ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989
Seria: TRANSPORT z. 13 Nr kol. 1034

Ryszard JANECKI

RUCH POCIĄGÓW JAKO SYSTEM NA PRZYKŁADZIE KOLEJOWEGO RUCHU REGIONALNEGO KRR

Streszczenie: W artykule przedstawiono opis formalny systemu ruchu pociągów na liniach Kolejowego Ruchu Regionalnego KRR. Kolejowy Ruch Regionalny jest systemem masowych przewozów pasażerskich w GOP. Linie KRR będą pracować całkowicie niezależnie od istniejących linii PKP oraz spełniać w węzłowej strefie aglomeracji górnośląskiej rolę szybkiej komunikacji miejskiej.

System ruchu pociągów KRR można określić jako system złożony, którego elementami składowymi są podsystemy: technologiczny i decyzyjny. W każdym z tych podsystemów wyróżnić można jako elementy składowe: podsystem technologiczny: obiekty obsługujące przemieszczenie, obiekty obsługiwane - pociągi, elementarne procesy technologiczne; podsystem decyzyjny: obiekty przetwarzające, obiekty przetwarzane, elementarne procesy decyzyjne.

W dalszej części artykułu omówiono szczegółowo poszczególne składowe, wymienionych powyżej podsystemów. Przedstawiona w niniejszym artykule propozycja opisu formalnego została wykorzystana do projektowania modelu symulacyjnego ruchu pociągów KRR.

1. Uwagi wstępne

Kolejowy Ruch Regionalny jest systemem masowych przewozów pasażerskich w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym. Linie KRR, jako wydzielone pary torów, będą pracować całkowicie niezależnie od istniejących linii PKP. Spełniać one będą w węzłowej strefie aglomeracji górnośląskiej rolę szybkiej komunikacji miejskiej.

Realizację powyższej funkcji przez KRR gwarantuje projektowana zdolność przewozowa Kolejowego Ruchu Regionalnego. Wynosić ona będzie w pierwszym okresie eksploatacji 14000 pasażerów na godzinę w jedną stronę, natomiast docelowa zdolność osiągnąć może 42000 pasażerów na godzinę w jedną stronę.

Projektowane linie KRR mają być zintegrowane w strefie funkcjonalnej z pozostałą komunikacją pasażerską poprzez:

- wspólne zarządzanie dyspozytorskie,
- koordynację przebiegu linii komunikacyjnych,
- rozkłady jazdy,
- taryfy przewozowe,
- przystanki KRR spełniające rolę wielofunkcyjnych węzłów przesiadkowych [3].

System ruchu pociągów na liniach KRR SRPR jest systemem określonym na wielu obiektach. Identyfikacja tych obiektów składa się z następujących faz:

- opisu strukturalnego,
- opisu funkcjonalnego,
- syntezy.

Opis strukturalny systemu określa wszytkie jego istotne składowe, elementy otoczenia oraz połączenia występujące między nimi. Faza opisu funkcjonalnego identyfikowanego systemu polega na określeniu wszystkich celów systemu oraz czynności realizujących te cele. Faza syntezy łącząc elementy strukturalne systemu z odpowiednimi celami (głównymi i cząstkowymi) umożliwia budowę modelu identyfikowanego systemu ruchu pociągów.

W następnych punktach niniejszego artykułu przedstawiono opis formalny SRPR. Wykorzystano przy tym metodykę opisu formalnego systemu transportowego zaprezentowaną m.in. w pracach J. Sokołowskiego i K. Chwesiuka.[1)]

Szczególnie wiele miejsca w prezentowanym artykule poświęcono sferze technologicznej, a ściślej jej technicznemu układowi obsługującemu.

2. Opis formalny systemu ruchu pociągów na liniach KRR

2.1. Ogólna definicja system ruchu pociągów SRPR

Celem systemu SRPR jest realizacja zadań transportowych wynikających z obsługi potrzeb w zakresie masowych przewozów pasażerów. System ten będzie podstawowym środkiem komunikacji pasażerskiej w swojej strefie oddziaływania, którą określić można jako centralną strefę aglomeracji GOP obejmującą rejony następujących miast: Gliwice, Zabrze, Ruda Śląska, Świętochłowice, Chorzów, Katowice, Sosnowiec, Będzin i Dąbrowa Górnicza. SRPR spełniać ma rolę szybkiej komunikacji miejskiej.

