

Jerzy MIKULSKI
Krzysztof ZYCH
Dariusz BOGACKI

SYMULACJA RUCHU POCIĄGÓW

Streszczenie. Artykuł dotyczy modelowania symulacyjnego ruchu pociągów. Przydatność tego typu rozwiązań odnosi się zarówno do procesu projektowania jak również do analizy planowanych i istniejących obiektów kolejowych.

Stosowanie tego typu rozwiązań pozwala nie tylko na operowanie na ciągach liczbowych, ale także ułatwia wprowadzanie danych oraz obserwację obiektu w trakcie symulacji.

Wyniki badań pozwalają na określenie przepustowości stacji i dają możliwość oceny poprawności ich konstrukcji.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Резюме. Статья касается моделирования имитационной модели движения поездов. Полезность этого типа решений касается процессов проектирования как и анализа планированных и существующих железнодорожных объектов.

Применение этого типа решений позволяет не только оперировать последовательностью, а также облегчает введение данных и наблюдение объекта во время моделирования.

Результаты исследований позволяют определить пропускную способность станции и дают возможность оценки правильности конструкции.

SIMULATION OF RAILWAY TRAFFIC

Summary. The paper deals with modelling of simulated railway traffic. A useability of such solution relates both to the designing process and analysis of the .planned and existing railway facilities.

Application of these solution allows not only to perform computations with sequences of numbers, but also facilitates

a data input and observation of the object during simulation.

Test results allow to determine a traffic capacity of a railway station and evaluate their construction for correctness.

WPROWADZENIE

Szerokie stosowanie metod modelowania symulacyjnego w projektowaniu i analizie działania istniejących stacji potwierdza duże zainteresowanie obecnie tą dziedziną na kolei. Na bazie programów komputerowych opartych na modelach symulacyjnych stacji kolejowej możliwa jest obserwacja procesu technologicznego pracy stacji (wraz z otoczeniem) w pewnym, wybranym okresie działania.

Oprócz dotychczasowych rozwiązań modeli symulacyjnych, które pozwalały głównie na operowanie na ciągach liczb, z minimalnym wykorzystaniem (lub całkowitym brakiem) grafiki, możliwe jest zastosowanie grafiki komputerowej, która pozwala nie tylko na operowanie na ciągach liczbowych, ale także ułatwia wprowadzanie danych oraz obserwację obiektu w trakcie symulacji na ekranie monitora. Przydatność techniki symulacyjnej oraz jej wkład procentowy w rozwiązywanie konkretnych problemów badawczych opisany jest w [6].

OBLICZENIA POŁOŻENIA POCIĄGU NA SZLAKU

Cały szlak pomiędzy badaną stacją a stacjami sąsiednimi (wyposażony w samoczynną blokadę liniową) podzielony jest na odcinki blokowe. Aby prawidłowo obliczać położenie pociągu na szlaku, należy rozpatrzyć zachowanie się pociągu podczas jego jazdy na jednym odcinku blokady.

Na potrzeby symulacji dalsze rozważania uproszczono do trzech rodzajów ruchu i przyjęto, że ruch ze zwiększającą się prędkością jest ruchem jednostajnie przyśpieszonym, natomiast ruch ze zmniejszającą się prędkością jest ruchem jednostajnie

opóźnionym. Zrezygnowano także z dodatkowych obliczeń oporów ruchu oraz oporów podczas przyspieszania i zwalniania.

W modelu symulacyjnym przyjęto, że przyspieszenia (a_p) oraz opóźnienia (a_o) wynoszą [7]:

- dla pociągów pasażerskich $a_p = 0.3 \text{ m/s}^2$; $a_o = -0.6 \text{ m/s}^2$
- dla pociągów towarowych $a_p = 0.2 \text{ m/s}^2$; $a_o = -0.4 \text{ m/s}^2$

Na każdym odcinku blokady o długości S istnieje (na całej jego długości) prędkość dopuszczalna V_d . Podczas jazdy pociągu może zdarzyć się sytuacja, że pociąg nie osiągnie prędkości dopuszczalnej. W takim przypadku osiągana jest jedynie prędkość mniejsza od dopuszczalnej, oznaczana wtedy jako prędkość maksymalna V_m .

Czas jazdy pociągu jest to suma czasów na zwiększanie prędkości (od prędkości początkowej V_p do prędkości dopuszczalnej V_d) na odcinku drogi S_1 i zmniejszanie prędkości (od prędkości dopuszczalnej V_d do prędkości końcowej V_k) na odcinku drogi S_3 oraz czasu jazdy ze stałą prędkością na odcinku drogi S_2 (rys.1).

Prędkości na poszczególnych odcinkach blokady są ze sobą ściśle powiązane. Wynika to z potrzeby zachowania płynności w prowadzeniu ruchu pociągów. Dlatego też prędkość końcowa jednego odcinka blokady jest zarazem prędkością początkową następnego odcinka (rys.2).

Czas przejazdu jednego odcinka można wyrazić wzorem:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 \quad (1)$$

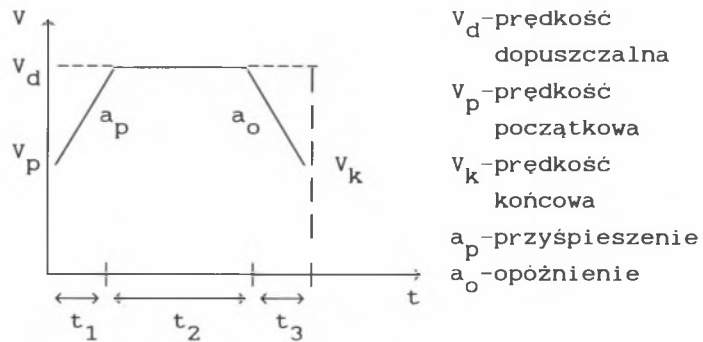
gdzie poszczególne czasy można przedstawić:

$$t_1 = \frac{V_d - V_p}{a_p} \quad (2)$$

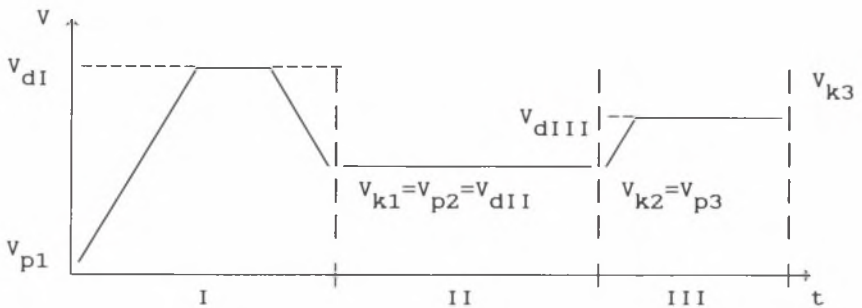
$$t_2 = \frac{S_2}{V_d} \quad (3)$$

$$t_3 = \frac{V_k - V_d}{a_o} \quad (4)$$

Dla obliczeń symulacyjnych należy określić czas, jaki potrzebuje pociąg na przebycie jednego odcinka blokady. Aby otrzymać ten czas, trzeba najpierw wyliczyć nieznaną wartość drogi S_2 .



