraz prędkości poruszania się w jego obrębie uzyskano inne wyniki, co wynika z zastosowania losowości tych wartości.



Rys. 7.3.5. Zakres zmiennej czas procesu transportowego
Źródło: opracowanie własne (wyniki z programu FlexSim)

- Ilość zużytego paliwa ma tendencje wzrostowe wraz z występowaniem kolejnych zakłóceń. Z występowaniem kolejnego zakłócenia wiąże się pokonanie następnego wycinka dystansu z mniejszą prędkości, co przekłada się na zwiększenie zużywanego paliwa. Wartość zużytego paliwa dla każdego eksperymentu zestawiono w tabeli 7.3.8.

Tab. 7.3.8. Koszt przejazdu dla eksperymentów 3-9

Nr eksperymentu	Średnie zużycie paliwa [l]	Koszt zużytego paliwa [PLN]
3.	75.6	296.352
4.	77.2	302.624
5.	77.2	302.624
6.	77.7	304.584
7.	77.6	304.192
8.	78.9	309.288
9.	79.5	311.64

Źródło: opracowanie własne

Różnice w wartości zużytego paliwa wydają się nieduże. Jednak należy pamiętać, że analizowane jest jedno zlecenie transportowe, w ramach którego środek transportowy pokonuje dystans równy 157 kilometrom. Gdyby rozważyć wszystkie zlecenia w ujęciu miesięcznym różnice wyszłyby znaczne. Zakłócenia wpływają zarówno na czas realizacji zlecenia jak i koszt funkcjonowania przedsiębiorstwa.

7.4. Podsumowanie rozdziału

Przeprowadzone eksperymenty pozwoliły zweryfikować zbudowany model symulacyjny wraz z zaprojektowanymi zakłóceniami. Analiza wyników poszczególnych eksperymentów pokazuje, że model generuje prawidłowe, wytłumaczalne wyniki. Jego zachowanie dla określonych przypadków jest zgodne z założeniami. Dlatego też można stwierdzić, iż opracowana i zaprezentowana w podrozdziałach 6.2 oraz 6.3 metodyka modelowania zakłóceń jest prawidłowa. Model nie został poddany walidacji, ponieważ przeprowadzone eksperymenty mają czysto hipotetyczne wartości, w celu pokazania tylko i wyłącznie funkcjonowania tych zakłóceń. Nie ustalano rzeczywistych danych wejściowych dla nich, dlatego też nie można poddać go walidacji. Jednak celem tej pracy nie była optymalizacja procesu logistycznego na określonej trasie, dla której należałoby wtedy wprowadzić rzeczywiste dane, lecz celem było opracowanie metodyki modelowania zakłóceń procesów logistycznych. Dlatego też zdecydowano się na takie rozwiązanie.

Przeprowadzenie szeregu eksperymentów na zbudowanym modelu pozwoliło na uzyskanie podstawowych informacji dotyczących realizacji procesu logistycznego, czyli czasu wykonania czynności w poszczególnych punktach i czasu przejazdu pomiędzy punktem załadunku oraz rozładunku. Ponadto, dla transportu zewnętrznego określono koszt przejazdu oraz ilość wygenerowanych emisji spalin. Koszt zużytego

paliwa oraz całkowity koszt realizacji zlecenia dla każdego eksperymentu pokazano w tabeli 7.4.1.

Tab. 7.4.1. Zestawienie kosztów dla każdego eksperymentu

Nr eksperymentu	Średnie zużycie paliwa [l]	Koszt zużytego paliwa [PLN]	Całkowity koszt realizacji zlecenia transportowego [PLN]
1	75.28	295.0976	421.098
2	76.8	301.056	427.056
3.	75.6	296.352	422.352
4.	77.2	302.624	428.624
5.	77.2	302.624	428.624
6.	77.7	304.584	430.584
7.	77.6	304.192	430.192
8.	78.9	309.288	435.288
9.	79.5	311.64	437.640

Źródło: opracowanie własne

Analizując informacje zawarte w tabeli 7.4.1 zauważyć można, że koszt zużytego paliwa w eksperymencie z wszystkim zakłóceniami jest o 5% większy od kosztu paliwa w eksperymencie bez zakłóceń. W tym przypadku różnica wynosi zaledwie 16,5 złote. Jednak przekładając to na skalę zleceń transportowych realizowanych w trakcie miesiąca, roku otrzymano by znacznie większe wartości. Dlatego też opłacalna jest dla przedsiębiorstwa analiza występujących zakłóceń i ich skutków oraz określenie potencjalnych algorytmów postępowania w sytuacji wystąpienia zagrożenia (np. zmiana trasy przejazdu przed dotarciem do zakłócenia). W sytuacji rozważania zmiany trasy przejazdu należałoby uwzględnić dodatkowo aspekt czasowy.

Korzystając z dostępnego w oprogramowaniu FlexSim modułu zwanego Eksperymentatorem możliwe jest określenie przedziałów wartości dla czasu realizacji procesu transportowego, co umożliwia udzielenie odpowiedzi na sformułowane pytanie na wstępie rozprawy: „Jaki jest termin załadunku Z_0 , który zagwarantuje, z zadanyam prawdopodobieństwem P_d , dostawę w terminie $Ra_0 \in (Ra'; Ra)?$ ”, pod warunkiem znajomości terminu Ra_0 .

8. Podsumowanie i dalsze kierunki badań

Założony w niniejszej pracy cel został osiągnięty – opracowano metodykę modelowania zakłóceń procesów logistycznych. Po przeprowadzeniu badań literaturowych sklasyfikowano występujące w procesach logistycznych zakłócenia ze względu na podmiot odpowiedzialny za ich powstanie lub przedmiot, którego dotyczą. W ramach tej klasyfikacji wyróżniono czternaście zakłóceń, dla których opisano metodykę modelowania. Dla każdego z zdefiniowanych zakłóceń zaprezentowano teoretycznie metodę modelowania symulacyjnego, a także ujęcie analityczne. W ramach ujęcia analitycznego zdefiniowano następujące zmienne:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia,
- rozkład czasu zablokowania pojazdu w punkcie definiowany za pomocą rozkładu normalnego, przy jednoczesnym określeniu wartości minimalnej oraz maksymalnej,
- zasięg działania zakłócenia definiowany jako obszar o określonym promieniu,
- prędkość przejazdu w obszarze działania zakłócenia określana za pomocą rozkładu normalnego, przy jednoczesnym określeniu wartości minimalnej oraz maksymalnej.

Następnie dla pięciu wybranych zakłóceń opisano szczegółową metodykę modelowania z wykorzystaniem oprogramowania symulacyjnego FlexSim. Zakłócenia wybrano na podstawie tabeli 6.2.1, w której pogrupowano je ze względu na metodę modelowania. Z każdej grupy wybrano jedno zakłócenie. Pominięto grupę zakłóceń, które modelowane są z wykorzystaniem wbudowanego mechanizmu MTBF/MTTR, ponieważ w tych przypadkach skorzystano z wbudowanego rozwiązania. Dla każdego z pięciu zakłóceń zbudowano osobny obiekt w oprogramowaniu symulacyjnym. Obiekty odwzorowujące zakłócenia zaprojektowano na bazie dwóch dostępnych elementów w oprogramowaniu symulacyjnym FlexSim: obiektu stałego (Fixed Resource) oraz obiektu mobilnego (Task Executer). Prezentując metodykę modelowania symulacyjnego dla wybranych zakłóceń, dla każdego z nich zdefiniowano:

- funkcję celu,
- oraz zmienne decyzyjne.

