

PROJEKT

SYMULACJA SIATKI OPÓŹNIEŃ POCIĄGÓW
W GRAFIE SPÓJNYM STACJI DOCELOWYCH

Krzysztof Witnicki – opracowanie dokumentacji
Kacper Wilgus – pomoc w opracowaniu dokumentacji



DDS – delay distribution simulation

SPIS TREŚCI

INICJACJA.....	4
Założenie projektu.	4
1. Opóźnienie.	4
1.1. Opóźnienia losowe awaryjne.	4
1.1.1. Awaria części składu.	4
1.1.2. Awaria urządzeń w trasie.....	4
1.2. Opóźnienia losowe wypadkowe.	4
1.2.1. Przypadek A.	4
1.3. Omówienie zależności.....	5
1.4. Karta charakterystyki zależności czasowych.....	7
1.5. Opóźnienie w kontekście <i>pociągu</i>	8
2. Pociąg.....	8
2.1. Kierunek poruszania.	8
2.2. Przepustowość.....	8
2.3. Pasażerowie.....	9
2.4. Oznaczenie.	9
2.5. Aktualne opóźnienie.	9
2.6. Dodatkowe informacje.....	10
3. Stacja.....	11
3.1. Parametryzacja obiektu typu <i>stacja</i>	11
3.2. Pozostałe pola.	12
4. Szlak.	12
5. Uwagi dodatkowe.	12
IMPLEMENTACJA	13
6. Diagramy sytuacyjne.	13
6.1. Diagram przypadków użycia.....	13
6.2. Diagram obiektów.....	15
7. Przygotowanie środowiska.....	16
8. Hierarchia klas.....	17
8.1. <i>BaseDelay</i>	18
8.2. <i>TrainFailureDelay</i>	18
8.3. <i>LineFailureDelay</i>	18
8.4. <i>RandomSituationDelay</i>	18
8.5. <i>BaseTrain</i>	18
8.6. <i>Train</i>	18
8.7. <i>PassengerTrain</i>	18
8.8. <i>FreightTrain</i>	18
8.9. <i>Initialization</i>	18
8.10. <i>ApplicationWindow</i>	18
8.11. <i>MainSceneController</i>	18
8.12. <i>EntrySceneController</i>	18
9. Symulacja.....	19

SPIS RYSUNKÓW

<i>Rysunek 1. Wizualizacja przedstawiająca bieg pociągów w czasie rzeczywistym naniesionych na mapę obiegów stacyjnych.</i>	<i>10</i>
<i>Rysunek 2. Wizualizacja przedstawiająca bieg pociągów w czasie rzeczywistym naniesionych na niepoprawnie zaprojektowaną mapę.</i>	<i>11</i>
<i>Rysunek 3. Diagram przypadków użycia dla zakwalifikowanych przypadków opóźnień – obraz zminimalizowany.</i>	<i>13</i>
<i>Rysunek 4. Diagram przypadków użycia dla zakwalifikowanych przypadków opóźnień – część lewa.</i>	<i>14</i>
<i>Rysunek 5. Diagram przypadków użycia dla zakwalifikowanych przypadków opóźnień – część prawa.....</i>	<i>14</i>
<i>Rysunek 6. Diagram obiektów dla przypadkowego układu symulacyjnego – przypadek losowy AL.....</i>	<i>15</i>
<i>Rysunek 7. Diagram obiektów dla przypadkowego układu symulacyjnego – przypadek losowy ZWA.</i>	<i>15</i>
<i>Rysunek 8. Przytroczenie potrzebnych bibliotek do poprawnego zbudowania projektu.</i>	<i>16</i>
<i>Rysunek 9. Diagram klas w projekcie z widocznym podziałem na podgrupy działania.....</i>	<i>17</i>

TYM KOLOREM (CZERWONYM) OZNACZONE ZOSTAŁY ELEMENTY / ZAŁOŻENIA PLANOWANE, JEDNOCZEŚNIE MAJĄCE NISKI PRIORYTET WYKONANIA.

NIE ZOSTAŁY ONE ZAKWALIFIKOWANE DO ADAPTACJI W OSTATECZNEJ WERSJI PROJEKTU!

MOŻE ICH NIE BYĆ lub NIE BĘDĄ IMPLEMENTOWANE W OSTATECZNEJ WERSJI PROJEKTU!

INICJACJA

Założenie projektu.

Założeniem projektu jest przedstawienie skutków niedokładnego (względnie losowego) planowania ruchu pociągów, a także pokazanie złożoności opóźnień wynikających z wypadków losowych i ich wpływu na całą sieć połączeń.

Symulacja zakłada bardzo uproszczony model siatki połączeń składający się ze stacji początkowych i końcowych, linii jedno- i dwutorowych o różnych parametrach oraz składów pociągów o różnych parametrach.

1. Opóźnienie.

Kluczowym parametrem wpływającym na płynność przeprowadzania symulacji i różnicę między wynikami rzeczywistymi a oczekiwanymi będą rodzaje opóźnień, wszystkie 10 z nich zostało przybliżone poniżej. Opóźnienia stają się tym samym głównym agentem opisywanej symulacji.

1.1. Opóźnienia losowe awaryjne.

1.1.1. Awaria części składu.

- **AL** awaria lokomotywy
uszkodzenie hamulca pomocniczego, uszkodzenie silników tyrystorowych, uszkodzenie pantografu etc.
- **AW_p** awaria wagonu *poważna*
uszkodzenie przewodu pneumatycznego, uszkodzenie sprzęgu podstawowego, uszkodzenie wózka etc.
- **AW_s** awaria wagonu *symboliczna*
uszkodzenie węzła AC, uszkodzenie szafy automatyki etc.

1.1.2. Awaria urządzeń w trasie.

- **ASRK** awaria urządzeń sterowania ruchem kolejowym
- **ASEM** awaria semafora dowolnego typu
jazda na sygnał zastępczy bądź z pominięciem sygnatu S1 „Stój”

1.2. Opóźnienia losowe wypadkowe.

1.2.1. Przypadek A.

- **WCZ** wypadek z udziałem człowieka / zwierzęcia
- **WPO** wypadek z udziałem pojazdu
- **ZWA** złe warunki atmosferyczne
- **PRZ** przyczyny związane z działalnością przewoźnika kolejowego
- **ZIN** przyczyny związane z działalnością zarządcy infrastruktury

1.3. Omówienie zależności.

Każde z opóźnień posiada swoją charakterystykę uproszczoną do 4 podstawowych składowych:

- wypadkowej czasu
*wskaźnik WYP – WYPADKOWA dla pojazdu dotkniętego
oraz innych (zależność opisana w przykładzie nr 2 poniżej)*
- prawdopodobieństwa wystąpienia
wskaźnik PROB
- spadku priorytetu trasowego
wskaźnik SPT
- dodatkowych uwag.