System ruchu pociągów SRPR można określić jako system złożony, którego elementami składowymi są:

- podsystem technologiczny $SRPR^T$ opisujący sposób i środki prowadzenia ruchu pociągów,
- podsystem decyzyjny $SRPR^D$.

$$SRPR \overset{def}{=} \langle SRPR^T, SRPR^D \rangle \tag{1.1}$$

System technologiczny SRPR stanowią następujące elementy składowe:

- obiekty obsługujące przemieszczenia O^{TS},
- obiekty obsługiwane O^{TR},
- elementarne procesy technologiczne P^T,

---

1) Szczegółową bibliografię dotyczącą tej problematyki zamieszczono w pracy [2].

$$SRPR \overset{def}{\equiv} \langle O^{TS}, O^{TR}, P^{T} \rangle \tag{1.2}$$

Obiekty obsługujące mają charakter obiektów stałych, natomiast obiekty obsługiwane są obiektami ruchomymi.

Wśród obiektów obsługujących przemieszczanie pociągów O^{TS} można wyróżnić dwie ich klasy:

- urządzenia techniczne do prowadzenia ruchu pociągów S^{T},
- pracownicze zespoły wykonawcze S^{L}.

$$O^{TS} \overset{def}{\equiv} \langle S^{T}, S^{L} \rangle \tag{1.3}$$

Urządzenia techniczne do prowadzenuia ruchu pociągów S^{T}, to elementy stałego wyposażenia technicznego sfery technologicznej SRPR.

Przez zespół wykonawczy S^{L} rozumie się personel wraz z jego wyposażeniem technicznym realizujący funkcję bezpośredniego wykonawstwa. Stanowi go zatem cała załoga wykonawcza sfery technologicznej SRPR, a więc tych jednostek eksploatacyjnych, które realizują regulację ruchu pojedynczych pociągów.

Obiekty obsługiwane O^{TR} w SRPR to obiekty, które podlegają obsłudze w sensie fizycznym w systemie. Stanowią je pociągi KRR.

Elementarne procesy technologiczne P^{T} opisują w czasie zanikanie bądź powstawanie relacji między niejednorodnymi obiektami SRPR. Te przebiegi procesów, które wywołują zmiany stanu w systemie ruchu pociągów nazwano działaniami. Wystąpienie zmiany nazwano zdarzeniem. Każde ze zdarzeń może:

- wywołać zmianę stanu obiektu,
- rozpocząć lub zatrzymać działanie,
- stworzyć lub zlikwidować obiekt.

Podsystem decyzyjny $SRPR^{D}$ stanowią następujące elementy składowe [2]:

- obiekty przetwarzające O^{DT},
- obiekty przetwarzane O^{DR},
- elementarne procesy decyzyjne P^{D},

$$SRPR^{D} \overset{def}{\equiv} \langle O^{DS}, O^{DR}, P^{D} \rangle \tag{1.4}$$

Przez obiekty przetwarzające O^{DT} w SRPR rozumie się stałe wyposażenie sfery decyzyjnej systemu wraz z personelem. Obiekty te realizują funkcje zarządzania i regulacji ruchu pociągów KRR.

Obiekty przetwarzane O^{DR} to informacje pochodzące ze sfery technologicznej i otoczenia SRPR.

Elementarne procesy decyzyjne P^{D} określają działania pożądane, będące wybranymi optymalnymi działaniami decyzyjnymi. Uwzględniają one ograniczenia nakładane na zbiór działań decyzyjnych przez sferę technologiczną i otoczenie systemu ruchu pociągów SRPR.

Z formalnego punktu widzenia, wyspecyfikowane uprzednio elementy składowe SRPR można również ująć w dwa podzbiory:

I^{O} - zbiór określający infrastrukturę techniczną i decyzyjną systemu

ruchu pociągów wraz z jej atrybutami, przy czym:

$$I^{O} = \{O^{TS}, O^{TR}, O^{DS}, O^{DR}\} \tag{1.5}$$

P^{O} - zbiór procesów zachodzących wewnątrz systemu wraz z istniejęcymi między nimi powiązaniami, a więc:

$$P^{O} = \{P^{T}, P^{D}\}$$

2.2. System technologiczny SRPR

2.2.1. Obiekty obsługujące przemieszczanie pociągów

Obiekty obsługujące przemieszczanie pociągów w SRPR, to urządzenia techniczne do prowadzenia ruchu pociągów oraz pracownicze zespoły wykonawcze.