Zaprezentowano również napisany kod programu w projektowanych obiektach.

W celu weryfikacji opracowanej metodyki modelowania zakłóceń zbudowano model symulacyjny przedstawiający proces logistyczny z uwzględnieniem zaprojektowanych zdarzeń niepożądanych. Podczas budowy modelu symulacyjnego postępowano zgodnie z przedstawionymi na rysunku 3.2.3 etapami prac. Elementy systemu logistycznego, tj.: środek transportowy, punkt załadunku i rozładunku zostały zamodelowane zgodnie z opisaną w rozdziale piątym metodyką ich modelowania. Po przeprowadzeniu eksperymentów na zbudowanym modelu, a następnie analizie uzyskanych wyników można stwierdzić, iż opracowana metodyka modelowania zakłóceń jest poprawna. Zaprojektowany model symulacyjny generuje prawidłowe, logiczne wyniki. Wraz z wzrostem ilości występujących zakłóceń wydłuża się czas realizacji procesu. Ponadto zauważyć można, że w sytuacji wystąpienia tylko zakłócenia dotyczącego trudnych warunków pogodowych (eksperyment 4 oraz 5) średni czas uzyskano na zbliżonym (lecz nie identycznym) poziomie, co wynika z faktu zastosowania rozkładów statystycznych w definicji poszczególnych zmiennych zakłócenia.

Podczas realizacji eksperymentów każdorazowo określono czas wykonania czynności w punkcie załadunkowym i rozładunkowym oraz czas przejazdu pomiędzy tymi punktami. Dodatkowo, dla transportu zewnętrznego określono koszt przejazdu, który zależy od ilości zużytego paliwa przez samochód ciężarowy oraz opłat poniesionych w związku z przejazdem płatnymi odcinkami dróg. Korzystając z dostępnego w oprogramowaniu FlexSim modułu zwanego Eksperymentatorem, dla czasu realizacji procesu transportowego, zdefiniowano przedziały wartości dla tego czasu, co umożliwia udzielenie odpowiedzi na sformułowane na wstępie rozprawy pytanie: „Jaki jest termin załadunku Z_0 , który zagwarantuje, z zadany prawdopodobieństwem P_d , dostawę w terminie $Ra_0 \in (Ra'; Ra) ?$ ”, pod warunkiem znajomości terminu Ra_0 .

Opracowana metodyka modelowania zakłóceń procesów logistycznych pozwala na jej dalszy rozwój. Wyróżniono następujące kierunki dalszych badań:

- 1) Opracowanie metodyki modelowania symulacyjnego dla pozostałych sklasyfikowanych zakłóceń procesów logistycznych.
- 2) Rozbudowa mierników służących do oceny procesu logistycznego.
- 3) Budowa modelu symulacyjnego uwzględniającego dodatkowo punkty przeładunkowe, w celu pokazania bardziej złożonego systemu logistycznego.

- 4) Rozbudowa sposobu modelowania zakłóceń zbudowanych na bazie obiektu Fixed Resource, w celu wprowadzenia dynamicznych zmian obszaru działania zdarzenia (np. trudnych warunków pogodowych) oraz wpływu na obiekty znajdujące się w jego obszarze działania. Dążenie do stworzenia efektu narastania i wygaszania działania zakłócenia. Przykładowo: wraz z upływem czasu zasięg oraz wpływ trudnych warunków pogodowych na pozostałe obiekty ulega zmniejszeniu, aż do całkowitego wygaśnięcia tego zakłócenia.
- 5) Podjęcie współpracy z przedsiębiorstwem realizującym procesy dystrybucji towarów w sieci w celu walidacji opracowanej metodyki modelowania zakłóceń procesów logistycznych.
- 6) Przeprowadzenie badań w celu zebrania rzeczywistych danych wejściowych dla sklasyfikowanych zakłóceń.
- 7) Zaimplementowanie do modelu rzeczywistych danych, zebranych przy współpracy z wspomnianym przedsiębiorstwem.

Niewątpliwie kolejnym krokiem w ramach opracowanej metodyki modelowania zakłóceń procesów logistycznych jest zastosowanie jej dla rzeczywistego przypadku procesu logistycznego. Potencjalnym obszarem zastosowań opracowanej metodyki są sieci dystrybucji. Modelowanie procesów realizowanych w sieciach dystrybucyjnych i ich zakłóceń według opracowanej metodyki modelowania zakłóceń powinno przyczynić się do lepszego zarządzania procesem przepływu dóbr i osób w ramach łańcucha dostaw.

Bibliografia

1. Allwood J.M., Lee J.H., 2005, The design of an agent for modelling supply chain network dynamics, *International Journal of Production Research*, 43 (22)
2. Apanowicz J., 2005, Metodologiczne uwarunkowania pracy naukowej. Prace doktorskie. Prace habilitacyjne, Difin, Warszawa
3. Banks J., Carson II J.S., Nelson B.L., Nicol D.M., 2004, Discrete-event system simulation – 4th ed., Prentice Hall
4. Baykasoglu A., Kaplanoglu V., 2011, A multi-agent approach to load consolidation in transportation, *Advances in Engineering Software*, 42
5. Bazewicz M., Collen A., 1995, Podstawy metodologiczne systemów ludzkiej aktywności i informatyki, Wyd. Polit. Wrocławskiej, Wrocław
6. Beaverstock M., Greenwood A., Lavery E., Nordgren W., 2011, Applied Simulation. Modeling and Analysis using Flexsim, Flexsim Software Products, Inc.
7. Bertalanffy L. von, 1984, Ogólna teoria systemów. Podstawy, rozwój, zastosowania, PWN, Warszawa
8. Bodendorf F., Zimmermann R., 2005, Proactive Supply-Chain Event Management with Agent Technology, *International Journal of Electronic Commerce*
9. Boer C.A., Saanen Y.A., 2014, Plan Validation for Container Terminals, Winter Simulation Conference, materiały konferencyjne
10. Borycka B., Kempa E., 2012, Istota giełd transportowych na przykładzie giełdy TimoCom, [W:] Kościelniak H. (red.), Zarządzanie nr 7, Sekcja wydawnictw Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa
11. Braglia M., Carmignani G., Frosolini M., Zammori F., 2012, Data classification and MTBF prediction with a multivariate analysis approach, *Reliability Engineering and System Safety* (97)
12. Brussaard L.A., Kruiskamp M.M., Oude Essink M.P., 2004, The Dutch Model for the Quantitative Risk Analysis of Road Tunnels, [W:] Spitzer C. i in. (red.), Probabilistic Safety Assessment and Management, Springer
13. Cassandra C.G., Lafortune S., 2008, Introduction to Discrete Event Systems Second Edition, Springer
14. Cempel C. 2003a, Nowoczesne zagadnienia metodologii i filozofii badań – wybrane zagadnienia dla studiów doktoranckich i podyplomowych, ITE, Radom
15. Cempel C. 2003b, Teoria i inżynieria systemów: zasady i zastosowania myślenia systemowego – dla studentów Wydziałów Politechnicznych; Instytut Mechaniki Stosowanej Politechniki Poznańskiej, dokument elektroniczny