UWAGA! W czasie symulacji nie przewiduje się odwoływania pociągów – każdy skład ma swoje stacje: początkową i końcową bez możliwości ich zmiany.

Przykład nr 1:

Awaria lokomotywy jest jedną z poważniejszych przyczyn, taka sytuacja wymaga bowiem zastąpienia lokomotywy pierwotnej, przy tym zapewnienia nowej drużyny trakcyjnej. Optymalne rozwiązanie nakłada tym samym na skład względnie duże opóźnienie. Dodatkowo pociąg taki blokuje przez pewien czas szlak główny, generując opóźnienie innych składów.

Koniec przykładu nr 1.

Wszystkie opóźnienia ze względu na mechanikę działania będą rejestrowane w danych wynikowych. Dokładna informacja dotycząca mechanizmu zliczania opóźnień znajduje się w punkcie 5. dokumentu.

Informacje dla punktu 1.4.

W punkcie 1.4 przygotowana została karta charakterystyki zależności czasowych dla poszczególnych typów opóźnień. Przedstawia ona wpływ danego opóźnienia na pojazd dotknięty opóźnieniem, jak i pojazdy znajdujące się na tym samym szlaku za pojazdem dotkniętym w kierunku poruszania się tego pojazdu.

Przykładowe obliczenie wypadkowej czasu danego opóźnienia zostało przedstawione poniżej:

Przykład nr 2:

Pociąg Axxxxx uległ **awarii lokomotywy** z **prawdopodobieństwem** równym **0.08**. Podstawowy całkowity czas przejazdu ze stacji A do stacji D wyniósł

$$T_C = 120 \text{ min.}$$

Opóźnienie wydłużył czas przejazdu o wypadkową

$$WYP = \frac{1}{2} * T_C = 60 \text{ min.}$$

Symulacja zatrzymuje przejazd pociągu do momentu odliczenia **równowartości WYP**. Stąd wynika, że całkowity czas przejazdu pociągu dotkniętego opóźnieniem wyniesie końcowo

$$T_C + WYP = 120 + 60 = 180 \text{ min.}$$

Zgodnie z tabelą charakterystyki, kolejne trzy pociągi w tej samej relacji oznaczone kolejnością **k 1 – 3** (jeśli takowe występują) także zostaną opóźnione – **symulacja NIE zatrzymuje** ich przejazdu w kierunku stacji docelowej – opóźnienie to wyniesie

$$WYP_{1-3} = \left[\frac{1}{7} * WYP_{PD} \right] = 9 \text{ min.}$$

Stąd wynika, że całkowity czas przejazdu trzech kolejnych pociągów (k 1-3) w tej samej relacji dotkniętego opóźnieniem wyniesie końcowo

$$T_C + WYP_{1-3} = X + 9 [\text{min}],$$

gdzie $X - T_C$ pociągów k 1 – 3.

Dla tego typu awarii obliczyć należy kolejne (ostatnie) opóźnienia – tym razem dla kolejnych trzech pociągów w tej samej relacji, lecz **oznaczonych kolejnością k 4 – 6** (jeśli takowe występują). Tak samo jak powyżej, **symulacja NIE zatrzymuje** ich przejazdu w kierunku stacji docelowej, a opóźnienie wyniesie

$$WYP_{4-6} = \left[\frac{1}{14} * WYP_{PD} \right] = 5 \text{ min.}$$

Stąd wynika, że całkowity czas przejazdu trzech kolejnych pociągów (k 1-3) w tej samej relacji dotkniętego opóźnieniem wyniesie końcowo

$$T_C + WYP_{4-6} = X + 5 [\text{min}],$$

gdzie $X - T_C$ pociągów k 4 – 6.

Koniec przykładu nr 2.

Skrótowe oznaczenia dla powyższego przykładu, jak i tabeli danych w punkcie 1.4 zostały sklasyfikowane poniżej:

*	oznaczenie poważnego opóźnienia
$T_C [\text{min}]$	czas całkowity przejazdu pociągu [w minutach] [parametr pociągu]
WYP	wypadkowa czasu opóźnienia
PD	pojazd dotknięty
WYP_{PD}	oznaczenie zastępcze dla wyrażenia «WYPADKOWA CZ. OPÓŹ. dla PD»
k n – m	n, m numeruje kolejne pociągi za PD
min max	minimalna i maksymalna wartość wskaźnika
mini	minimalna wartość priorytetu

Wszystkie ułamki widoczne w tabeli zaokrąglane są w górę sufitowo (tak jak wskazane w przykładzie nr 2) do najbliższej liczby całkowitej.

1.4. Karta charakterystyki zależności czasowych.

	WYPADKOWA			PROB		SPT	uwagi
	WYP_{PD}	inne (w tym samym kierunku)		min	max		
AL*	$\frac{1}{2} * T_C [min]$	k 1-3	$\frac{1}{7} WYP_{PD} [min]$	0.05	0.1	<i>mini</i>	dla linii jednotorowych, wypadkową należy przemnożyć przez 1,5
		k 4-6	$\frac{1}{14} WYP_{PD} [min]$				
AWP	$\frac{1}{6} * T_C [min]$	k 1-2	$\frac{1}{5} WYP_{PD} [min]$	0.02	0.04	<i>-1</i>	dla przepustowości klasy poniżej II, wypadkową należy przemnożyć przez 1,1
		k 3-4	$\frac{1}{8} WYP_{PD} [min]$				
AWS	20 min	k 1-2	10 min	0.15	0.25		
		k 3	5 min				
ASRK	20 min	k 1	10 min	0.3	0.35	<i>-1</i>	
		k 2-3	5 min				
ASEM	10 min	k 1	7 min	0.45	0.5		
		k 2	3 min				
WCZ*	$2 * T_C [min]$	k 1-4	$\frac{1}{12} WYP_{PD} [min]$	0.01	0.05	<i>mini</i>	dla linii jednotorowych, wypadkową należy przemnożyć przez 2
		k 5-8	$\frac{1}{24} WYP_{PD} [min]$				
WPO*	$\frac{3}{2} * T_C [min]$	k 1-3	$\frac{1}{12} WYP_{PD} [min]$	0.005	0.01	<i>mini</i>	dla przepustowości klasy poniżej II, wypadkową należy przemnożyć przez 1,3
		k 4-6	$\frac{1}{18} WYP_{PD} [min]$				
		k 7-8	$\frac{1}{24} WYP_{PD} [min]$				
ZWA	$\frac{1}{6} * T_C [min]$	k 1-3	10 min	0.2	0.3		
PRZ	$\frac{1}{15} * T_C [min]$	k 1-2	$\frac{1}{12} WYP_{PD} [min]$	0.75	0.8		
		k 3	$\frac{1}{18} WYP_{PD} [min]$				
ZIN	$\frac{1}{14} * T_C [min]$	k 1-2	$\frac{1}{12} WYP_{PD} [min]$	0.75	0.8		
		k 3	$\frac{1}{18} WYP_{PD} [min]$				

Tabela 1. Przedstawienie karty charakterystyki zależności czasowych.