Rys.1. Poglądowy wykres ruchu pociągu na jednym odcinku blokady
 Fig.1. A demonstration diagram of the travel at one interlocking track section



Rys.2. Przykład wykresu ruchu pociągu dla trzech pierwszych odcinków blokady

Fig.2. An exemplary diagram of the train travel for three first interlocking track section

Suma dróg na jednym odcinku blokady wynosi:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (5)$$

gdzie:

$$S_1 = v_p t_1 + \frac{a_p t_1^2}{2} \quad (6)$$

$$S_2 = S - (S_1 + S_3) \quad (7)$$

$$S_3 = v_d t_3 + \frac{a_o t_3^2}{2} \quad (8)$$

Po wstawieniu do wzorów (6) i (8) odpowiednio wyrażeń (2) i (4) otrzymuje się:

$$S_1 = v_p \frac{v_d - v_p}{a_p} + \frac{a_p \left(\frac{v_d - v_p}{a_p} \right)^2}{2} \quad (9)$$

$$S_3 = v_d \frac{v_k - v_d}{a_o} + \frac{a_o \left(\frac{v_k - v_d}{a_o} \right)^2}{2} \quad (10)$$

Podstawiając wzory (9) i (10) do wzoru (7) (po przekształceniach) otrzymuje się zależność:

$$S_2 = S - \left(\frac{v_d^2 - v_p^2}{2a_p} + \frac{v_k^2 - v_d^2}{2a_o} \right) \quad (11)$$

Po przeniesieniu zależności (11) do wzoru (3) i wstawieniu do wzoru (1) można otrzymać ostateczne wyrażenie na obliczanie czasu, jaki potrzebuje pociąg na przebycie jednego odcinka blokady:

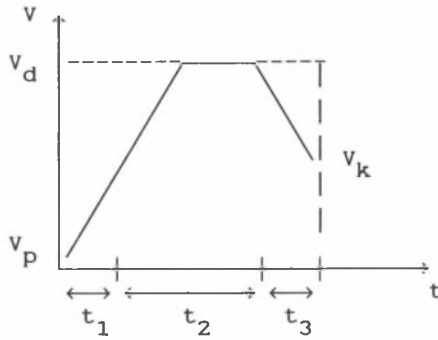
$$T = \frac{v_d - v_p}{a_p} + \frac{s - \left(\frac{v_d^2 - v_p^2}{2a_p} + \frac{v_k^2 - v_d^2}{2a_o} \right)}{v_d} + \frac{v_k - v_d}{a_o} \quad (12)$$

Wszystkie pociągi przemieszczają się kolejno od pierwszego do ostatniego odcinka samoczynnej blokady liniowej. Powoduje to, że ruch pociągu może być różny w zależności od położenia oraz warunków ruchowych na trasie. Należy więc rozpatrzyć wszystkie sposoby poruszania się pociągu na odcinkach blokady:

- Na pierwszym odcinku blokady pociąg rozpoczyna jazdę zawsze ruchem jednostajnie przyspieszonym, gdyż z założenia wjazd na pierwszy odcinek odbywa się bezpośrednio po postoju na sąsiedniej stacji. Zatem pociąg rusza z prędkością początkową $v_p = 0$ (rys.3). Natomiast w przypadku jazdy na kolejnych odcinkach zachodzi już zależność:

$$0 \leq v_p \leq v_d$$

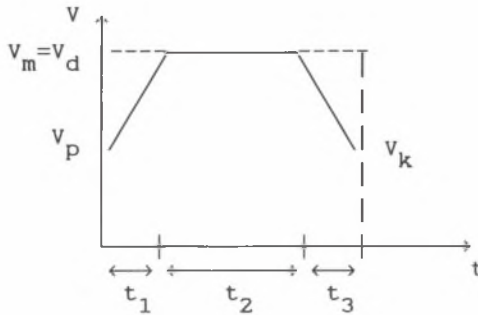
- Na dowolnym odcinku blokady - przy założeniu, że na semaforze wjazdowym na odcinek następny jest światło zielone oraz że czas przejazdu musi być najkrótszy - prędkość pojazdu wzrasta (jak w ruchu jednostajnie przyspieszonym) od prędkości początkowej v_p do prędkości maksymalnej równej prędkości dopuszczalnej ($v_m = v_d$) przez czas t_1 , utrzymuje się na tym poziomie przez czas t_2 , a następnie maleje (jak w ruchu jednostajnie opóźnionym) do prędkości końcowej v_k przez czas t_3 (rys.4).



Rys.3. Wykres ruchu pociągu na pierwszym odcinku blokady

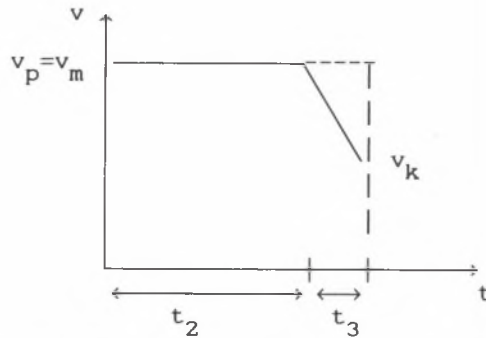
Fig.3. A diagram of the train travel at a first interlocking track section

- W szczególnym przypadku może zaistnieć sytuacja, że prędkość początkowa jest równa prędkości maksymalnej ($v_p = v_m$) - wtedy czas $t_1 = 0$ (rys.5).
- W szczególnym przypadku może zaistnieć sytuacja, że prędkość końcowa jest równa prędkości maksymalnej ($v_k = v_m$) - wtedy czas $t_3 = 0$ (rys.6).



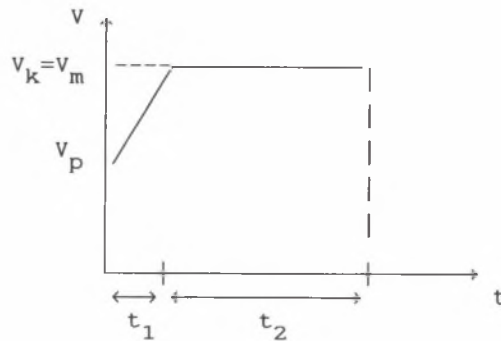
Rys.4. Wykres ruchu pociągu na dowolnym odcinku blokady w przypadku, gdy następny odcinek blokady jest wolny

Fig.4. A diagram of the train travel at any interlocking track section in case, when the next interlocking section is free



Rys.5. Wykres ruchu pociągu na dowolnym odcinku blokady w szczególnym przypadku, gdy $v_p = v_m$

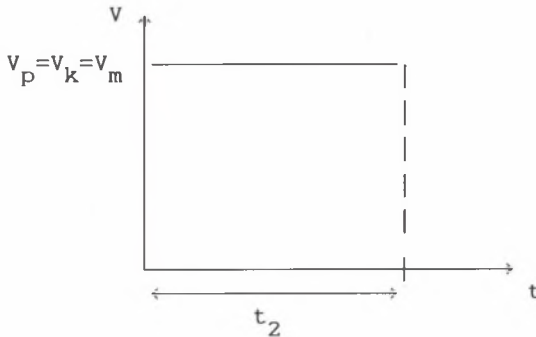
Fig.5. A diagram of the train travel at any interlocking track section in a special case, when $v_p = v_m$



