

PROJEKT

SYMULACJA SIATKI OPÓŹNIEŃ POCIĄGÓW W ZAMKNIĘTYM OBIEGU STACYJNYM

opracowanie – Krzysztof Wiłnicki
pomoc w opracowaniu – Kacper Wilgus

SPIS TREŚCI

INICJACJA.....	2
Założenie projektu.	2
1. Opóźnienie.	2
1.1. Opóźnienia losowe awaryjne.	2
1.1.1. Awaria części składu.	2
1.1.2. Awaria urządzeń w trasie.....	2
1.2. Opóźnienia losowe wypadkowe.	2
1.2.1. Przypadek A.	2
1.3. Omówienie zależności.....	3
1.4. Karta zależności czasowych.	4
2. Pociąg.....	5
2.1. Kierunek poruszania.	5
2.2. Przepustowość.....	5
2.3. Pasażerowie.....	6
2.4. Oznaczenie.	6
2.5. Aktualne opóźnienie.	6
2.6. Dodatkowe informacje.....	7
3. Stacja.....	7
4. Szlak.	8
5. Uwagi dodatkowe.	8
IMPLEMENTACJA	9
6. Diagramy sytuacyjne.	9
6.1. Diagram przypadków użycia.....	9
6.2. Diagram obiektów.....	9

SPIS RYSUNKÓW

<i>Rysunek 1. Wstępna wizualizacja przedstawiająca bieg pociągów w czasie rzeczywistym naniesionych na mapę obiegów stacyjnych.</i>	7
<i>Rysunek 2. Niepoprawna mapa obiegów stacyjnych – sytuacja 1.</i>	7
<i>Rysunek 3. Niepoprawna mapa obiegów stacyjnych – sytuacja 2.</i>	7
<i>Rysunek 4. Diagram przypadków użycia dla zakwalifikowanych przypadków opóźnień.</i>	9
<i>Rysunek 5. Diagram obiektów dla przypadkowego układu symulacyjnego.</i>	9

**KOLOREM CZERWONYM OZNACZONE ZOSTAŁY ELEMENTE NIEZAKWALIFIKOWANE
DO ADAPTACJI W PODSTAWOWEJ 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.

no że pociąg robi brum zabije sobie człowieka i jak bardzo wpływa to na opóźnienie tego i innych pociągów

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 (dotyczy tylko stacji)
- **ASEM** – awaria semafora dowolnego typu
jazda na sygnał zastępczy bądź z pominięciem sygnału 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

1.2.2. Przypadek B.

Nieklasyfikowany.

1.3. Omówienie zależności.

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

- wypadkowej czasu
*dla agenta docelowego oraz innych na **TYM SAMYM SZLAKU W TEJ SAMEJ RELACJI***
[gdzie $A \rightarrow B \neq B \rightarrow A$] – oznaczenia szlaków w dalszej części
- 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.

Przykładowo: 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.

Wszystkie opóźnienia ze względu na mechanikę działania będą rejestrowane w danych wynikowych. Dokładna informacja dotycząca mechanizmu zliczania opóźnień znajduje się w punkcie 5. (od wiersza 1.).

1.4. Karta zależności czasowych.

	wypadkowa czasu			PROB		SPT	uwagi
	pojazd dotknięty	inne (w tym samym kierunku)		min	max		
AL*	$\frac{1}{2} * T_C$ [min]	k 1-3	$\frac{1}{7} * PD$ [min]	0.05	0.1	min	dla linii jednotorowych, wypadkową należy przemnożyć przez 1,5
		k 4-6	$\frac{1}{14} * PD$ [min]				
AWP	$\frac{1}{6} * T_C$ [min]	k 1-2	$\frac{1}{5} * PD$ [min]	0.02	0.04	-1	dla przepustowości klasy poniżej II, wypadkową należy przemnożyć przez 1,1
		k 3-4	$\frac{1}{8} * PD$ [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	-1	
		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	$\frac{1}{12} * PD$ [min]	0.01	0.05	min	dla linii jednotorowych, wypadkową należy przemnożyć przez 2 <i>prokurator i policja</i>
		pozostałe	$\frac{1}{24} * PD$ [min]				
WPO*	$\frac{3}{2} * T_C$ [min]	k 1-3	$\frac{1}{12} * PD$ [min]	0.005	0.01	min	dla przepustowości klasy poniżej II, wypadkową należy przemnożyć przez 1,3 <i>prokurator i policja</i>
		k 4-6	$\frac{1}{18} * PD$ [min]				
		pozostałe	$\frac{1}{24} * PD$ [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	$\frac{1}{12} * AGENT$ [min]	0.75	0.8		
		k 3	$\frac{1}{18} * AGENT$ [min]				
ZIN	$\frac{1}{14} * T_C$ [min]	k 1-2	$\frac{1}{12} * AGENT$ [min]	0.75	0.8		
		k 3	$\frac{1}{18} * AGENT$ [min]				

Tabela 1. Przedstawienie zależności między rodzajem opóźnienia a jego charakterystyką.