Urządzenia techniczne do prowadzenia ruchu pociągów ze względu na ich rolę w SRPR oraz charakterystykę przestrzenną podzielono na dwie kategorie:

- obiekty o charakterze punktowym U^{TP},
- obiekty o charakterze liniowym U^{TL}.

Zbiór S^{T} jest więc zbiorem dwuelementowym:

$$S^{T} = \{U^{TP}, U^{TL}\} \tag{1.7}$$

Obiekty punktowe U^{TP}, to obiekty techniczne wyposażone w odpowiednie urządzenia umożliwiające obsługę pociągów i rozmieszczone na liniach KRR. Pod pojęciem obsługi pociągu rozumie się realizację czynności związanych z:

- prowadzeniem ruchu pociągów: zmiana kierunku ruchu, regulacja następstwa pociągów i kolejności jazdy, niejednoczesne przyjmowanie i wyprawianie pociągów, krzyżowanie się pociągów;
- obsługą przedmiotu przewozu: zatrzymanie pociągu dla wsiadania i wysiadania pasażerów;
- techniczną obróbką pociągu: oględziny techniczne składu, próba hamulców, zmiana maszynisty, obróbka składów na stacji postojowej.

Zbiór U^{TP} stanowią:

- centralnie sterowane posterunki ruchu C^{UTP},
- semafory odstępowe samoczynnej blokady liniowej usytuowane poza posterunkami ruchu W^{UTP},
- stacja postojowa T^{UTP}.

Zbiór U^{TP} jest więc zbiorem 3-elementowym:

$$U^{TP} = \{C^{UTP}, W^{UTP}, T^{UTP}\} \tag{1.8}$$

Elementami zbioru C^{UTP} są:

- stacje końcowe K^{UTP}

$$K^{UTP} = \{U_{1}^{TP}, \ldots, U_{a}^{TP}\} \tag{1.9}$$

- stacje strefowe S^{UTP}

$$S^{UTP} = \{U_{a+1}^{TP}, \ldots, U_{b}^{TP}\} \tag{1.10}$$

- posterunek odgałęźny z przystankiem osobowym O^{UTP}

$$O^{UTP} = \{U^{TP}_{b+1}\} \tag{1.11}$$

- przystanki osobowe z przejściami zwrotnicowymi Z^{UTP}

$$Z^{UTP} = \{U^{TP}_{b+2}, \ldots, U^{TP}_{c}\} \tag{1.12}$$

- przystanki osobowe bez przejść zwrotnicowych B^{UTP}

$$B^{UTP} = \{U^{TP}_{c+1}, \ldots, U^{TP}_{d}\} \tag{1.13}$$

Jeżeli

$$W^{UTP} = \{U^{TP}_{d+1}, \ldots, U^{TP}_{e}\} \tag{1.14}$$

i

$$T^{UTP} = \{U^{TP}_{F}\} \tag{1.15}$$

to zbiór U^{TP} jest zbiorem 7-elementowym:

$$U^{TP} = \{K^{UTP}, S^{UTP}, O^{UTP}, Z^{UTP}, B^{UTP}, W^{UTP}, T^{UTP}\} \tag{1.16}$$

Stąd

$$U^{TP} = \{U^{TP}_{1}, \ldots, U^{TP}_{F}\} \tag{1.17}$$

Biorąc pod uwagę zakres obsługi pociągów można wyróżnić w zbiorze U^{TP} posterunki ruchu umożliwiające obsługę całościową, a więc realizację czynności związanych z prowadzeniem ruchu pociągów, obsługą przedmiotu przewozu, techniczną obróbkę pociągu - zaliczyć należy do tej kategorii obiektów stacje końcowe i strefowe oraz posterunki ruchu umożliwiające obsługę częściową - wszystkie pozostałe posterunki ruchu tj. stacja postojowa, posterunek odgałęźny i przystanki osobowe z przejściami zwrotnicowymi i bez przejść zwrotnicowych.