16. Chen S., Peng H., Liu S., Yang Y., 2009, A Multimodal Hierarchical-based Assignment Model for Integrated Transportation Networks, *Journal of Transportation System Engineering and Information Technology*, Vol. 9, Issue 6
17. Clark N., Thompson G., Delgado O., 2009, Modeling Heavy-duty Vehicle Fuel Economy Based on Cycle Properties, West Virginia University CAFEE. Center for Alternative Fuels, Engines and Emissions
18. Clausen U., Dabidian P., Diekmann D., Goedicke I., Pötting M., 2013, Analysis of Assignment Rules In a Manually Operated Distribution Warehouse, Winter Simulation Conference, materiały konferencyjne
19. Dybicz T., 2005, Pakiet oprogramowania Visum jako narzędzie do modelowania ruchu transportu publicznego w Warszawie, Międzynarodowa konferencja i wystawa: "Transport publiczny w Warszawie kluczem harmonijnego rozwoju stolicy Polski", 10-11 październik 2005r. Pałac Kultury i Nauki
20. European Conference of Ministers of Transport (ECMC), 2007, Managing Urban Traffic Congestion
21. Elbert R., Walter F., 2014, Information Flow Along The Maritime Transport Chain – A Simulation Based Approach To Determine Impacts of Estimated Time of Arrival Messages on The Capacity Utilization, Winter Simulation Conference, materiały konferencyjne
22. Engelhardt J., 2007, Rozdział pt. Infrastruktura transportu samochodowego, [W:] Rydzkowski W., Wojewódzki-Król K., (red.), *Transport*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
23. Evans J.R., Olson D.L., 2002, Introduction to simulation and risk analysis, Prentice Hall
24. Fijałkowski J., 2003, Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
25. Fishman G.S., 1981, Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody, PWE, Warszawa.
26. Gaschi-Uciecha A., 2015, Zakłócenia w procesach logistycznych przedsiębiorstw produkcyjnych – badania literaturowe, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie*, z. 78
27. Gheorghe A., Birchmeier J., Kröger W., 2004., Advanced Spatial Modelling for Risk Analysis of Transportation Dangerous Goods, [W:] Spitze, C. i in. (red.), *Probabilistic Safety Assessment and Management*, Springer
28. Gołemska E., Szymczak M., 2004, Logistyka międzynarodowa, PWE, Warszawa
29. Gordon G., (1974), Symulacja systemów, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa
30. Gospodarek T., 2009, Modelowanie w naukach o zarządzaniu oparte na metodzie programów badawczych i formalizmie reprezentatywnym, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław

31. Grajek K., Hoffa P., Karcz M., 2012, Koncepcja usprawnienia elementów układu komunikacyjnego w Porcie Lotniczym – Ławica, praca inżynierska, Politechnika Poznańska
32. Grzybowska K., Hoffa P., 2015, Approving with application of an electronic bulletin board, as a mechanism of coordination of actions in complex systems [W:] Sigeru Omatu i in. (red.), Distributed Computing and Artificial Intelligence, 12th International Conference, Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer Heidelberg
33. Hammer M., 1999, Reinżynieria i jej następstwa, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
34. Hamrol A., Mantura W., 1998, Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka. PWN, Warszawa – Poznań
35. Hoffa P., Pawlewski P., Borucki J., 2013, Planowanie łańcucha dostaw z wykorzystaniem „zdalnego” eksperymentu symulacyjnego, [W:] Relich M., Monografia Informatyczne Systemy Zarządzania, tom 4, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej
36. Hoffa P., Pawlewski P., 2014a, Agent Based Approach for Modeling Disturbances in Supply Chain, [W:] Corchado J.M. et al. (red.) Highlights of Practical Applications of Heterogeneous Multi-Agent Systems, Communications in Computer and Information Science 430, Springer Heidelberg
37. Hoffa P., Pawlewski P., 2014b, Models of Organizing Transport Tasks Including Possible Disturbances and Impact of Them on the Sustainability of the Supply Chain, [W:] Pawlewski P., Greenwood A. (red.), Process Simulation and Optimization in Sustainable Logistics and Manufacturing, Eco Production. Environmental Issues in Logistics and Manufacturing, Springer Heidelberg
38. Hoffa P., Jasiulewicz-Kaczmarek M., Pawlewski P., 2015, Multidimensional approach to the supply chain, IFAC – PapersOnLine, Vol. 48, Issue 2
39. Hoffa P., Pawlewski P., 2015, Simulation of Supply Chain with Disturbances Using Flexsim – Case Study [W:] Bajo J. et al. (red.) Highlights of Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Sustainability, Communications in Computer and Information Science 524, Springer Heidelberg
40. Jacyna M., 2009a, Modelowanie i ocena systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej
41. Jacyna M., 2009b, Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
42. Jacyna M. i in., 2014, Kształtowanie systemów w wybranych obszarach transportu i logistyki, praca zbiorowa pod redakcją M.Jacyny, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
43. Jain V., Sharma A., Subramanian L., 2012, Road traffic congestion in the developing world, Proceeding ACM DEV'12, Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Computing for Development archive, Article No. 11

44. Janssen M., 2005, The architecture and business value of a semi-cooperative, agent-based supply chain management system, *Electronic Commerce Research and Applications*, 4 (4)
45. Jasiulewicz-Kaczmarek M., 2005, *Metodyka projakościowego organizowania systemu utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie przemysłowym*, rozprawa doktorska, Poznań
46. Jasiulewicz-Kaczmarek M., Bartkowiak T., 2016, Improving the performance of a filling line based on simulation, *Proceedings of ModTech2016 International Conference*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering
47. Karkula M., 2013, *Modelowanie i symulacja procesów logistycznych*, Kraków, Wydawnictwo AGH, rozprawy monograficzne
48. Kawa A., 2008, Organizowanie łańcuchów dostaw z wykorzystaniem technologii agentowej na przykładzie branży komputerowej, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport* 01/2008; *Systemy Logistyczne, Teoria i Praktyka*
49. Kawa A., 2011, *Konfigurowanie łańcucha dostaw. Teoria, instrumenty i technologie*. Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu
50. Kawa A., 2014, Elektroniczna giełda transportowa jako podmiot sektora usług logistycznych, *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu* 01/2014
51. Keechoo C., Jang J., 2000, Development of a transit network from a street map database with spatial analysis and dynamic segmentation, *Transportation Research Part C* (8)
52. Kisperska-Moroń D., 2009, *Czynniki rozwoju wirtualnych łańcuchów dostaw*, Wyd. Akademii Ekonomicznej im. Karola Adamieckiego, Katowice
53. Komenda Główna Policji, 2015, *Wypadki drogowe w Polsce w 2014 roku*, Warszawa. Raport dostępny on-line: (<http://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,Wypadki-drogowe-raporty-roczne.html>)
54. Korczak J., 2010, *Logistyka: Systemy. Modelowanie. Informatyka*, Wyd. BEL Studio Sp. z o.o., Warszawa
55. Korzeń Z., 1998, *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania*. Tom 1. Infrastruktura, technika, informacja, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań
56. Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, 2015, *Stan bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz działania realizowane w tym zakresie w 2014 r.*, Gdańsk. Raport dostępny on-line (<http://www.krbrd.gov.pl/72-badania.html>)
57. Kramarz M., Kramarz W., 2012, Analiza zakłóceń w wybranym ogniwie łańcucha dostaw branży motoryzacyjnej, *Logistyka*, nr 4/2012
58. Krawczyk S., 2001, *Zarządzanie procesami logistycznymi*, PWE, Warszawa, 2001.
59. Krejci C.C., Beamon B.M., 2012, Modeling food supply using Multi-Agent Simulation, *Winter Simulation Conference*