Użyte oznaczenia:

*	– oznaczenie poważnego opóźnienia
$k, n - m$	– n, m numeruje kolejne <i>pociągi</i> za agentem opóźnionym,
T_C [min]	– czas całkowity przejazdu pociągu [w minutach] [parametr pociągu],
AGENT	– odniesienie do rubryki <i>agent</i> wypadkowej czasu,
min	– minimalna wartość priorytetu.

Wszystkie ułamki zaokrąglane są w górę do najbliższej liczby całkowitej.

Opóźnienie w zamyśle obiektu *pociągu* dotyczy obliczania dodatkowego czasu przejazdu względem T_C . Na koniec symulacji opóźnienie dla każdego *pociągu* przedstawiane jest na 4 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 2 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 – stacja początkowa i B – stacja docelowa)

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 skrótowce 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*). Drugi człon odpowiada 5- lub 6-cyfrowemu numerowi handlowemu – dokładne złożenie numeru opisane jest wg wspomnianej *Instrukcji* Ir-1.

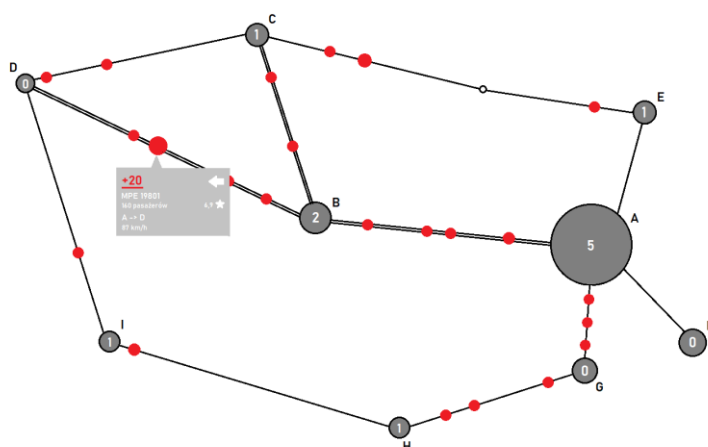
Oznaczenia te nie będą wykorzystywane w docelowej logice symulacyjnej.

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 zamówiony (tym samym nie został rozpoczęty). W momencie aktualizacji symulacji znany będzie także powód opóźnienia wstrzymujący *pociąg* od ruchu.

Prototyp wizualizacji obrazującej ww. zasady symulacji wygląda następująco:

12:20:46 20.05.2024
pon



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

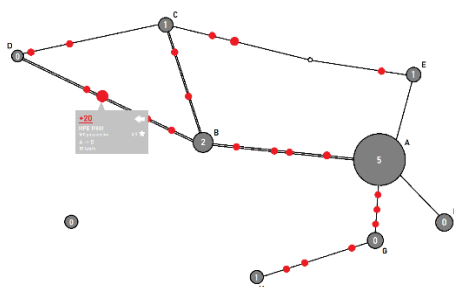
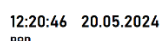
Na rysunku zauważamy także element charakterystyczny dla *pociągu* – okno dodatkowej informacji. Dedykowane dla każdego *pociągu*, generowane w czasie rzeczywistym.

2.6. Dodatkowe informacje.

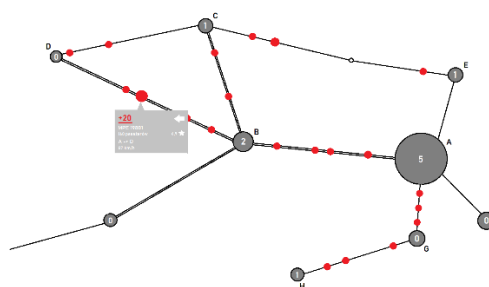
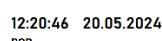
Dodatkowe informacje obejmują stację początkową biegu, stację końcową, aktualną prędkość aktualizowaną schematycznie z każdą sekundą symulacji, (ewentualnie) aktualny kierunek biegu pociągu oraz (ewentualnie) wskaźnik PRI – wskazanie względne priorytetu w momencie aktualizacji.