1.5. Opóźnienie w kontekście *pociągu*.

Jako iż w kolejnym punkcie omówieniu ulega obiekt typu *pociąg*, należy przedstawić wszystkie możliwe sposoby zobrazowania zebranego opóźnienia przez wszystkie tego typu obiekty w toku trwania symulacji.

Opóźnienie w zamyśle obiektu typu *pociąg* dotyczy obliczania dodatkowego czasu przejazdu względem początkowo ustalonego całkowitego czasu przejazdu T_C . Na koniec symulacji opóźnienie dla każdego *pociągu* przedstawiane jest na cztery sposoby:

- o liczbowa wartość opóźnienia w minutach (oraz jej stopień zaawansowania),
- o całkowity czas przejazdu po uwzględnieniu opóźnienia,
- o różnica względna wyrażana w procencie T_C ,
- o odchylenie od średniego opóźnienia wszystkich pociągów na koniec symulacji.

2. Pociąg.

Obiektami nominalizowanymi przez opóźnienia-agentów, poruszającymi się po wirtualnej mapie obiegów stacyjnych (z założenia początkowego) są *pociągi*. Każdy z tego typu obiektów posiada następujący zestaw parametrów wpływający na płynność jazdy, efektywność rozkładową oraz ostateczną moc opóźnienia:

2.1. Kierunek poruszania.

Każdy *pociąg* bezwzględnie potrzebuje parametru kierunku poruszania ze względu na determinację opóźnień kolejnych jednostek powodowanych przez niego samego. Jeżeli dwa pociągi znajdują się w na tej samej linii w tej samej trasie, będą na siebie oddziaływać liniowo z każdym przeskokiem czasowym symulacji. Kierunek określany jest na zasadzie rachunku kodów stacji – jeśli

$$|W_{1A} - W_{1B}| = |W_{2A} - W_{2B}|$$

gdzie W_{xy} – kod stacji dla x pociągu i y stacji (gdzie A to najbliższa stacja poprzednia
a B to najbliższa stacja następna zgodnie z planowym biegiem pociągu)

to znaczy, że pociągi poruszają się **w tej samej relacji** – na tym samym szlaku w tym samym kierunku.

WAŻNE! Graf wynikowy zostaje stworzony w taki sposób, aby żadna z relacji nie posiadała tej samej wartości identyfikacyjnej (aby działanie wartości bezwzględnej z różnicy dwóch kodów stacji zwracało taki sam wynik).

2.2. Przepustowość.

Każdy *pociąg* symbolizuje liczbowo ilość przystanków pośrednich (niewliczanych do danych symulacyjnych) oraz średni czas postoju na takowych. Dane te w pierwotnej wersji wprowadzane są losowo, a na ich podstawie wyliczana jest względna przepustowość końca szlaku (ilość kilometrów pozostająca za *pociągami* na szlaku wg parametryzacji priorytetowej) wg poniższego wzoru:

$$P_{max} = \frac{V_{max}}{S_p * T_p}$$

gdzie V_{max} – prędkość maksymalna, S_p – ilość przystanków pośrednich, T_p – średni czas postoju

Ilość kilometrów konwertowana jest następnie na wektor odległościowy za pojazdem wstrzymujący kolejny pojazd w kolei od najechania nań. Przepustowość ostatecznie nie wpływa na zmianę czasu opóźnienia obiektu uszkodzonego, a raczej obiektów nieuszkodzonych.

2.3. Pasażerowie.

Każdy *pociąg* posiada 3 parametry opisujące jego nabytą frekwencję. Są to:

- średnia ilość pasażerów – wyznaczana losowo dla każdego generowanego obiektu
- maksymalna pojemność (wytyczona) – jako parametr domyślny ładunku pasażerskiego
- frekwencja względna wyznaczana wg poniższego wzoru:

$$Q_F = \frac{PAS}{PAS_{max}} * 100\%$$

gdzie PAS – średnia ilość pasażerów, PAS_{max} – maksymalna pojemność pojazdu

Dodatkowo, w oknie dialogowym dodatkowej informacji (punkt 2.4, rysunek 1.) pokazywana będzie symboliczna gwiazdkowana ocena ruchu pociągu (wyliczana prostym algorytmem zmiany ze względu na nabyte opóźnienia – ilość i łączny czas niedogodności).

2.4. Oznaczenie.

Oznaczenie *pociągu* opierać się będzie na symbolicznym przyporządkowaniu go do kategorii stanowiącej charakterystykę przewozową. **Nazwy i skróty komunikacyjne nadawane będą w sposób określony realnymi wytycznymi planowania ruchu przewozowego wg Instrukcji o prowadzeniu ruchu pociągowego Ir-1 (PKP PLK SA).** Nazwa rozkładowa pociągu składa się w takim wypadku z 2 członów alfanumerycznych. Pierwszy człon oznacza typ handlowy i przewozowy pociągu (przykładowo *pociąg towarowy* bądź *pociąg pasażerski* – zgodnie z wymaganiami). Drugi człon odpowiada 5-cyfrowemu numerowi handlowemu – dokładne złożenie numeru opisane jest wg wspomnianej Instrukcji Ir-1.

Oznaczenia te nie będą wykorzystywane w docelowej logice symulacyjnej, a jedynie pomogą w odróżnieniu konkretnych obiektów!