60. Kucharski R., 2012, Tło teoretyczne dla adaptacyjnego, dynamicznego modelu wyboru ścieżki w modelu ruchu, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, Materiały Konferencyjne, Nr 2(98)
61. Lau J.S.K., Huang G.Q., Mak K.L., 2002, Impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a multi-agent simulation study, [W:] Proceedings of the 30th international conference of computers & industrial engineering, 29 June–2 July Tinos Island, Greece
62. Li J., Sheng Z., 2011, A multi-agent model for the reasoning of uncertainty information of supply chains, [W:] International Journal of Production Research, Vol. 49, No. 19, Taylor&Francis Group
63. Liang W., Huang C., 2006, Agent-based demand forecast in multi-echelon supply chain, Decision Support Systems, 42 (1)
64. Lu H., Shi Y., 2007, Complexity of Public Transport Networks, Tsinghua Science and Technology, Volume 12, Number 2, April 2007
65. Łatuszyńska M., 2011, Metody symulacji komputerowej – próba klasyfikacji logicznej, Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management, Nr 41
66. Macal C.M., North M.J., 2013, Introductory tutorial: Agent-Based Modeling and Simulation, Winter Simulation Conference, materiały konferencyjne.
67. Machaczka J., 1998, Zarządzanie rozwojem organizacji. Czynniki, modele, strategia, diagnoza, PWN, Warszawa – Kraków
68. Mangina E., Vlachos I.P., 2005, The changing role of information technology in food and beverage logistics management: beverage network optimization using intelligent agent technology, Journal of Food Engineering, 70 (3)
69. Marley K. A., 2006, Mitigating Supply Chain Disruptions: Essays On Lean Management, Interactive Complexity And Tight Coupling, praca doktorska, The Ohio State University
70. Marseguerra M., Zio E., Bianchi M., 2003, A fuzzy model for the estimate of the accident rate in road transport of hazardous materials, [W:] Bedford & van Gelder (red.), Safety and Reliability, Swets & Zeitlinger, Lisse
71. Merksiz J., Nowakowski T., Smalko Z., 2007, Rozdział pt. „Bezpieczeństwo w transporcie – wybrane zagadnienia”, [W:] Liberadzki B., Mindura L. (red.), Uwarunkowania rozwoju systemu transportowego Polski, Wydawnictwo Instytutu Technologii eksploatacji – PIB, Warszawa-Radom
72. Mielczarek, B., 2009, „Modelowanie symulacyjne w zarządzaniu. Symulacja dyskretna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław
73. Mishkovski I., Biey M., Kocarev L., 2011, Vulnerability of complex networks, Common Nonlinear Science and Numerical Simulation, volume 16, issue 1, Elsevier.

74. Nawarecki E., Koźlak J., 2009, Agentowy model systemu logistycznego, *Automatyka*, tom 13, zeszyt 2
75. Naylor T.H., 1974, Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych, PWN, Warszawa
76. Norma BS 25999:2007, Business continuity management. Specification
77. Norma ISO 9000:2015, Terminologia
78. Pawlewski, P., Hadaś, Ł., Klimarczyk, G., Werner, K., Wyrwicka, M.K., 2011, Raport z symulacji procesu transformacji wiedzy, FORESIGHT, Poznań
79. Pawlewski, P., 2013a, Multimodal Approach to Model and Design Supply Chain, Manufacturing Modelling, Management, and Control, Volume 7, Part 1
80. Pawlewski, P., 2013b, Projektowanie Systemów i Procesów Logistycznych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej
81. Pawlewski, P., Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Bartkowiak T., Hoffa-Dąbrowska P., 2016, Validation of simulation model of the filling line failures, *Journal of KONBiN* (zaakceptowany, w druku)
82. Powierża, L., 1997, Zarys inżynierii systemów bioagrotechnicznych, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom; Politechnika Warszawska, Płock
83. Pszczołowski T., 1978, Mała encyklopedia prakseologii i teorii organizacji, Ossolineum, Wrocław
84. Sadowski, W., 1978, Podstawy ogólnej teorii systemów, Analiza logiczno-metodologiczna, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa
85. Schriber T.J., Brunner D.T., 2014, Inside Discrete-Event Simulation Software: How It Works And Why It Matters, Winter Simulation Conference, materiały konferencyjne
86. Shrestha S., Mayer R.H., 2008, Modeling of Air Traffic Arrival Operations Through Agent-Based Simulation, Winter Simulation Conference
87. Siebers P.O., Macal C.M., Garnett J., Buxton D., Pidd M., 2010, Discrete-Event Simulation is Dead, Long Live Agent-Based Simulation!, *Journal of Simulation*, 4(3)
88. Słowiński, B., 2010, Inżynieria zarządzania procesami logistycznymi, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin
89. Słownik języka polskiego, t.2 i t.3, 1982, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, s. 144 (t.2), s. 914 (t.3)
90. Stajniak M. Hajdul M., Foltyński M., Krupa A., 2008, Transport i spedycja. Podręcznik do kształcenia w zawodzie technik logistyk, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań
91. Sturrock D.T., 2012, Tips for successful practice of simulation, materiały konferencyjne Winter Simulation Conference, Berlin
92. Szczupakowski S., Pomiar kongestii w skali mikroskopowej na terenie zurbanizowanym, *Logistyka*, Numer 6/2014