Rys.6. Wykres ruchu pociągu na dowolnym odcinku blokady w szczególnym przypadku, gdy $v_k = v_m$

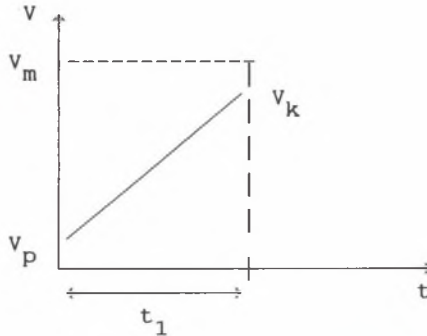
Fig.6. A diagram of the train travel at any interlocking track section in a special case, when $v_k = v_m$

- W szczególnym przypadku może zaistnieć sytuacja, że prędkość początkowa jest równa prędkości końcowej i prędkości maksymalnej ($v_p = v_k = v_m$) - wtedy czas $t_1 = t_3 = 0$ (rys.7).
- W szczególnym przypadku może zaistnieć sytuacja, że pociąg poruszając się ruchem jednostajnie przyspieszonym nie osiągnie prędkości maksymalnej ($v_p < v_m$ i $v_k < v_m$) - wtedy czas $t_2 = t_3 = 0$ (rys.8). W takim przypadku następny odcinek blokowy musi "uwzględnić" tę sytuację i dostosować się do niej.
- Na dowolnym odcinku blokady może zaistnieć sytuacja, że największa możliwa do osiągnięcia prędkość maksymalna jest mniejsza od prędkości dopuszczalnej ($v_m \leq v_d$); sytuacja taka może zaistnieć, gdy prędkość dopuszczalna na następnym odcinku blokady jest tak mała, że pociąg zanim osiągnie prędkość dopuszczalną obecnego odcinka, musi rozpocząć hamowanie (żeby z odpowiednią prędkością



Rys.7. Wykres ruchu pociągu na dowolnym odcinku blokady w szczególnym przypadku gdy $v_p = v_k = v_m$

Fig.7. A diagram of the train travel at any interlocking track section in a special case, when $v_p = v_k = v_m$



Rys.8. Wykres ruchu pociągu na dowolnym odcinku blokady w szczególnym przypadku gdy $v_p < v_m$ i $v_k < v_m$

Fig.8. A diagram of the train travel at any interlocking track section in a special case, when $v_p < v_m$ i $v_k < v_m$

wjechać na następny odcinek blokady); prędkość pojazdu wzrasta w takim przypadku od prędkości początkowej v_p do prędkości maksymalnej v_m przez czas t_1 , a następnie maleje do prędkości końcowej v_k przez czas t_3 (czas ruchu jednostajnego $t_2=0$) (rys.9).

Prędkość maksymalną v_m można w tym przypadku wyznaczyć z warunków:

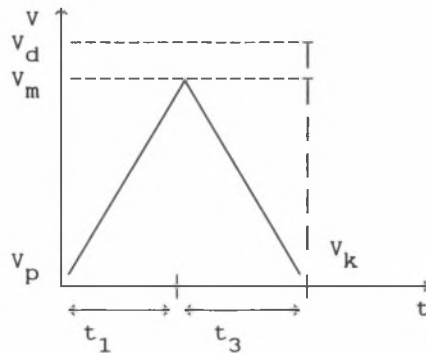
$$\begin{cases} v_m^2 - v_p^2 = 2a_p S_1 & \Rightarrow S_1 = \frac{v_m^2 - v_p^2}{2a_p} & (13) \\ v_m^2 - v_k^2 = 2a_o S_3 & \text{gdzie } S_3 = (S - S_1) & (14) \end{cases}$$

Po wstawieniu zależności (13) do wzoru (14) otrzymuje się:

$$a_p v_m^2 - a_p v_k^2 = a_o a_p 2S - a_o v_m^2 + a_o v_p^2 \quad (15)$$

$$a_p v_m^2 + a_o v_m^2 = a_o a_p 2S + a_o v_p^2 + a_p v_k^2 \quad (16)$$

$$v_m^2 = \frac{a_o a_p}{a_p + a_o} \left(2S + \frac{v_p^2}{a_p} + \frac{v_k^2}{a_o} \right) \quad (17)$$



Rys.9. Wykres ruchu pociągu na dowolnym odcinku blokady w przypadku gdy czas ruchu jednostajnego $t_2=0$

Fig.9. A diagram of the train travel at any interlocking track section case of uniform motion $t_2=0$

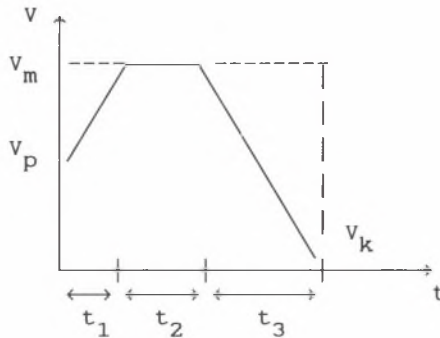
Ze wzoru (17) otrzymuje się wzór na prędkość maksymalną V_m :

$$V_m = \sqrt{a_h \left(2S + \frac{v_p^2}{a_p} + \frac{v_k^2}{a_o} \right)} \quad (18)$$

gdzie:

$$\frac{1}{a_h} = \frac{1}{a_p} + \frac{1}{a_o}$$

- Na dowolnym odcinku blokady - przy założeniu, że na semaforze wjazdowym na odcinek następny jest światło czerwone, czyli gdy następny odcinek jest zajęty - pociąg musi się zatrzymać na końcu odcinka, a jego prędkość końcowa jest w tym przypadku równa zero ($V_k=0$) (rys.10).



Rys.10. Wykres ruchu pociągu na dowolnym odcinku blokady w przypadku, gdy następny odcinek blokady jest zajęty

Fig.10. A diagram of the train travel at any interlocking track section in case, when the next interlocking section is engaged

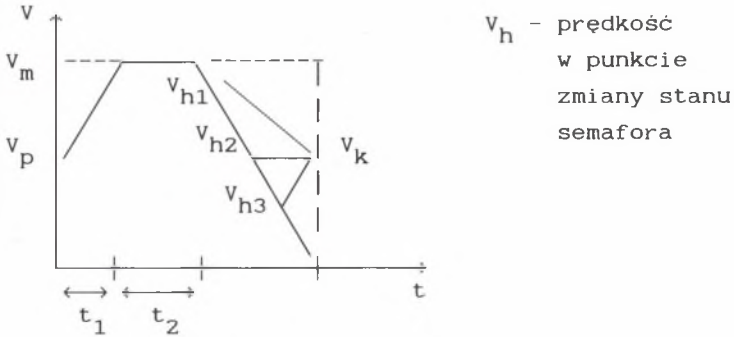
Aby pociąg mógł się zatrzymać na końcu odcinka, istnieje pewien punkt; w którym musi rozpocząć się hamowanie. Punkt ten nazywa się krytycznym. Jest to chwila, w której najpóźniej musi być znany stan semafora następnego odcinka. Jeżeli w tym momencie rozpoczyna się hamowanie, to wartość prędkości końcowej v_k dla tego odcinka przyjmowana jest jako równa zero ($v_k=0$).