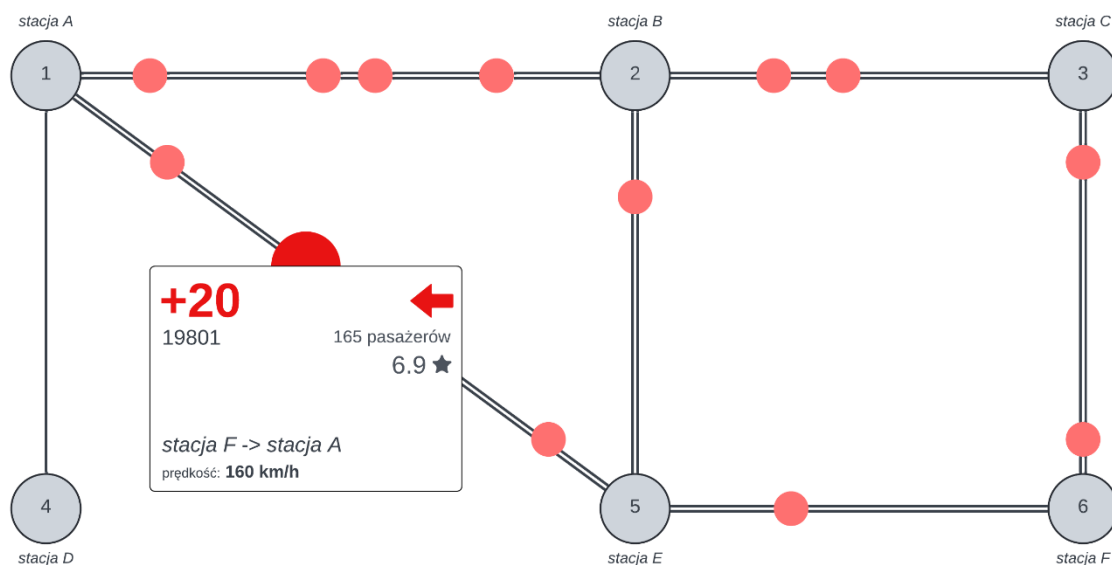
2.5. Aktualne opóźnienie.

Opóźnienie zebrane w trakcie biegu *pociągu* zgodnie z zasadami określonymi w punkcie 1.4 dokumentu będzie wyświetlane w czasie rzeczywistym symulacji w sposób wizualnie zrozumiały.

Proces identyfikacji obrazowej nie został dotychczas określony. W momencie aktualizacji symulacji znany będzie także powód opóźnienia wstrzymujący pociąg od ruchu.

Prototyp wizualizacji obrazującej ww. zasady symulacji wygląda następująco:

12:20 26.05.2024
nd



Wydarzenia:

12:19 26.05.2024 - 19801 - ...
12:17 26.05.2024 - 16701 - rozpoczyna bieg ze stacji stacja A do stacji stacja B
12:10 26.05.2024 - 55100 - ...
12:09 26.05.2024 - 19801 - doznaje opóźnień z powodu: ZWA (kod 401) +20 minut
12:05 26.05.2024 - 19801 - ...

Rysunek 1. Wizualizacja przedstawiająca bieg pociągów w czasie rzeczywistym naniesionych na mapę obiegów stacyjnych.

Na rysunku zauważamy także element charakterystyczny dla *pociągu* – okno dodatkowej informacji. Dedykowane dla każdego *pociągu*, generowane w czasie rzeczywistym.

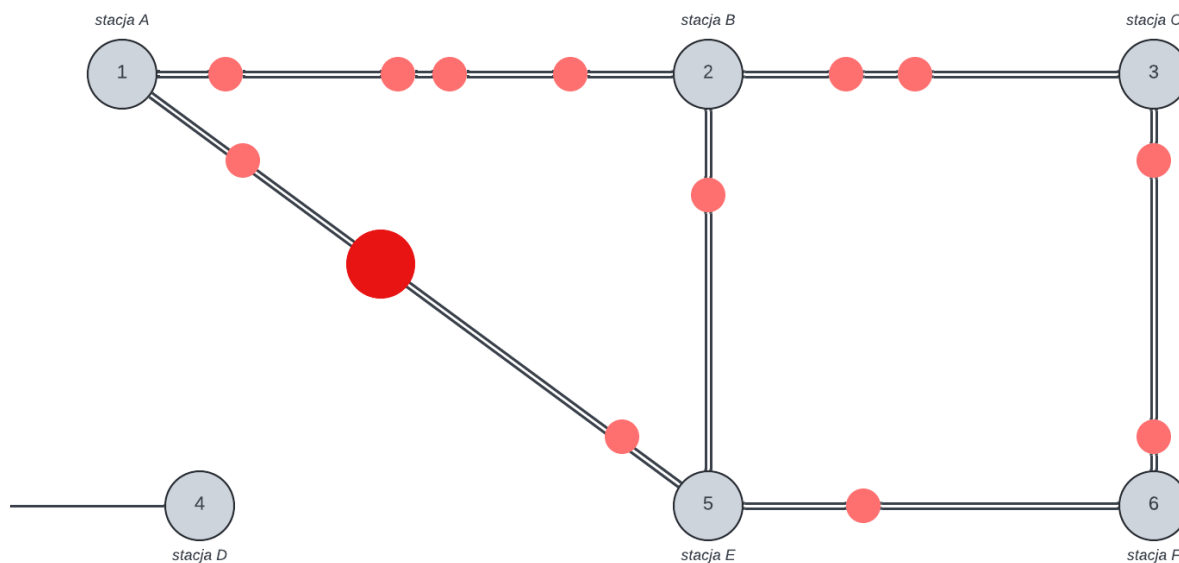
2.6. Dodatkowe informacje.

Dodatkowe informacje obejmują stację początkową biegu, stację końcową, aktualną prędkość aktualizowaną schematycznie z każdą sekundą symulacji, **aktualny kierunek biegu pociągu oraz wskaźnik PRI – wskazanie względne priorytetu w momencie aktualizacji.**

3. Stacja.

Pojęcie grafu spójnego *stacji* docelowych oznacza jednoznacznie sieć, w której wierzchołkami są *stacje*, z żadnej z których nie wybiega półprosta do stacji niewidocznej na schemacie, a nieprawidłowym jest także pozostawienie *stacji* bez jakiegokolwiek połączenia (wierzchołków izolowany). Poprawna sytuacja przedstawiona została na rysunku 1. w punkcie 2.4. Poniżej zobrazowana jest przykładowa niepoprawna sytuacja: niepoprawne:

12:20 26.05.2024
nd



Rysunek 2. Wizualizacja przedstawiająca bieg pociągów w czasie rzeczywistym naniesionych na niepoprawnie zaprojektowaną mapę.

3.1. Parametryzacja obiektu typu *stacja*.

Parametryzacja stacji opiera się o 4 główne składniki:

- CODE kod stacji w zapisie liczbowym ($0 \leq N \leq 1000$),
- S ilość pociągów obecnych w momencie aktualizacji
(z założeniem $S < K - 1$)
- C_{max} maksymalna pojemność stacji na godzinę jako ilość cykli wymiany
pasażerskiej przy założeniu pełnego obłożenia krawędzi peronowych
oraz 2-minutowego czasu wymiany krawędziowej,
wyznaczana za pomocą wzoru

$$C_{max} = \frac{60}{T_{wym} + 2} * (K - 1)$$

gdzie K – ilość krawędzi peronowych, $T_{wym}[\text{min}]$ – średni czas wymiany pasażerskiej.