93. Tixier J., Dandrieux A., Fontaine F., Bouet R., Pastor E., Planas E., 2006, Development of a risk knowledge platform dedicated to accident of dangerous goods transportation, [W:] Guedes Soares & Zio (red.), Safety and Reliability for Managing Risk, Taylor & Francis Group, London
94. Twaróg J., 2005, Mierniki i wskaźniki logistyczne, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań
95. Twaróg S., 2016, Rozdział pt. „System” [W:] Kauf S., Płaczek E., Szołtysek J., Twaróg S., Vademecum logistyki, Difin
96. Umeda S., 2013, Simulation Analysis of The Supply Chain Systems With Reverse Logistics, Winter Simulation Conference, materiały konferencyjne
97. Wappa P., Halicka K., 2011, Znaczenie i źródło kongestii transportowej na przykładzie białostockiej aglomeracji miejskiej, Economy and Management (4)
98. Wiczerzycki W., Wielński J., 2003, Zastosowanie technologii agentowej w logistyce, Logistyka, 4/2003
99. Xu Q., Zu Z., Xu Z., Zhang W., Zheng T., 2013, Space P-Based Empirical Research on Public Transport Complex Networks in 330 Cities of China, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, Vol. 13, Issue 1
100. Yang X.-H., Chen G., Sun B., Chen S.-Y., Wang W.-L., 2011, Bus transport network model with ideal n-depth clique network topology, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Volume 390, Issues 23-24, Elsevier
101. Yin R.K., 1994, Case Study Research; design and methods, 2nd edition, Thousand Oaks, California: Sage Publications
102. Zajdel M., Filipowicz B., 2008, Dobór metod optymalizacyjnych dla sieci transportowych, Automatyka, Tom 12, Zeszyt 3
103. Zhan F. B., Noon C. E., 1998, Shortest Path Algorithms: An Evaluation using Real Road Networks, Transportation Science, Volume 32, Issue 1
104. Zhan H.-P., Huang D.-C., 2011, Plan and Coordination of Agile Supply Chain Based on Multi-Agent, Energy Procedia, 13, Elsevier
105. Żochowska, R., 2012, Modelowanie wyboru drogi w transporcie indywidualnym – wybrane aspekty, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, z.86

Źródła internetowe

1. <http://www.anylogic.com> (data dostępu: 11.08.2015, 25.08.2015)
2. <https://www.arenasimulation.com> (data dostępu: 25.08.2015)
3. <http://autostrada-a2.pl/pl/index> (data dostępu: 12.03.2016)
4. <http://www.bit-poznan.com.pl> (data dostępu: 25.08.2015)
5. <http://cibt.wsei.lublin.pl> (data dostępu: 11.08.2015)
6. <http://dziurkiewicz.eu> (data dostępu: 29.03.2016)
7. <http://epoznan.pl/komunikacja-petroserwis> (data dostępu: 05.04.2016)
8. <http://www.e-mentor.edu.pl> (data dostępu: 15.08.2015)
9. <https://www.flexsim.com> (data dostępu: 12.09.2015)
10. <http://gddkia.gov.pl/pl/aprint/6636/mapa-i-spis-czarnych-punktow>
(data dostępu: 10.08.2014, 12.03.2016)
11. <http://informs-sim.org> (data dostępu: 27.07.2015)
12. <http://isap.sejm.gov.pl> (data dostępu: 15.01.2015)
13. <http://korki.epoznan.pl> (data dostępu: 13.10.2015)
14. <https://mapa.targeo.pl> (data dostępu: 01.10.2015)
15. <http://mapy.interia.pl> (data dostępu: 26.08.2015)
16. <http://www.listprzewozowy.com.pl> (data dostępu: 12.08.2015)
17. <https://maps.google.com> (data dostępu: 10.08.2014, 13.10.2015)
18. <http://www.ngk.de/pl> (data dostępu: 15.10.2015)
19. <http://noxy.eu/pl/normy-technologie-scr> (data dostępu: 15.10.2015)
20. <http://tvnmeteo.tvn24.pl/mapa-pogody> (data dostępu: 13.01.2014)
21. <http://www.pogodynka.pl> (data dostępu: 31.01.2015)
22. <http://www.pogodynka.pl/ostrezenia/klasyfikacja> (data dostępu: 31.01.2016)
23. <http://poradniktransportowy.pl> (data dostępu: 24.07.2015)
24. <http://www.przepisy.gofin.pl> (data dostępu: 01.10.2015)
25. <http://www.v-traffic.pl> (data dostępu: 13.10.2015)
26. <http://www.viatoll.pl> (data dostępu: 10.08.2014)
27. <http://vision-traffic.ptvgroup.com> (data dostępu: 25.08.2015)
28. <http://teleroute.co.uk> (data dostępu: 24.07.2015)
29. <http://www.timocom.pl> (data dostępu: 24.07.2015)
30. <http://www.trans.eu> (data dostępu: 24.07.2015)
31. <http://www.traxelektronik.pl> (data dostępu: 26.03.2015, 13.10.2015)
32. <http://www.widlowe-wozki.eu> (data dostępu: 01.04.2016)
33. <http://socilapp.put.poznan.pl> (data dostępu: 02.02.2016)

Spis rysunków

Rys. 1.2.1. Trzy-poziomowy model analizy procesów	17
Rys. 1.2.2. Zakres systemu transportowego vs systemu logistycznego	18
Rys. 1.2.3. Analizowany obszar badań w skróconym ujęciu 4-ro poziomowym	18
Rys. 1.2.4. Miejsca występowania zakłóceń analizowanych w rozprawie wraz z określeniem metody ich modelowania.....	19
Rys. 1.3.1. Przyjęta koncepcja badań.....	21
Rys. 2.2.1. Elementy systemu transportowego	26
Rys. 2.3.1. Schemat 4-ro poziomowego podejścia do analizy procesów.....	29
Rys. 3.2.1. Rozszerzony schemat klasyfikacji logicznej metody symulacji komputerowej	45
Rys. 3.2.2. Związek pomiędzy systemem, modelem i symulacją	45
Rys. 3.2.3. Czynności realizowane w kolejnych etapach badań symulacyjnych	46
Rys. 3.2.4. Miejsce symulacji w analizie procesowej	47
Rys. 3.2.5. Miejsce symulacji w procesie podejmowania decyzji	48
Rys. 3.3.1. Przykładowa trasa Czempin – Stęszew – Łódź – Piotrków Trybunalski.....	54
Rys. 3.3.2. Graf sieci transportowej Czempin – Stęszew – Łódź – Piotrków Trybunalski.....	55
Rys. 3.3.3. Graf przykładowej sieci z oznaczeniem najkrótszej ścieżki	56
Rys. 3.3.4. Poszukiwanie najkrótszej ścieżki – kroki postępowania	57
Rys. 3.3.5. Modelowanie ruchu środka transportowego – metoda 1	58
Rys. 3.3.6. Modelowanie ruchu środka transportowego – metoda 2	59
Rys. 3.3.7. Modelowanie ruchu środka transportowego – metoda 3	60
Rys. 3.4.1. Logistyczny system informacyjny integrujący operatorów z branży TSL z ogniwami łańcucha dostaw.....	66
Rys. 3.4.2. Obszary zastosowania symulacji w analizie procesów i systemów logistycznych	67
Rys. 4.2.1. Punkt załadunku – procesy cykliczne	73
Rys. 4.2.2. Punkt rozładunkowy – procesy cykliczne.....	74
Rys. 4.2.3. Procesy cykliczne w punkcie przeładunkowym – przypadek 1	76
Rys. 4.2.4. Procesy cykliczne w punkcie przeładunkowym – przypadek 2.....	76
Rys. 4.2.5. Procesy cykliczne w punkcie przeładunkowym – przypadek 3.....	77
Rys. 4.2.6. Procesy cykliczne w punkcie przeładunkowym – przypadek 4.....	77
Rys. 4.3.1. Model wahadłowy	79
Rys. 4.3.2. Wyróżnione zasoby, procesy cykliczne oraz multimodalne dla modelu wahadłowego	80
Rys. 4.3.3. Model wahadłowy – skrócona 4-ro poziomowa analiza procesów.....	81
Rys. 4.3.4. Model wahadłowy-ciągły	82
Rys. 4.3.5. Wyróżnione zasoby, procesy cykliczne i multimodalne dla modelu wahadłowo-ciągłego	83
Rys. 4.3.6. Punkt załadunku – procesy cykliczne	84
Rys. 4.3.7. Procesy cykliczne w punkcie rozładunkowym	84
Rys. 4.3.8. Model wahadłowy-ciągły – 4-ro poziomowa analiza procesów	85
Rys. 4.3.9. Model promienisty	86
Rys. 4.3.10. Model promienisty – procesy multimodalne i cykliczne	87