3. Stacja.

Pojęcie zamkniętego obiegu stacyjnego oznacza jednoznacznie sieć, w której punktami końcowymi są stacje, z żadnej z których nie wybiega półprosta do stacji niewidocznej na schemacie. Nieprawidłowym jest także pozostawienie stacji bez jakiegokolwiek połączenia (tzw. punkt ślepy sieci domkniętej). Poprawna sytuacja przedstawiona została na rysunku 1. w punkcie 2.4. Poniżej zobrazowane są 2 różne sytuacje – obie niepoprawne:



Rysunek 2. Niepoprawna mapa obiegów stacyjnych – sytuacja 1.



Rysunek 3. Niepoprawna mapa obiegów stacyjnych – sytuacja 2.

Parametryzacja stacji opiera się o 4 główne składniki:

- o kod stacji w zapisie liczbowym ($N \geq 1$)
- o S – ilość pociągów obecnych w momencie aktualizacji (z założeniem $S < C_{max} - 1$)
- o C_{max} – maksymalna pojemność stacji na godzinę wyznaczana za pomocą wzoru

$$C_{max} = \left\lceil \frac{K * T_{wym}}{60} \right\rceil$$

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

4. Szlak.

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

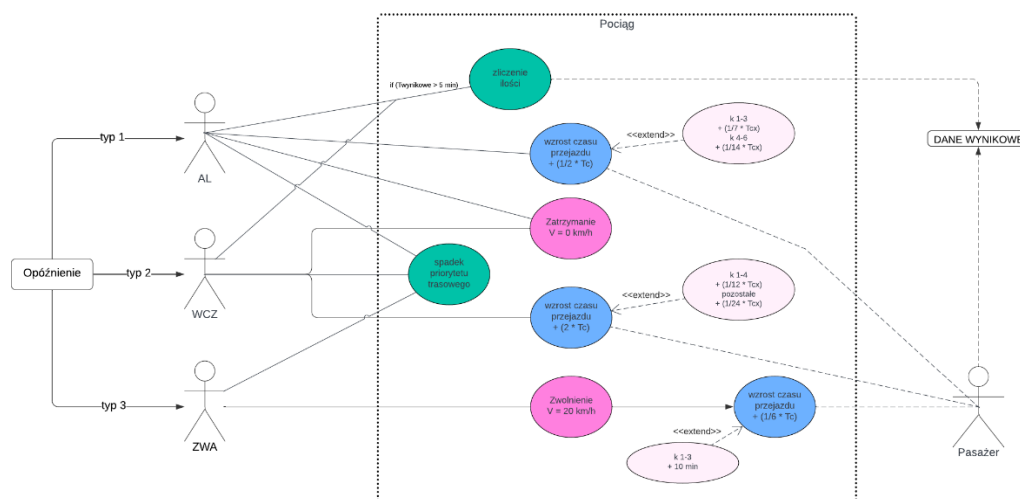
Wybrany językiem programowania (platformą wykonawczą) jest język **Java (wersja stabilna jdk 19.0.1)** z wykorzystaniem biblioteki **JavaFX (wersja stabilna 22)**. Narzędziem umożliwiającym automatyczne budowanie oprogramowania i zarządzanie zależnościami w projekcie obrany został **Gradle (wersja stabilna 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 i wizualizacji planowego przebiegu symulacji.

Następnie... coś będzie

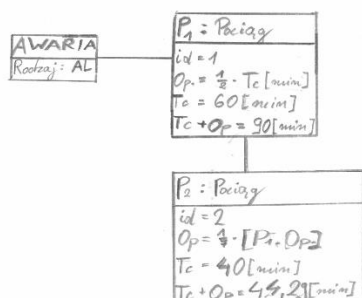
6. Diagramy sytuacyjne.

6.1. Diagram przypadków użycia.



Rysunek 4. Diagram przypadków użycia dla zakwalifikowanych przypadków opóźnień.

6.2. Diagram obiektów.



Zdarzenie i rodzaj awarii wpływa wprost na dotyczącą jej lokomotywę, modyfikując atrybut opóźnienia wstawn dotychczas rodzaju awarii i na jego podstawie kalkuluje opóźnienie.

Wtórnie, każda poprzedzająca lokomotywa jest modyfikowana przez tą przed nią, aby odzwierciedlić kaskadujący wpływ opóźnień.

W tym przypadku P_2 , otrzymuje odpowiedź z listy zależności masowych wóz na pociąg pierwszy w kolejności zapóźnienia przez awarie AL, oraz

Rysunek 5. Diagram obiektów dla przypadkowego układu symulacyjnego.