Oczywiście, możliwa jest zmiana stanu semafora w trakcie hamowania na stan "droga wolna". Dlatego po rozpoczęciu hamowania rozpoczyna się śledzenie stanu semafora i w przypadku zmiany jego stanu na "droga wolna" - w miejsce $v_k=0$ - przyjmowana jest wartość prędkości końcowej taka, jaka była ustalona przed rozpoczęciem hamowania.

W zależności od wartości prędkości podczas hamowania v_h i wartości prędkości, z jaką ma wjechać pociąg na następny odcinek blokady, należy podjąć w procesie jazdy następujące decyzje (rys.11):

- gdy $v_{h1} > v_k$, dalej hamować (poruszać się ruchem jeżdżącym opóźnionym) przez czas $t_{31} = (v_{h1} - v_k) / a_0$;

- gdy $v_{h2} = v_k$, dalej poruszać się ruchem jednostajnym przez czas $t_{32} = S_{32}/v_k$;
- gdy $v_{h3} < v_k$, dalej przyspieszać (poruszać się ruchem jednostajnie przyspieszonym) przez czas $t_{33} = (v_k - v_{h3})/a_p$ do osiągnięcia prędkości v_k lub do końca odcinka.



Rys.11. Wykres wariantów ruchu pociągu na dowolnym odcinku blokady po zmianie semafora ze stanu "STÓJ" na "DROGA WOLNA"

Fig.11. A diagram of train travel variants at any interlocking track section after a semaphore change from "STOP" to "FREE WAY"

OBLICZENIA W OBRĘBIE STACJI

W ramach konstruowania właściwego modelu ruchu pociągów w obrębie stacji należy przede wszystkim opracować plan i przeprowadzić pomiary trwania poszczególnych operacji ruchowych (wraz z wydzielonymi czasami oczekiwania na daną operację), czyli składowych tak zwanych stacyjnych odstępów czasu. Wyniki pomiarów odpowiednich czasów przedstawiono w [3].

Wielkość stacyjnego odstępów czasu zależy od ilości i rodzaju operacji ruchowych, jakie muszą być wykonane w ciągu tego czasu w celu zapewnienia bezpieczeństwa ruchu przy przyjmowaniu, przepuszczaniu i wyprawianiu pociągów, przy czym wszystkie

operacje powinny przebiegać ściśle według obowiązujących przepisów ruchu [5].

W ruchu pociągów w obrębie stacji do operacji ruchowych uwzględnia się:

- czas przygotowania drogi przebiegu,
- czas postoju na torze stacyjnym (peronie),
- czas rozruchu i hamowania.

Na stacjach wyposażonych w przekaźnikowe urządzenia sterowania ruchem kolejowym z samoczynnym nastawianiem przebiegów, na czas zużywany przez nastawnie na przygotowanie drogi przebiegu t_{pd} składają się następujące czasy:

t_z - czas zużyty na zapowiadanie pociągu (otrzymanie i zapisanie "zamówienia" drogi przebiegu) (według [7] ok. 24 s),

t_o - czas obsługi przycisków zwrotnicowych z uwzględnieniem ilości zwrotnic należących do danej drogi przebiegu i liczby napędów, które mogą być przestawiane jednocześnie (w przypadku automatycznego nastawiania przebiegów jest to czas przestawiania zwrotnicy) (ok. 2 s [7]),

t_k - czas kontroli zajętości torów na planie sytuacyjnym (ok. 2 s [7]),

t_s - czas obsługi przycisku sygnałowego (ok. 2 s [7]).

Czas przygotowania drogi przebiegu obliczany jest za wzoru:

$$t_{pd} = t_z + \left[\frac{n}{i} \right] \cdot t_o + t_k + t_s \quad (19)$$

gdzie:

n - liczba napędów,

i - liczba napędów przestawianych jednocześnie.

Wyniki uzyskiwane na podstawie powyższego wzoru odpowiadają czasom rzeczywistym tylko w przypadku bezawaryjnej pracy urządzeń. Uszkodzenia izolacji, chwilowe usterki napędu zwrotnicowego itp. powodują zwiększenie liczby wykonywanych operacji nastawczych (podanie sygnału zastępczego, bocznikowanie izolacji lub zmiana drogi przebiegu), a tym samym wydłużenie czasu przygotowania drogi przebiegu.

Z tego powodu dokonuje się również oddzielnych pomiarów tego czasu. Czas przygotowania drogi przebiegu wynosi, według [7], ok. 32 s.

Na analizowanych stacjach (przełącznikowe urządzenia srk) rozwiązanie drogi przebiegu następuje samoczynnie i również samoczynnie następuje po przejeździe pociągu zmiana sygnału "wolna droga" na sygnał "stój".

Przy analizie ruchu pociągów w obrębie stacji istotna jest również znajomość czasu, jaki upłynie pomiędzy przyjazdem (lub odjazdem) pierwszego pociągu a przyjazdem (lub odjazdem) następnego pociągu (przy jazdach odbywających się kolejno). Rozpatruje się więc w tym przypadku czas od przyjazdu pociągu do rozwiązania przebiegu wjazdowego oraz czas od odjazdu pociągu do rozwiązania przebiegu wyjazdowego i oblicza na tej podstawie stacyjny czas następstwa [4]:

$$\Delta t_1 = t_p + \sqrt{\frac{2 \cdot d}{a_p}} + \left(\frac{S_4 + S_5 + d}{v_d} \right) + \frac{v_d}{a_o} \quad (20)$$

gdzie:

- t_p - czas postoju na stacji,
- d - długość pociągu,
- S_4 - odcinek widoczności,
- S_5 - droga hamowania,
- v_d - prędkość dopuszczalna.

Ponieważ elementarne składowe czasu następstwa nie uwzględniają zakłóceń przebiegu pociągów spowodowanych nieprzewidywanymi awariami (np. uszkodzenie lokomotywy, uszkodzenie urządzeń srk itp.), wartości uzyskiwane ze wzoru odbiegają od rzeczywistych. Dlatego dokonuje się pomiarów odstępów czasu pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami pociągów z sąsiednich posterunków zapowiadawczych. Średni odstęp czasowy generacji zgłoszeń wynosi, według [3], ok. 17 min.

Wyznaczone ze wzorów (19) i (20) lub otrzymane na podstawie pomiarów wartości Δt_1 i t_{pd} wykorzystane są w procesie symulacji do określania czasu generacji zgłoszeń na szlaku (wartość Δt_1) oraz obliczania faz ruchu pociągów (wartość t_{pd}).