Parametry te jednak nie są – na chwilę obecną – parametrami aktywnymi w sensie symulacji. Prawidłowa implementacja przewidziana jest w momencie utworzenia poprawnego algorytmu wzajemnego śledzenia między *pociągami*.

3.2. Pozostałe pola.

Na chwilę obecną przewiduje się wprowadzenie pola nazwy stacji dla poprawnego odróżniania kolejnych obiektów w toku trwania symulacji w kontekście użytkownika.

4. Szlak.

Wszystkie linie kolejowe zaznaczone na wizualizacji symulacyjnej są zbudowane w ten sam sposób z odróżnieniem linii jedno- i dwutorowych. Pierwsze zaznaczone są jedną linią odcinkową między kolejnymi stacjami – drugie kreślone zostają poprzez dwa równoległe odcinki międzystacyjne. Rozróżnienie widać to na rysunkach 1. do 3.

Ponadto, linie kolejowe posiadają własną klasyfikację przepustowości, której klasami interfejsu jest priorytetowość przejazdów:

priorytet	sytuacja użytkowania	opis szczegółowy
S	priorytet bezklasowy	priorytetyzuje się tylko pociągi o $V_{max} > 160$ km/h (bez kategoryzacji opóźnień), reszta pojazdów jedzie zgodnie z kolejnością pozarozkładową
Y	priorytet klasowy zerowy	priorytetyzuje się tylko pociągi o $V_{max} > 160$ km/h (bez kategoryzacji opóźnień), reszta pojazdów jedzie zgodnie z kolejnością pozarozkładową
Y _A	priorytet klasowy A	priorytetyzuje się pociągi o $V_{max} > 120$ km/h i pociągi nieopóźnione, reszta pojazdów jedzie zgodnie z kolejnością pozarozkładową
Y _D	priorytet klasowy D	priorytetyzuje się pociągi o $V_{max} > 100$ km/h i pociągi nieopóźnione, reszta pojazdów jedzie zgodnie z kolejnością pozarozkładową
WW	status nadzwyczajny	priorytetyzuje się tylko pociągi o statusie nadzwyczajnym i $V_{max} > 100$ km/h, reszta pojazdów jedzie zgodnie z kolejnością pozarozkładową (bez uwzględnienia opóźnień)
Z	priorytet bezklasowy awaryjny	używany w przypadku awarii urządzeń SRK

Klasyfikacja priorytetowa nie będzie używana w pierwotnie zamówionej wersji symulacji.

5. Uwagi dodatkowe.

Opóźnienia rejestrowane są w oparciu o ilość ich wystąpień – zasada doliczania do względnej reprezentacji danych wygląda następująco:

do końcowego zestawienia danych zliczane są jedynie opóźnienia powyżej 5 minut wynikowych (dodanych do całkowitego planowego czasu przejazdu pociągu). **Wynika to z oficjalnej klasyfikacji opóźnień – wg raportów m.in. Urzędu Transportu Kolejowego, większość przewoźników nie wlicza do swoich klasyfikacji obsunięć czasowych względem rozkładu jazdy mniejszych od 5 minut.** Tym samym powyższa teoria symulacji również takie zachowanie uwzględnia.

IMPLEMENTACJA

Wybrany językiem programowania (platformą wykonawczą) jest język **Java (wersja stabilna jdk 19.0.1)** z wykorzystaniem biblioteki **JavaFX (wersja stabilna 22.0.1)**. Narzędziem umożliwiającym automatyczne budowanie oprogramowania i zarządzanie zależnościami w projekcie obrany został **Gradle (wersja stabilna 8.2)**. Wykaz dodatkowych zależności, importowanych bibliotek etc. znajduje się w dalszej części dokumentacji.

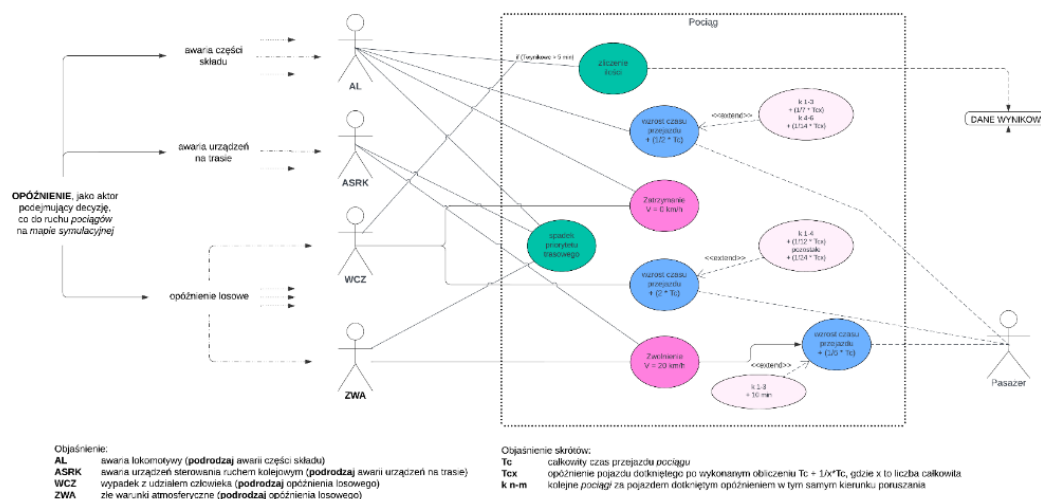
Przed przystąpieniem do właściwej implementacji w ww. wybranym języku programowania, przygotować należy dokumentację wykonawczą. W kolejnych punktach przedstawiona zostanie z wykorzystaniem realnego planu realizacji, wizualizacji planowego przebiegu symulacji i końcowych wyników przeprowadzonej symulacji.

Opisy rozwiązań zawarte będą w plikach źródłowych projektu w formie proponowanej przez typ komentara **Javadoc**. Odnośniki do opisów będą zarówno interaktywnymi linkami do strony zewnętrznej, zrzutami ekranu ze środowiska programistycznego, jak i wycinkami kodu.