Rys. 4.3.11. Model promienisty – 4-ro poziomowa analiza procesów	88
Rys. 4.3.12. Model obwodowy	91
Rys. 4.3.13. Model obwodowy – procesy multimodalne i lokalne	92
Rys. 4.3.14. Model obwodowy – 4-ro poziomowa analiza procesów.....	93
Rys. 4.3.15. Model sztafetowy.....	95
Rys. 4.3.16. Model sztafetowy – procesy multimodalne i cykliczne	96
Rys. 4.3.17. Model sztafetowy – 4-ro poziomowa analiza procesów	96
Rys. 5.2.1. Punkty Poboru Opłat w Polsce	101
Rys. 5.2.2. Czarne punkty w Polsce.....	101
Rys. 5.2.3. Wyznaczona trasa w środowisku programu FlexSim	102
Rys. 5.2.4. Ustalenie odległości między punktami w środowisku programu FlexSim	102
Rys. 5.2.5. Tabela Zlecenie_PZ w środowisku programu FlexSim	103
Rys. 5.2.6. Adresowanie punktów w modelu w środowisku programu FlexSim	104
Rys. 5.3.1. Widok okna biblioteki punktów łańcucha dostaw w środowisku programu FlexSim	105
Rys. 5.3.2. Model punktu załadunkowego w kontekście skróconej analizy 4-ro poziomowej.....	106
Rys. 5.3.3. Wizualizacja punktu rozładunkowego w środowisku programu FlexSim	106
Rys. 5.3.4. Wizualizacja punktu przeładunkowego (przypadek 1) w środowisku programu FlexSim	106
Rys. 5.3.5. Wizualizacja punktu przeładunkowego (przypadek 2) w środowisku programu FlexSim	107
Rys. 5.3.6. Wizualizacja punktu przeładunkowego (przypadek 3) w środowisku programu FlexSim	107
Rys. 5.3.7. Wizualizacja punktu przeładunkowego (przypadek 4) w środowisku programu FlexSim	107
Rys. 5.4.1. Widok okna tabeli z czasami procesów w środowisku programu FlexSim.....	112
Rys. 6.2.1. Okno MTBF/MTTR	115
Rys. 6.2.2. Dodatkowe właściwości mechanizmu MTBF/MTTR	115
Rys. 6.2.3. Wykres stanów środka transportowego	116
Rys. 6.2.4. Sposoby prezentowania natężenia ruchu dla określonej trasy za pomocą Map Google	119
Rys. 6.2.5. Kongestia ruchu reprezentowana przez agenta – metoda 1	120
Rys. 6.2.6. Kongestia ruchu reprezentowana przez agenta – metoda 2	121
Rys. 6.2.7. Zdarzenie drogowe – sytuacja 1	124
Rys. 6.2.8. Zdarzenie drogowe – sytuacja 2	124
Rys. 6.2.9. Schemat blokowy tworzenia agenta dla zakłócenia trudne warunki pogodowe	127
Rys. 6.2.10. Modelowanie trudnych warunków pogodowych – metoda 1	128
Rys. 6.2.11. Modelowanie trudnych warunków pogodowych – metoda 2	129
Rys. 6.2.12. Program zapisujące informacje pogodowe	130
Rys. 6.2.13. Przykładowe zebrane dane pogodowe	131
Rys. 6.2.14. Histogram czasu obsługi jednego pojazdu na bramkach wyjazdowych z rozkładem statystycznym	134
Rys. 6.3.1. Obiekt „PPO” – zasada działania.....	148
Rys. 6.3.2. Obiekt „Collision” – informacje o sferze kolizji	149
Rys. 6.3.3. Obiekt „Collision” – zasada działania	154
Rys. 6.3.4. Obiekt „Bad_Weather” – sposób działania.....	161

Rys. 6.3.5. Schemat przesyłanych wiadomości w obiekcie „Driving_Work_Time_Measure”	167
Rys. 7.2.1. Zakres modelowanego systemu	171
Rys. 7.2.2. Przebieg trasy Widziszewo – Konin	174
Rys. 7.3.1. Pierwsza metoda prezentacji rezultatów w eksperymencie	184
Rys. 7.3.2. Druga metoda prezentacji rezultatów w eksperymencie	185
Rys. 7.3.3. Trzecia metoda prezentacji rezultatów w eksperymencie	185
Rys. 7.3.4. Wykres Gantta dla stanów samochodu ciężarowego	190
Rys. 7.3.5. Zakres zmiennej czas procesu transportowego	193

Spis tabel

Tab. 2.2.1. System – definicje.....	23
Tab. 2.3.1. Proces – definicje.....	27
Tab. 2.3.2. Przyjęte normy ilości generowanych spalin.....	32
Tab. 2.4.1. Zakłócenia w procesach logistycznych przedsiębiorstwa produkcyjnego	34
Tab. 2.4.2. Przyjęta w rozprawie klasyfikacja zakłóceń	36
Tab. 2.4.3. Klasyfikacja zakłóceń ze względu na skutki.....	39
Tab. 2.4.4. Sposoby modelowania poszczególnych zakłóceń.....	40
Tab. 3.2.1. Klasyfikacja modeli	42
Tab. 3.2.2. Symulacja – definicje	43
Tab. 3.2.3. Modelowanie agentowe w logistyce – przegląd literaturowy	51
Tab. 4.2.1. Punkt załadunku – zdefiniowane zasoby	74
Tab. 4.2.2. Punkt rozładunku – zdefiniowane zasoby.....	75
Tab. 4.2.3. Punkt przeładunkowy 4 – zdefiniowane zasoby	78
Tab. 4.3.1. Model wahadłowy – zdefiniowane zasoby	81
Tab. 4.3.2. Model wahadłowy-ciągły – zdefiniowane zasoby	85
Tab. 4.3.3. Model promienisty – zdefiniowane zasoby	90
Tab. 4.3.4. Model obwodowy – zdefiniowane zasoby.....	94
Tab. 4.3.5. Model sztafetowy – zdefiniowane zasoby	98
Tab. 6.2.1. Modelowanie poszczególnych zakłóceń – cieniowanie według metody modelowania.....	144
Tab. 6.4.1. Typ zastosowanego bazowego obiektu przy projektowaniu zakłócenia.....	168
Tab. 7.2.1. Przebieg trasy transportowej.....	174
Tab. 7.2.2. Manualny PPO – założenia do czasu uregulowania opłaty dla 80% przypadków	175
Tab. 7.2.3. Manualny PPO – założenia do czasu uregulowania opłaty dla 20% przypadków	175
Tab. 7.2.4. Zdarzenie drogowe – założenia	176
Tab. 7.2.5. Zdarzenie drogowe – założenia do promienia zasięgu działania	177
Tab. 7.2.6. Zdarzenie drogowe – założenia do prędkości przejazdu.....	177
Tab. 7.2.7. Trudne warunki pogodowe – założenia	178
Tab. 7.2.8. Trudne warunki pogodowe – założenia do promienia obrzeża zmian	178
Tab. 7.2.9. Trudne warunki pogodowe – założenia do prędkości przejazdu w obszarze obrzeża	178
Tab. 7.2.10. Czas załadunku oraz rozładunku jednej palety przez wózek jezdniowy.....	179
Tab. 7.2.11. Długość trasy pomiędzy obiektami w punkcie załadunkowym i rozładunkowym	179
Tab. 7.3.1. Wstępnie założone wartości zmiennych decyzyjnych	182
Tab. 7.3.2. Obserwowane wartości w eksperymentach	184
Tab. 7.3.3. Eksperyment 1 – wyniki	186
Tab. 7.3.4. Wstępnie założone wartości zmiennych decyzyjnych	187
Tab. 7.3.5. Eksperyment 2 – wyniki	188
Tab. 7.3.6. Charakterystyka eksperymentów 3-9.....	191
Tab. 7.3.7. Eksperyment 3-9 – wyniki	192
Tab. 7.3.8. Koszt przejazdu dla eksperymentów 3-9	194