SYMULACJA

Ruch kolejowy polega na oddziaływaniu pojazdu na układ torowy i urządzenia srk. Z tego względu do symulacji ruchu niezbędny jest szczegółowy opis obiektów będących przedmiotem symulacji. Układ torowy i urządzenia srk mogą być reprezentowane przez model sieciowy, którego konstrukcję (opis atrybutów) przedstawiono w [1] i [2]. Natomiast pojazdy poruszające się po sieci mogą być reprezentowane przez zbiór

$$POC = \{poc_i \mid i = 1, \dots, l_{poc}\}$$

gdzie:

- l_{poc} - liczba pociągów podlegających obserwacji, z których każdy może poruszać się według relacji (określających trasy przejazdu) ze zbioru:

$$REL = \{rel_i \mid i = 1, \dots, l_r\}$$

gdzie:

- l_r - liczba możliwych relacji.

Dodatkowo ze względu na różnorodność przewozów można określić rodzaje pociągu za pomocą zbioru

$$PTYP = \{ptyp_i \mid i = 1, \dots, t_{poc}\}$$

gdzie:

- t_{poc} - typ (rodzaj) pociągu

W modelu rozróżniono tylko podstawowe rodzaje pociągów: pospieszne, pasażerskie, towarowe.

Dla każdego pociągu poc_i można określić podstawowe parametry dotyczące sposobu poruszania się po sieci w postaci zbioru atrybutów pociągu:

$$ATRPOC \{nrpoc, rl, dl, v, t_{poc}, t_g, t_w, a_p, a_o\}$$

gdzie:

- $nrpoc$ - numer pociągu,

- rl - relacja, $rl \in REL$ (drogę jazdy przez stację opisują macierze GZ, WZ [2]),

- d_l - długość pociągu,
- t_{poc} - typ pociągu, $t_{poc} \in PTYP$,
- t_g - czas pojawienia się pociągu w rejonie sieci,
- t_w - czas wyjazdu pociągu poza rejon sieci,
- a_p - przyspieszenie,
- a_o - opóźnienie.

Omawiany model symulacyjny zawiera następujące założenia programowe:

- symulowana stacja może łączyć się ze stacjami sąsiednimi za pośrednictwem szlaków dwutorowych, wyposażonych w jednokierunkową samoczynną blokadę liniową. Liczba odcinków blokady może być dowolna¹,
- dla każdego odcinka blokady przyjmowane są wartości długości odcinka² oraz prędkości dopuszczalnej na odcinku³,
- generację zgłoszeń ograniczono do pociągów pospiesznych, osobowych i towarowych,
- w generacji wykorzystywane są dwa sposoby zgłoszeń: generacja losowa oraz ustalony rozkład jazdy.

Generowanie losowe wiąże się z całkowitym wyborem parametrów początkowych na zasadzie losowej. Dla każdej danej losowana jest przypadkowa wartość z przedziału liczb odpowiadającemu konkretnemu parametrowi.

Generacja zgłoszeń na danym szlaku odbywa się losowo w odstępach czasowych $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$, gdzie składnik pierwszy jest stały (tzw. stacyjny czas następstwa), a składnik drugi jest losowany z prawdopodobieństwem o rozkładzie normalnym w zadanym przedziale. Generacja odbywa się niezależnie dla każdej relacji.

W momencie pojawienia się pociągu na szlaku zostaje mu "nadany" typ. Prawdopodobieństwo wylosowania któregoś z typów pociągu wynosi 1/3. W przypadku wygenerowania się kilku

¹ W omawianym symulatorze przyjęto nie mniej niż 3, nie więcej niż 10.

² W omawianym symulatorze przyjęto nie mniej niż 1000 m.

³ W omawianym symulatorze przyjęto nie więcej niż 160 km/h.

pociągów w tej samej jednostce czasowej następuje sprawdzenie typu pociągu i odrzucenie typów o niższym priorytecie ważności.

Wszystkie pojawiające się podczas symulacji pociągi mają zależną od typu określoną długość składu w metrach. Wartości określające długości składów są zależne od długości wagonów towarowych oraz osobowych (w składach pospiesznych) lub jednostek trakcyjnych (dla pociągów osobowych). Spośród tych wartości zostaje generowana długość każdego pojawiającego się pociągu⁴. Dla poszczególnego elementu każdego ciągu przyjęto jednakowe prawdopodobieństwo wylosowania.

Numeracja zgłoszeń odbywa się kolejno według generowania pociągów na pierwszym odcinku samoczynnej blokady i jest zachowywana do momentu zakończenia procesu symulacji.

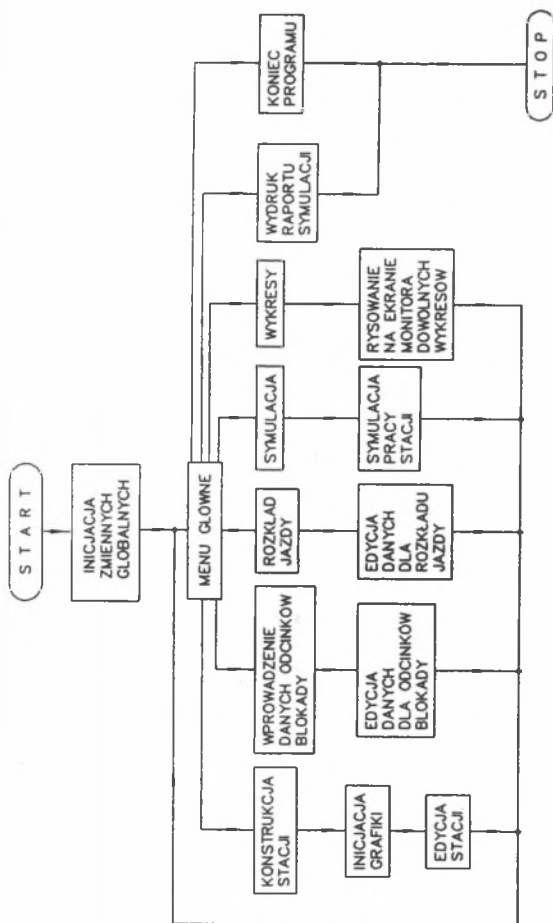
Na symulowanej stacji pociągi mogą również poruszać się według ustalonego rozkładu jazdy. W takim przypadku następuje rezygnacja z generacji losowej. Pociągi poruszają się według ustalonych na wstępie parametrów, którymi są:

- typ pociągu,
- relacja,
- czas zgłoszenia.

Wszystkie te wartości są wprowadzane kolejno dla każdej relacji, a następnie w niej dla wszystkich typów pociągów osobno.

Ogólny algorytm programu symulacji przedstawiono na rys.12. Po etapie edycji stacji ([1] - rys.5) możliwe jest przejście do procesu symulacji (rys.13). Pierwszym etapem symulacji jest utworzenie listy generacji zgłoszeń (rys.14).

⁴ W omawianym symulatorze przyjęto dla pociągów pospiesznych 100, 120, ... 300 metrów, dla pociągów osobowych 60, 120, 180 metrów oraz dla pociągów towarowych 150, 155, ...600 metrów.