6. Diagramy sytuacyjne.

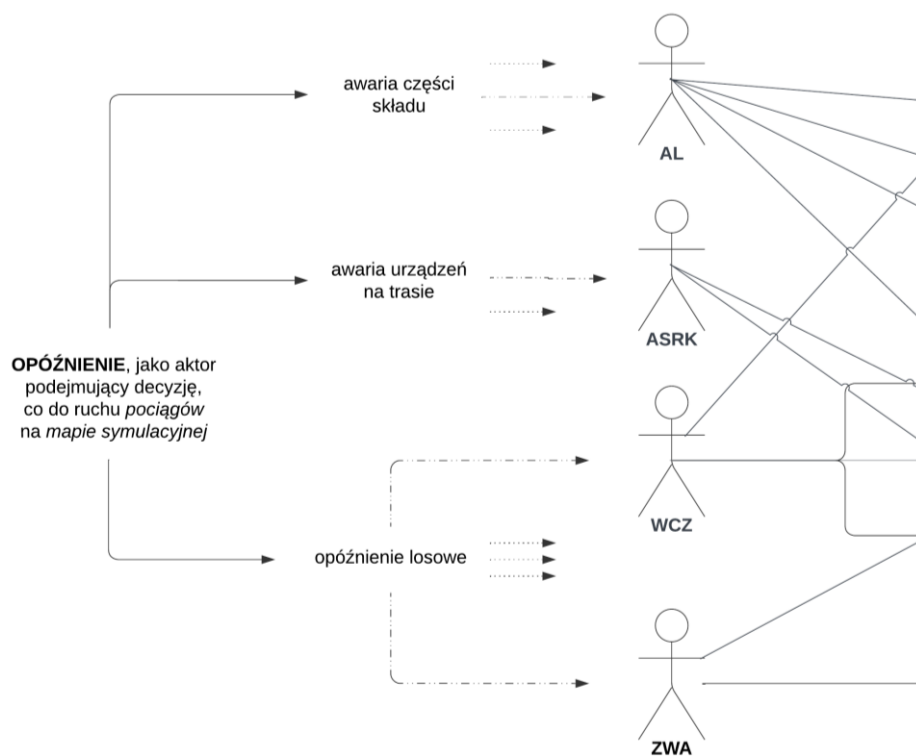
6.1. Diagram przypadków użycia.

Diagram ten przedstawia funkcjonalność systemu zaprezentowanego teoretycznie w fazie **INICJACJI** wraz z jego otoczeniem. Pozwala on na graficzne zaprezentowanie własności systemu tak, jak są one widziane po stronie użytkownika aplikacji symulacyjnej. Poniżej pokazujemy widok ogólny:



Rysunek 3. Diagram przypadków użycia dla zakwalifikowanych przypadków opóźnień – obraz zminimalizowany.

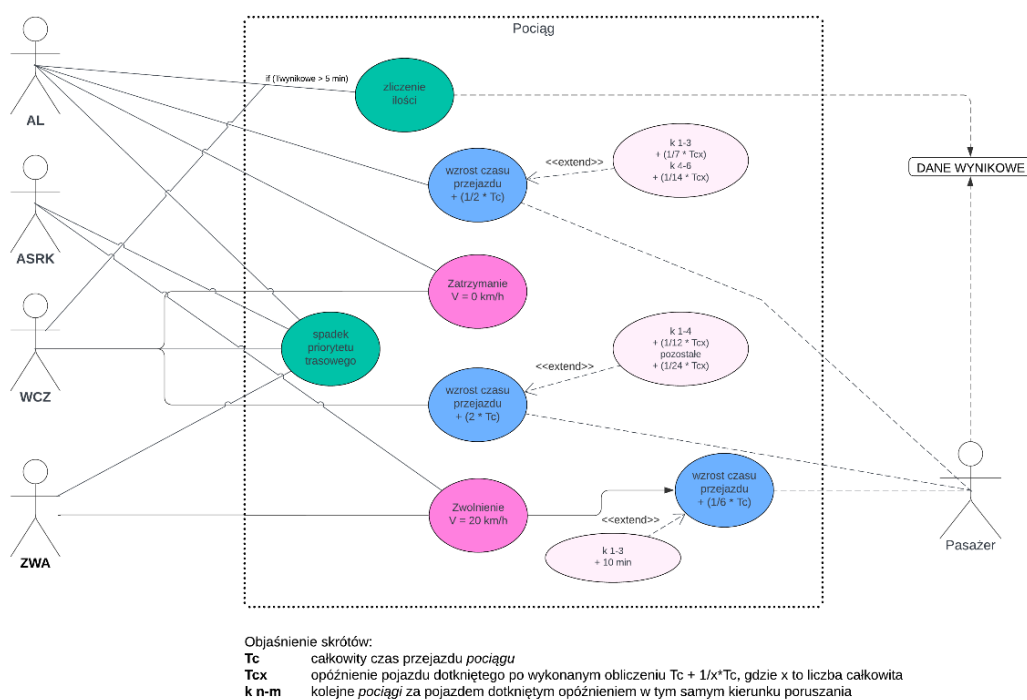
Na kolejnej stronie znajdują się przybliżone części powyższego diagramu przypadków użycia – kolejno strony: lewa i prawa.



Objaśnienie:

- AL** awaria lokomotywy (**podrodzaj** awarii części składu)
- ASRK** awaria urządzeń sterowania ruchem kolejowym (**podrodzaj** awarii urządzeń na trasie)
- WCZ** wypadek z udziałem człowieka (**podrodzaj** opóźnienia losowego)
- ZWA** złe warunki atmosferyczne (**podrodzaj** opóźnienia losowego)

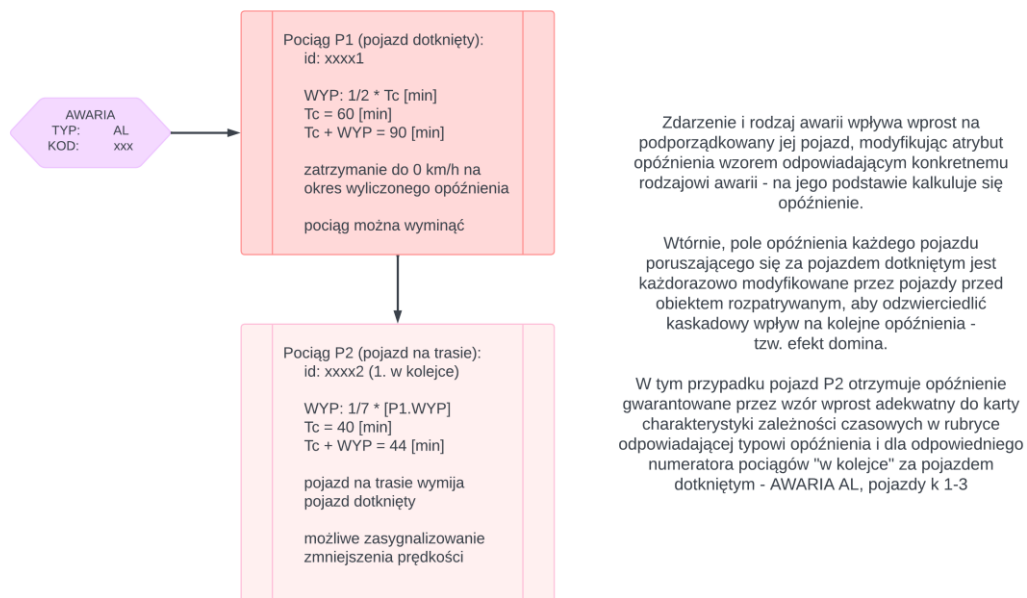
Rysunek 4. Diagram przypadków użycia dla zakwalifikowanych przypadków opóźnień – część lewa.