Załączniki

Załącznik 1 – wartość spalania w zależności od prędkości poruszania się środka transportowego z silnikiem wysokoprężnym na podstawie (Clark i in., 2009, s.38).

kmh	mph	mpg	l/100km	l/100 km (wartość zaokrąglona)	l/km
0	0	2,255	125,2639	125	1,25
1	0,621118	2,324565	121,5152	122	1,22
2	1,242236	2,39413	117,9844	118	1,18
3	1,863354	2,463696	114,653	115	1,15
4	2,484472	2,533261	111,5045	112	1,12
5	3,10559	2,602826	108,5243	109	1,09
6	3,726708	2,672391	105,6993	106	1,06
7	4,347826	2,741957	103,0177	103	1,03
8	4,968944	2,811522	100,4687	100	1
9	5,590062	2,881087	98,04286	98	0,98
10	6,21118	2,950652	95,73138	96	0,96
11	6,832298	3,020217	93,52638	94	0,94
12	7,453416	3,089783	91,42067	91	0,91
13	8,074534	3,159348	89,40769	89	0,89
14	8,695652	3,228913	87,48145	87	0,87
15	9,31677	3,298478	85,63646	86	0,86
16	9,937888	3,368043	83,86768	84	0,84
17	10,55901	3,437609	82,17049	82	0,82
18	11,18012	3,507174	80,54063	81	0,81
19	11,80124	3,576739	78,97417	79	0,79
20	12,42236	3,646304	77,46748	77	0,77
21	13,04348	3,71587	76,0172	76	0,76
22	13,6646	3,785435	74,62023	75	0,75
23	14,28571	3,855	73,27367	73	0,73
24	14,90683	3,924565	71,97485	72	0,72
25	15,52795	3,99413	70,72128	71	0,71
26	16,14907	4,063696	69,51062	70	0,7
27	16,77019	4,133261	68,34071	68	0,68
28	17,3913	4,202826	67,20954	67	0,67
29	18,01242	4,272391	66,1152	66	0,66
30	18,63354	4,341957	65,05593	65	0,65
31	19,25466	4,411522	64,03006	64	0,64
32	19,87578	4,481087	63,03605	63	0,63
33	20,49689	4,550652	62,07242	62	0,62
34	21,11801	4,620217	61,13782	61	0,61
35	21,73913	4,689783	60,23094	60	0,6
36	22,36025	4,759348	59,35057	59	0,59
37	22,98137	4,828913	58,49557	58	0,58
38	23,60248	4,898478	57,66485	58	0,58

kmh	mph	mpg	l/100km	l/100 km (wartość zaokrąglona)	l/km
39	24,2236	4,968043	56,85739	57	0,57
40	24,84472	5,037609	56,07224	56	0,56
41	25,46584	5,107174	55,30847	55	0,55
42	26,08696	5,176739	54,56524	55	0,55
43	26,70807	5,246304	53,84171	54	0,54
44	27,32919	5,31587	53,13712	53	0,53
45	27,95031	5,385435	52,45073	52	0,52
46	28,57143	5,455	51,78185	52	0,52
47	29,19255	5,524565	51,12982	51	0,51
48	29,81366	5,59413	50,494	50	0,5
49	30,43478	5,663696	49,8738	50	0,5
50	31,0559	5,733261	49,26865	49	0,49
51	31,67702	5,802826	48,67801	49	0,49
52	32,29814	5,872391	48,10136	48	0,48
53	32,91925	5,941957	47,53821	48	0,48
54	33,54037	6,011522	46,9881	47	0,47
55	34,16149	6,081087	46,45058	46	0,46
56	34,78261	6,150652	45,92521	46	0,46
57	35,40373	6,220217	45,4116	45	0,45
58	36,02484	6,289783	44,90934	45	0,45
59	36,64596	6,359348	44,41808	44	0,44
60	37,26708	6,428913	43,93744	44	0,44
61	37,8882	6,498478	43,4671	43	0,43
62	38,50932	6,568043	43,00672	43	0,43
63	39,13043	6,637609	42,55599	43	0,43
64	39,75155	6,707174	42,11461	42	0,42
65	40,37267	6,776739	41,68229	42	0,42
66	40,99379	6,846304	41,25876	41	0,41
67	41,61491	6,91587	40,84374	41	0,41
68	42,23602	6,985435	40,437	40	0,4
69	42,85714	7,055	40,03827	40	0,4
70	43,47826	7,124565	39,64733	40	0,4
71	44,09938	7,19413	39,26395	39	0,39
72	44,7205	7,263696	38,88792	39	0,39
73	45,34161	7,333261	38,51902	39	0,39
74	45,96273	7,402826	38,15705	38	0,38
75	46,58385	7,472391	37,80182	38	0,38
76	47,20497	7,541957	37,45315	37	0,37
77	47,82609	7,611522	37,11084	37	0,37
78	48,4472	7,681087	36,77474	37	0,37
79	49,06832	7,750652	36,44468	36	0,36
80	49,68944	7,820217	36,12048	36	0,36
81	50,31056	7,889783	35,802	36	0,36
82	50,93168	7,959348	35,48909	35	0,35

kmh	mph	mpg	l/100km	l/100 km (wartość zaokrąglona)	l/km
83	51,5528	8,028913	35,1816	35	0,35
84	52,17391	8,098478	34,87939	35	0,35
85	52,79503	8,168043	34,58233	35	0,35
86	53,41615	8,237609	34,29029	34	0,34
87	54,03727	8,307174	34,00314	34	0,34
88	54,65839	8,376739	33,72076	34	0,34
89	55,2795	8,446304	33,44303	33	0,33
90	55,90062	8,51587	33,16984	33	0,33