Rys.12. Ogólny algorytm programu symulacyjnego

Fig.12. A general algorithm of simulation program

Lista generacji zgłoszeń zawiera pociągi ułożone kolejno według czasu ich "pojawienia" się na danej relacji. Każdemu z pociągów przypisywane są wartości: czas zgłoszenia, typ, długość i relacja. W przypadku generacji losowej wszystkie dane do listy generacji zgłoszeń są losowane. Natomiast w przypadku rozkładu jazdy wszystkie wartości są ustalane przez operatora. Po rozpoczęciu symulacji następuje przeglądanie kolejno wszystkich zegarów zgłoszeń pociągów umieszczonych na liście generacji zgłoszeń (rys.15). W przypadku osiągnięcia odpowiedniej wartości czasu następuje włączenie danego pociągu do listy zgłoszeń w głównym bloku symulacji. Na początku głównego bloku symulacji, po inicjacji generatorów zgłoszeń, wprowadza się całkowity czas symulacji i określa się skalę czasową.

Następnym krokiem symulacji jest sprawdzenie warunku, czy nie upłynął ustalony czas symulacji. W przypadku gdy założony czas skończył się, następuje zakończenie procesu badania stacji i powrót do głównego menu programu.

W przypadku gdy nie upłynął czas symulacji, program rozpoczyna przeglądanie zegarów zgłoszeń z listy zgłoszeń (lista zgłoszeń jest dynamiczną strukturą danych, w której znajdują się wszystkie zgłoszenia pociągów będących aktualnie na odcinkach blokady lub na stacji, a zgłoszenia "dodawane" są do listy przez generator zgłoszeń w trakcie symulacji i usuwane po opuszczeniu stacji) i sprawdzanie ich wartości. Jeżeli zegar zgłoszenia osiągnął wartość zero, oznacza to, że nastąpił ruch na odcinku blokady lub na stacji i program przechodzi do procedury obliczeń faz ruchu pociągu.

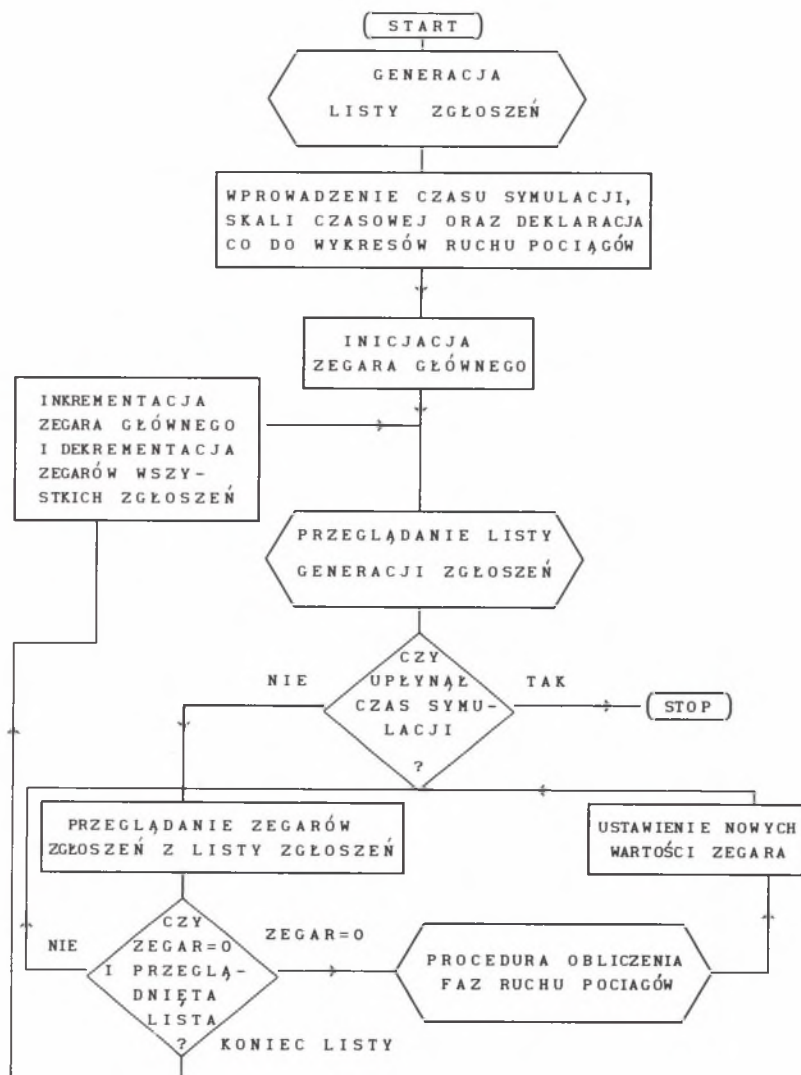
Aktualizację opisu każdego z zajętych odcinków torowych szlaku i stacji realizuje procedura obliczania faz ruchu pociągu (rys.16). Efektem działania procedury jest rozpoznawanie odpowiedniej fazy ruchu do każdego pociągu. Faza ruchu jest to pewien moment podczas symulacji, w którym muszą zostać spełnione odpowiednie warunki do prawidłowego przebiegu procesu symulowania ruchu pociągów. Można wyróżnić następujące fazy:

- stacja-wjazd,
- stacja-wyjazd,

- stacja-postój,
- stacja-postój-wyjazd,
- odcinek blokady-początek wjazdu,
- odcinek blokady-koniec wjazdu,
- odcinek blokady-odcinek krytyczny,
- odcinek blokady-postój.

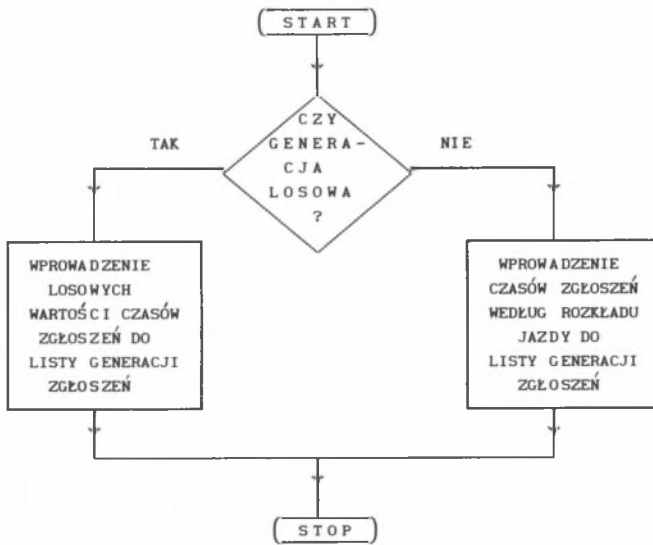
Każda z wymienionych faz odpowiada za inne czynności związane z ruchem pociągu:

- faza "stacja-wjazd" utwierdza drogę przejazdu od wjazdu do peronu włącznie (przejście do tej fazy jest możliwe po sprawdzeniu, czy od momentu wygenerowania zgłoszenia pociągu upłynął czas niezbędny na przygotowanie drogi przebiegu t_{pd}),
- faza "stacja-postój" wyznacza drogę wyjazdową od peronu do wjazdu po wcześniejszym odblokowaniu drogi wjazdu dla następnego pociągu,
- faza "stacja-postój-wyjazd" utwierdza drogę wyjazdu ze stacji,
- faza "stacja-wyjazd" odblokowuje po wyjeździe pociągu drogę wjazdu dla następnego pociągu,
- faza "odcinek blokady-początek wjazdu" sprawdza numer odcinka i przy spełnionych warunkach wyznacza trasę przejazdu przez stację, po czym ustawia semafor bieżącego odcinka blokowego na sygnał "stój" oraz sprawdza sygnał semafora następnego odcinka,
- faza "odcinek blokady-postój" zatrzymuje pociąg przed semaforem z sygnałem "stój",
- faza "odcinek blokady-koniec wjazdu" ustawia sygnał semafora poprzedniego odcinka blokady na "droga wolna" oraz sprawdza sygnał semafora następnego odcinka,
- faza "odcinek blokady-odcinek krytyczny" śledzi stan semafora.