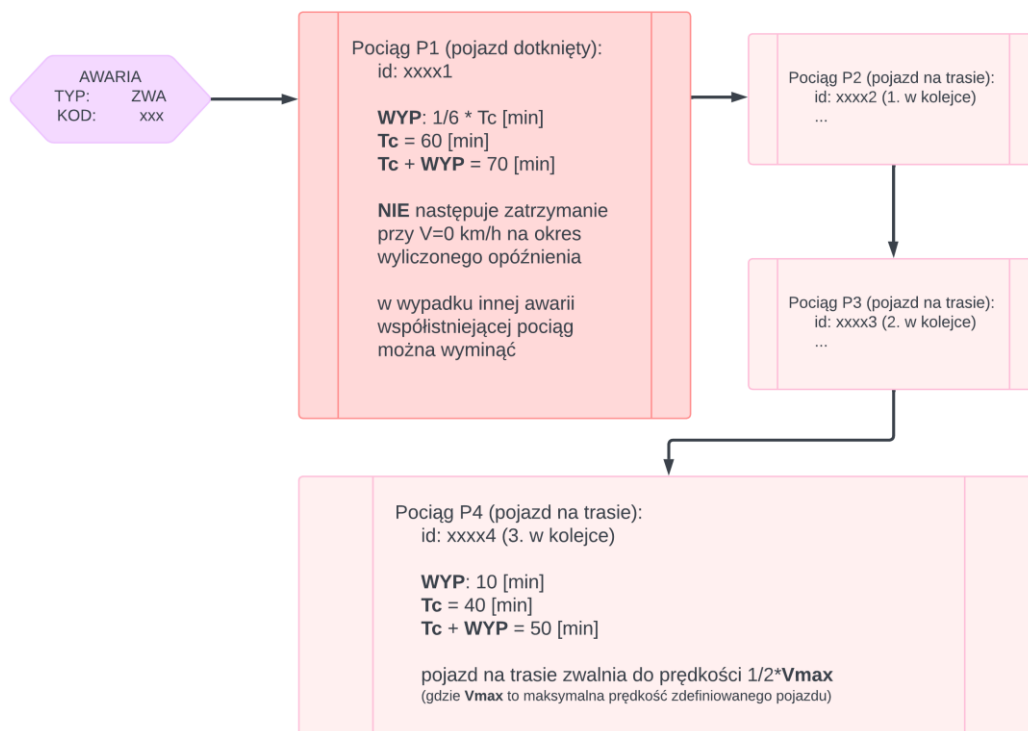
Rysunek 5. Diagram przypadków użycia dla zakwalifikowanych przypadków opóźnień – część prawa.

6.2. Diagram obiektów.

Ten typ diagramu jest z kolei wizualizacją hipotetycznego stanu systemu podczas jego działania. Służy do tworzenia przykładów pomagających zrozumieć diagram klas a przede wszystkim powiązań w nim występujących. Poniższe przedstawiają sytuację z **zatrzymaniu klatki w toku symulacji dla dwóch (lub więcej) pociągów** – jednego typu PD i innych w tej samej relacji znajdującego się za nim.



Rysunek 6. Diagram obiektów dla przypadkowego układu symulacyjnego – przypadek losowy AL.



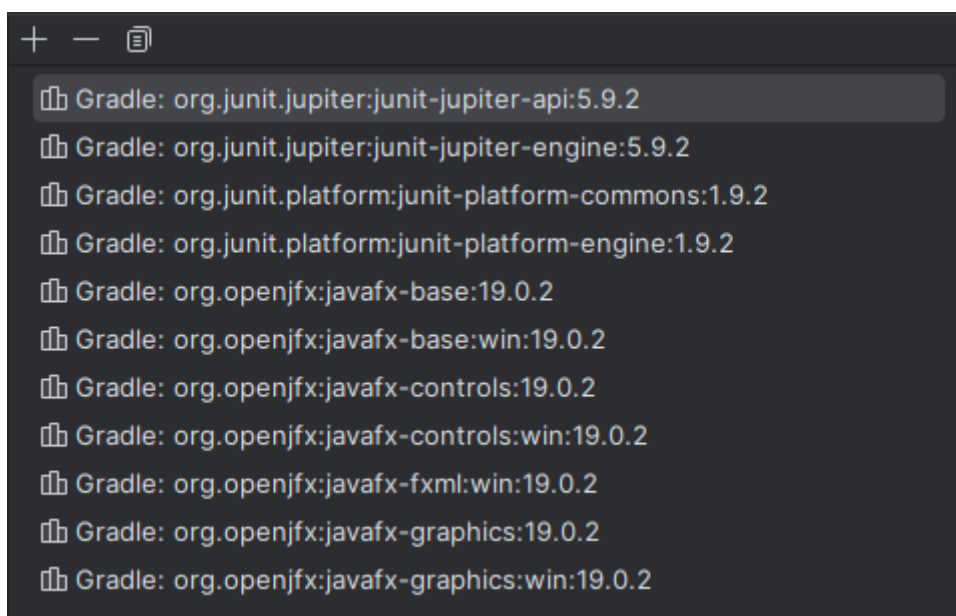
Rysunek 7. Diagram obiektów dla przypadkowego układu symulacyjnego – przypadek losowy ZWA.

7. Przygotowanie środowiska.

Projekt – tak jak zostało to wspomniane w początku rozdziału **IMPLEMENTACJA** – zbudowany został przy wykorzystaniu narzędzia Gradle. Poza plikami i katalogami potrzebnymi do prawidłowego budowania i uruchamiania projektu z poziomu narzędzi wbudowanych, w folderze **root** projektu (katalogu, który znajduje się na szczycie drzewka katalogów) znajdują się ponadto **inne foldery i pliki**. Ważniejsze z nich zostały wymienione poniżej:

- (folder) **docs** = tutaj umiejscowiona jest dokumentacja, jej poszczególne elementy graficzne oraz podstawa przygotowania emdletu README.md;
- (folder) **src** – jest to podstawa drzewa katalogów z kodem źródłowym i zależnościami (dodatkowymi plikami obrazów / pliki z rozszerzeniem FXML) potrzebnymi do zbudowania i uruchomienia końcowej aplikacji;
- (plik) **build.gradle** – plik ten przechowuje informacje związane z dołączaniem paczek zależności, komunikacją między serwerem wymiany plików **Maven**, a także informacje (m.in. o głównej klasie projektu) potrzebne do zainicjalizowania projektu.