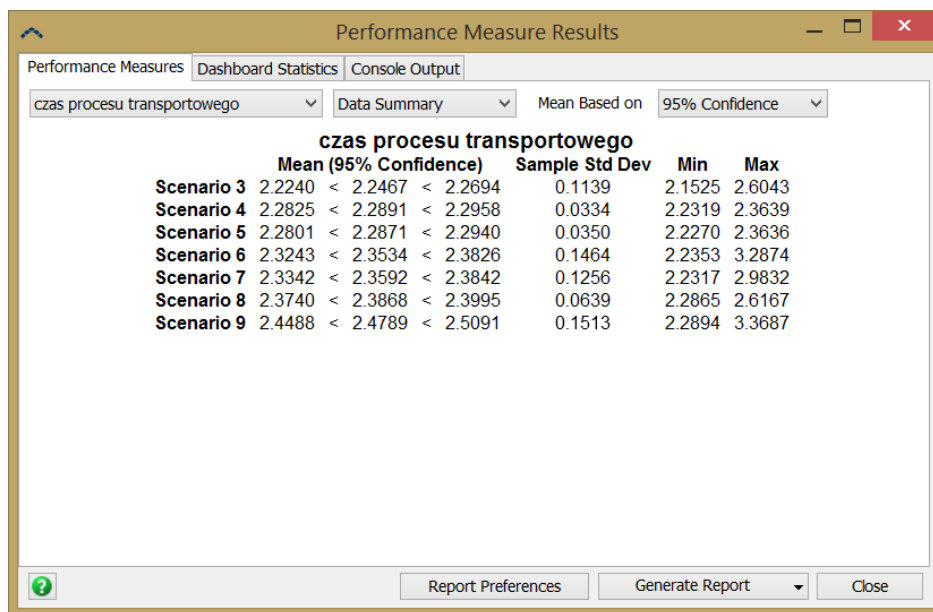
Załącznik 2 – uzyskane wyniki czasu transportu z punktu załadunku do punktu rozładunku przy różnej liczbie replikacji przy założeniu 95% przedziału ufności. Replikacje powtórzono dla tak samo zdefiniowanego eksperymentu.

	Mean (95% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 3	2.081 < 2.293 < 2.505	0.297	2.162	3.129
Scenario 4	2.246 < 2.267 < 2.287	0.028	2.234	2.332
Scenario 5	2.263 < 2.299 < 2.336	0.051	2.227	2.414
Scenario 6	2.249 < 2.325 < 2.401	0.106	2.236	2.574
Scenario 7	2.308 < 2.334 < 2.360	0.036	2.289	2.388
Scenario 8	2.326 < 2.365 < 2.403	0.054	2.261	2.453
Scenario 9	2.266 < 2.513 < 2.761	0.346	2.319	3.482

Rys. 1. Uzyskane wyniki czasu transportu w przypadku 10 replikacji
Źródło: wyniki uzyskane przy pomocy programu FlexSim

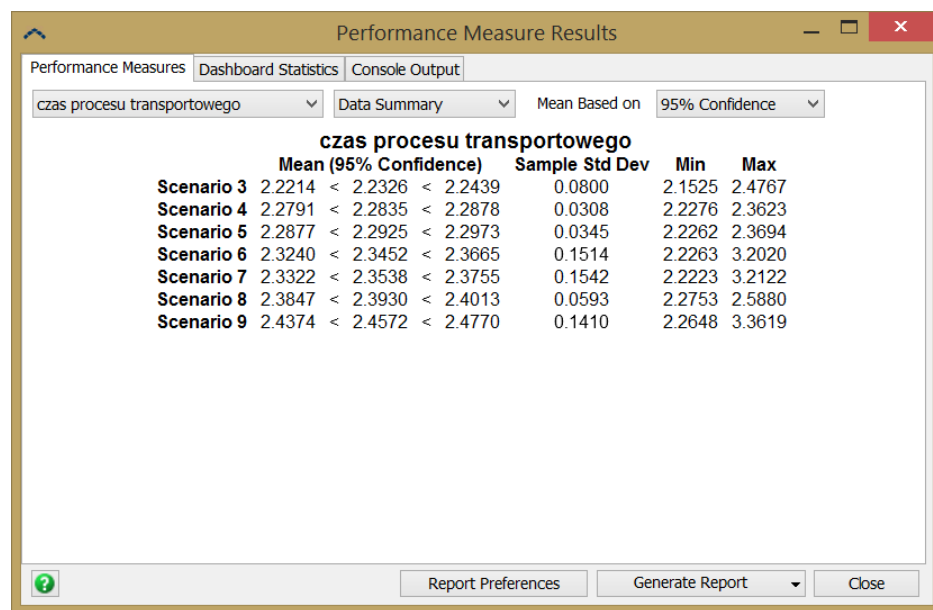
	Mean (95% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 3	2.189 < 2.292 < 2.394	0.219	2.153	3.143
Scenario 4	2.263 < 2.277 < 2.291	0.030	2.227	2.349
Scenario 5	2.268 < 2.283 < 2.299	0.034	2.234	2.357
Scenario 6	2.286 < 2.336 < 2.386	0.107	2.228	2.587
Scenario 7	2.308 < 2.365 < 2.423	0.123	2.230	2.628
Scenario 8	2.356 < 2.384 < 2.412	0.060	2.272	2.494
Scenario 9	2.387 < 2.440 < 2.493	0.114	2.299	2.690

Rys. 2. Uzyskane wyniki czasu transportu w przypadku 20 replikacji
Źródło: wyniki uzyskane przy pomocy programu FlexSim



	Mean (95% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 3	2.2240 < 2.2467 < 2.2694	0.1139	2.1525	2.6043
Scenario 4	2.2825 < 2.2891 < 2.2958	0.0334	2.2319	2.3639
Scenario 5	2.2801 < 2.2871 < 2.2940	0.0350	2.2270	2.3636
Scenario 6	2.3243 < 2.3534 < 2.3826	0.1464	2.2353	3.2874
Scenario 7	2.3342 < 2.3592 < 2.3842	0.1256	2.2317	2.9832
Scenario 8	2.3740 < 2.3868 < 2.3995	0.0639	2.2865	2.6167
Scenario 9	2.4488 < 2.4789 < 2.5091	0.1513	2.2894	3.3687

Rys. 3. Uzyskane wyniki czasu transportu w przypadku 100 replikacji
Źródło: wyniki uzyskane przy pomocy programu FlexSim



	Mean (95% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 3	2.2214 < 2.2326 < 2.2439	0.0800	2.1525	2.4767
Scenario 4	2.2791 < 2.2835 < 2.2878	0.0308	2.2276	2.3623
Scenario 5	2.2877 < 2.2925 < 2.2973	0.0345	2.2262	2.3694
Scenario 6	2.3240 < 2.3452 < 2.3665	0.1514	2.2263	3.2020
Scenario 7	2.3322 < 2.3538 < 2.3755	0.1542	2.2223	3.2122
Scenario 8	2.3847 < 2.3930 < 2.4013	0.0593	2.2753	2.5880
Scenario 9	2.4374 < 2.4572 < 2.4770	0.1410	2.2648	3.3619

Rys. 4. Uzyskane wyniki czasu transportu w przypadku 200 replikacji
Źródło: wyniki uzyskane przy pomocy programu FlexSim