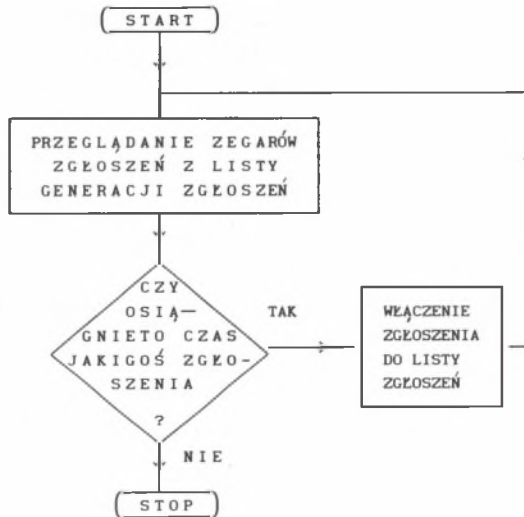
Rys.13. Program symulacji

Fig.13. Simulation program



Rys. 14. Generacja listy zgłoszeń

Fig. 14. Generation of a list of entries



Rys. 15. Przeglądanie listy generacji zgłoszeń

Fig. 15. Reviewing the generated list of entries

Wśród wymienionych faz nie istnieje jako osobna faza "odcinek blokady-ruch". Spowodowane jest to tym, że ruch pociągu jest częścią składową każdej z wymienionych faz. Podczas całej symulacji program stara się utrzymać płynność ruchu pociągów, a wszystkie fazy są miejscami kontroli, w których ta płynność mogłaby zostać zakłócona.

Każda z faz wyznacza kolejny "stan pociągu". W przypadku faz dotyczących ruchu na stacji obliczenia ograniczają się do sprawdzenia sposobu przejazdu przez stację i wybrania odpowiedniego wariantu obsługi. Dla faz dotyczących ruchu na odcinkach blokady każdy odcinek sprawdzany jest pod względem ruchowym osobno. Dlatego na każdym odcinku są cały czas kontrolowane zajętości odcinków przed pociągiem i wybierane warianty ruchu odpowiadające założeniom oraz możliwościom ruchowym blokady.

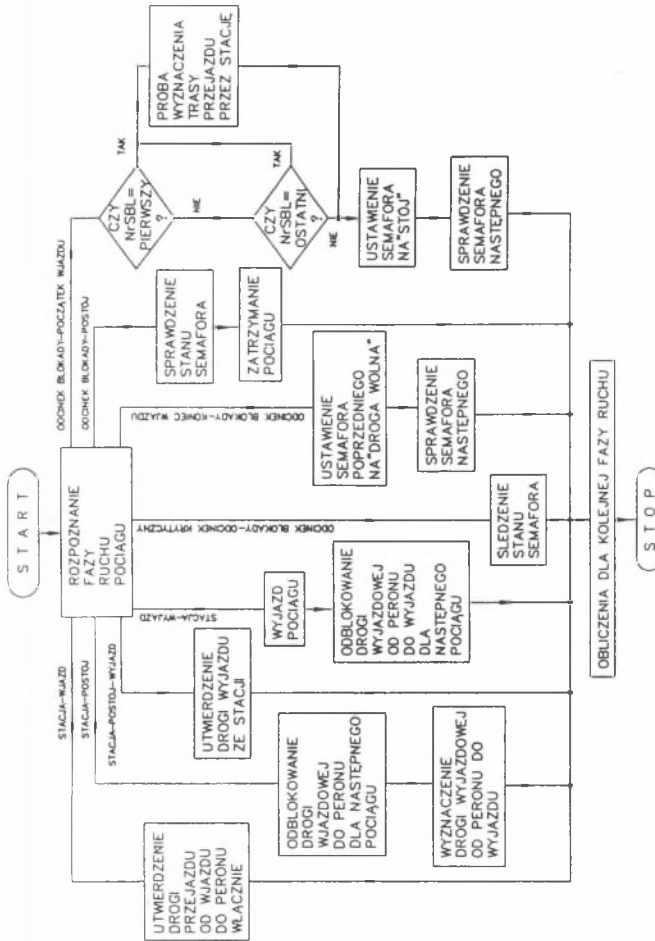
Oprócz tego istnieje ścisły związek pomiędzy ruchem na odcinkach blokady a ruchem na stacji. Dotyczy on ustawiania drogi przebiegu. W przypadku zaistnienia możliwości wyznaczenia trasy przejazdu przez stację (dla pociągu znajdującego się jeszcze na odcinkach blokady) następuje jej wyznaczenie, a następnie wjazd pociągu na stację.

Dla każdej z faz przechowywane są informacje (parametry) dotyczące:

- następnej fazy,
- czasu do nowej fazy,
- prędkości,
- położenia.

Informacje te dotyczą parametrów, z jakimi pociąg wkracza w następną fazę.

Wartość parametru "czas do nowej fazy" określa czas, po jakim pociąg osiągnie następną fazę. Wartość ta jest wpisywana do zegara zgłoszenia, a następnie dekrementowana przy każdym przejściu głównej pętli symulacji. Gdy zegar dla danego zgłoszenia osiągnie wartość równą zero, następuje moment zmiany fazy ruchu. Konkretny rodzaj fazy, który ma nastąpić, jest czytany z parametru "następna faza". Po zmianie fazy ruchu następują obliczenia dla kolejnej fazy (rys.17).