Ze względu na specyfikę pracy w środowisku Gradle, ważne było **odpowiednie skonfigurowanie biblioteki JavaFX**. Dzięki temu każdy następujący po sobie etap nie jest obciążony ryzykiem krytycznych błędów inicjalizowania projektu, czy też możliwe jest skutecznie efektywne budowanie osobnej gałęzi konfiguracji – pliku .jar.



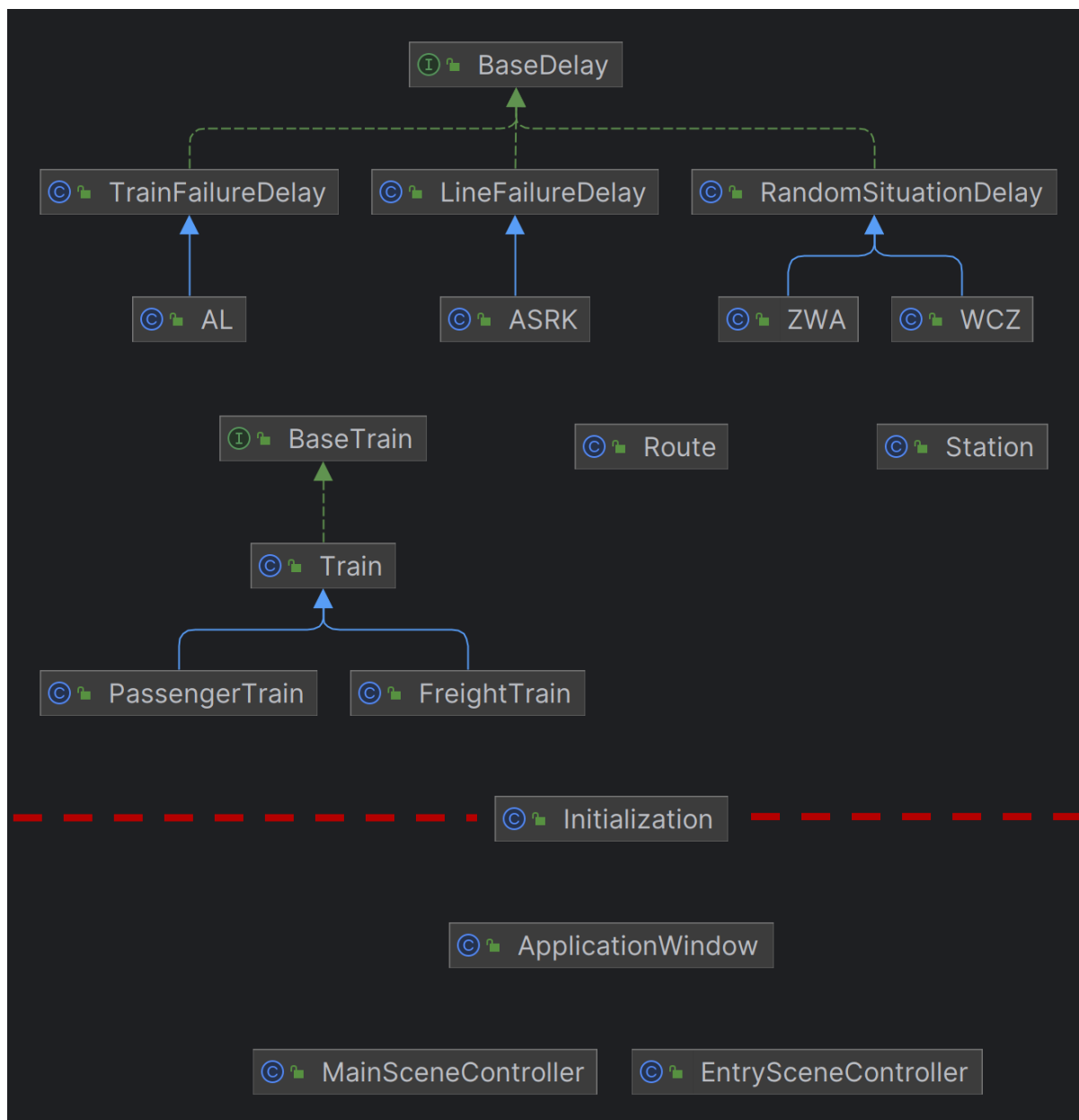
Rysunek 8. Przytoczenie potrzebnych bibliotek do poprawnego zbudowania projektu.

Na powyższym rysunku zauważyć możemy dwa wyróżniające się typy bibliotek: *junit-jupiter* oraz *openjfx-javafx*. Aby skrótkowo opisać obie biblioteki posłużę się odnośnikami do już istniejących, dokładnych opisów:

- *openjfx-javafx* – biblioteka JavaFX v19.0.2 – [link](#)
- *junit-jupiter* – biblioteka potrzebna do wykonywania testów jednostkowych – [link](#)

8. Hierarchia klas.

Projekt dzieli się abstrakcyjnie na dwie podgrupy klas – klasy odpowiadające za działanie części logicznej oraz klasy odpowiedzialne za UI (*user interface* – prezentację wizualną). Na poniższym diagramie zostały one oddzielone czerwoną przerywaną linią, przy czym **klasa *Initialization* stanowi pewnego rodzaju *middleware*¹ dla obu podgrup klas.**



Rysunek 9. Diagram klas w projekcie² z widocznym podziałem na podgrupy działania.

Omówmy kolejno działanie każdej z widocznych na diagramie klas.

¹ middleware (ang. oprogramowanie pośredniczące) - rodzaj oprogramowania (w naszym przypadku zestaw metod jednej klasy) umożliwiający komunikację pomiędzy różnymi systemami (podgrupami klas)

² zgodny ze stanem z dnia 9 czerwca 2024 r.

8.1. *BaseDelay*.

8.2. *TrainFailureDelay*.

8.3. *LineFailureDelay*.

8.4. *RandomSituationDelay*.

8.5. *BaseTrain*.

8.6. *Train*.

8.7. *PassengerTrain*.

8.8. *FreightTrain*.

8.9. *Initialization*.

8.10. *ApplicationWindow*.

javadoc

8.11. *MainSceneController*.

javadoc

8.12. *EntrySceneController*.

javadoc

9. Symulacja.

Poniżej zostaną przedstawione wyniki symulacji przeprowadzone w formie testów szczegółowych konfiguracji. Każde dane przytoczone w punkcie 9. opisane będą w następujący sposób:

$$SIMULATE\ k - m - v,$$

gdzie k – numer porządkowy przeprowadzonej symulacji,

m – numer porządkowy mapy,

v – numer porządkowy wariacji generowanych wartości losowych dla opóźnień.