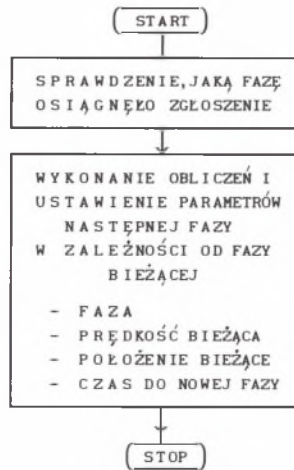


Rys.16. Procedura obliczania faz ruchu pociagu
Fig.16. Computation procedure of train travel stages

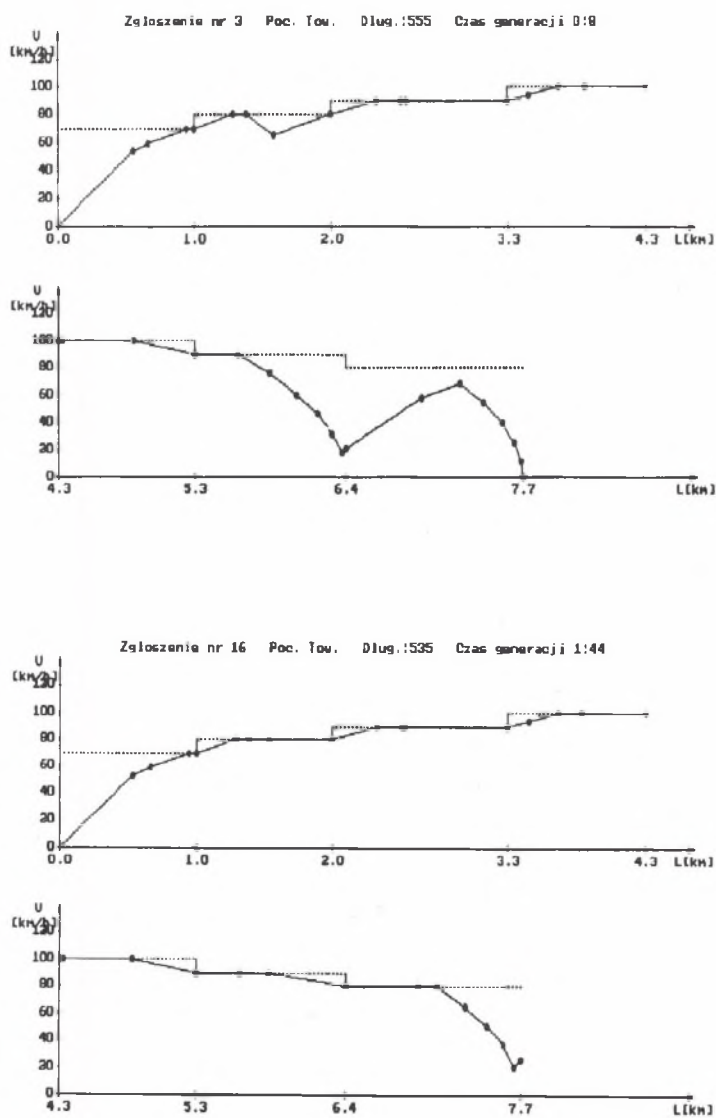
Celem procedury obliczeń dla następnej fazy ruchu jest ustawienie (po każdej fazie) nowych wartości parametrów: zegara, nowej fazy, prędkości i położenia. Po ustawieniu nowych parametrów cykl powtarza się, a zgodnie z parametrem "czas do nowej fazy", zostaje ustawiona nowa wartość zegara zgłoszeń.

Po zakończeniu procesu symulacji otrzymywane są wyniki symulacji w formie wykresów ruchu pociągów oraz raportów z symulacji. Przykładowe wykresy przedstawione są na rys.18, a raport symulacji w tabelicy 1.

Symulacja pozwala na określenie przepustowości stacji i daje możliwość oceny poprawności konstrukcji stacji.



Rys.17. Algorytm obliczania dla kolejnej fazy ruchu
Fig.17. Computation algorithm for a successive stage



Rys.18. Przykładowy wykres ruchu pociągu

Fig.18. An example diagram of train traffic

Tablica 1

Raport symulacji - stacja: Alfa

NrZgł.	Relacja	typ	L	t1	t2	t_po	t_obs	V_sr
				m	min	min	min	
1	Beta - Gamma	Posp.	240	4	15	1	11	58
2	Beta - Gamma	Osob.	120	6	21	3	15	45
3	Beta - Gamma	Tow.	555	8	25	0	17	31
4	Gamma - Beta	Osob.	120	15	27	3	12	41
5	Gamma - Beta	Tow.	450	21	31	0	10	36
6	Gamma - Beta	Posp.	160	37	47	1	10	38
7	Beta - Gamma	Posp.	180	50	61	1	11	60
8	Beta - Gamma	Osob.	180	52	67	3	15	46
9	Beta - Gamma	Tow.	235	56	86	15	30	37
10	Gamma - Beta	Osob.	60	59	72	3	13	38
11	Gamma - Beta	Tow.	435	66	91	15	25	37
12	Gamma - Beta	Posp.	180	83	94	0	11	32
13	Beta - Gamma	Posp.	180	96	107	1	11	60
14	Beta - Gamma	Osob.	180	98	114	3	16	46
15	Gamma - Beta	Osob.	120	103	115	3	12	41
16	Beta - Gamma	Tow.	535	104	132	15	28	43
17	Gamma - Beta	Tow.	505	111	136	15	25	39
18	Gamma - Beta	Posp.	220	129	140	1	11	39
19	Beta - Gamma	Posp.	100	142	154	1	12	57
20	Beta - Gamma	Osob.	120	144	160	3	16	45
21	Gamma - Beta	Osob.	180	147	160	3	13	38
22	Beta - Gamma	Tow.	230	152	164	0	12	50
23	Gamma - Beta	Tow.	345	156	166	0	10	39
24	Gamma - Beta	Posp.	180	175	185	0	10	38

Symulowany czas pracy: 200 min

Czas obliczeń: 2 min 20 s

LITERATURA

- [1] Mikulski J., Zych K.: Projektowanie uniwersalnego planu świetlnego stacji (w niniejszym zeszycie).
- [2] Mikulski J., Zych K.: Model sieciowy układu torowego (w niniejszym zeszycie).
- [3] Mikulski J., Zych K., Bogacki D.: Przystosowanie komputera IBM PC do współpracy z zewnętrznymi urządzeniami sterowania ruchem kolejowym, Praca BW - 758/RT/92 (opracowanie wewnętrzne).
- [4] Potthoff G.: Teoria potoków ruchu kolejowego. Ruch pociągu na szlakach istacjach, WKiŁ, Warszawa 1973.
- [5] Przepisy ruchu kolejowego R1.
- [6] Tyszer J.: Symulacja cyfrowa, WNT, Warszawa 1990.
- [7] Wyrzykowski J.: Ruch kolejowy, WKiŁ, Warszawa 1968.

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Ginalski

Wpłynęło do Redakcji 22.10.1993 r.

Abstract

The paper deals with modelling of simulated railway traffic. A useability of such solution relates both to the designing process and analysis of the planned and existing railway facilities.

Application of these solution allows not only to perform computations with sequences of numbers, but also facilitates a data input and observation of the object during simulation.

Analysis of the train travel at a railway station and adjacent railway lines is presented in this paper. Attention is paid to a variety of situations which may occur during the travel. When

modelling the train travel within a railway station, the durations of particular motions were taken into account during simulation. It aimed at determining the generation time of entries for trains on a railway line and computing the railway traffic stages. The entries are generated by two ways ie. random generation and generation by predetermined time - table. The generated trains were limited to three types in terms of their traffic similarly ie. fast, slow and freight trains. Test results allow to determine a traffic capacity of a railway station and evaluate their construction for correctness.