Posterunki ruchu ze względu na realizowane przez nie funkcje w SRPR charakteryzują następujące zasadnicze atrybuty:

- zdolność przepustowa, określająca największą liczbę pociągów, która może być przepuszczona w ciągu doby po wykonaniu przewidzianych czynności technologicznych,
- układ torowy: liczba i rodzaj torów, długość poszczególnych torów, liczba głowic torowych, liczba zwrotnic w danej głowicy torowej.

Posterunki ruchu są osygnalizowane semaforami samoczynnej blokady liniowej wjazdowym i wyjazdowym, które tworzą odstęp peronowy. Semafor wjazdowy wskazuje sygnały:

- światło czerwone - sygnał "stój",
- światło pomarańczowe - "wolna droga z $V_{mx} \leq 60$ km/h.

Wyjazd z posterunku ruchu odbywać się będzie na podstawie wskazań semafora sbl wyjazdowego który:

- w stanie zasadniczym wskazywać będzie sygnał "stój";
- po zajęciu peronowego obwodu torowego, jego wskazanie wynikać będzie ze stanu zajętości w przód położonych odstępów.

Organizacja ruchu na liniach KRR przewiduje zatrzymywanie pociągów

wyłącznie przy krawędziach peronowych. Semafory wyjazdowe sbl przystosowane będą do sterowania lokalnego oraz zdalnego jedynie dla ustawienia ich na sygnał "stój". Semafory te będą zatem malowane w pasy biało-czerwone, co oznacza bezwzględny zakaz przejeżdżania przez pojazdy sygnału "stój" na tym semaforze. Przewiduje się możliwość (na polecenie z centrum sterowania lub lokalne) ich przestawienia tak, aby pełniły funkcję typowych semaforów sbl.

Semafory odstępowe samoczynnej blokady liniowej usytuowane poza posterunkami ruchu będą miały następujące wskazania:

- światło czerwone - sygnał "stój",
- światło pomarańczowe ciągłe - "wolna droga" z V_{mx}=60 km/h, następny semafor "stój",
- światło pomarańczowe migające - "wolna droga z dozwoloną maksymalną prędkością, następny semafor wolna droga z V_{mx}=60 km/h"
- światło zielone - "wolna droga z dozwoloną maksymalną prędkością, następny semafor wolna droga z V_{mx}".

Dla każdego elementu $U_F^{TP} \in U^{TP}$ charakteryzujące go atrybuty można przedstawić w postaci wektora:

$$U_F^{TP} = \begin{Vmatrix} U_F^{TP(1)} \\ \vdots \\ U_F^{TP(i)} \\ \vdots \\ U_F^{TP(I)} \end{Vmatrix} \tag{1.18}$$

Zbiór wszystkich cech opisujących wszystkie elementy zbioru U^{TP} tworzy macierz:

$$\underline{U}^{TP} = \begin{bmatrix} U_{11}^{TP} & \dots & U_{1F}^{TP} \\ \vdots & & \vdots \\ U_{I1}^{TP} & \dots & U_{IF}^{TP} \end{bmatrix} \tag{1.19}$$

gdzie:

F - liczność elementów U_F^{TP} zbioru U^{TP},

I - liczność cech opisujących poszczególne obiekty U_F^{TP}.

Z punktu widzenia potrzeb realizacyjnych w zakresie ruchu pociągów istotne znaczenie ma układ torowy posterunku ruchu. Stacje końcowe, strefowe i stacja postojowa, posiadają obok torów głównych, tory boczne przeznaczone przede wszystkim do postoju składów pociągów. Na pozostałych

posterunkach ruchu występują wyłącznie tory główne.

Bezpieczne i sprawne prowadzenie ruchu pociągów na posterunku ruchu wymaga urządzenia na nim posterunków technicznych. Należą do nich posterunki nastawcze, których personel wykonuje czynności bezpośrednio związane z ruchem pociągów, ale tylko w przypadku przekazania urządzeń do sterowania lokalnego przez centrum sterowania. W warunkach normalnych wszystkie czynności związane z nastawieniem przebiegów i nadzorem bieżącym prowadzone są na całej sieci KRR z jednego centrum sterowania ruchem. Z nastawni lokalnej dyżurny ruchu kieruje ruchem pociągów na posterunku ruchu, tj. w swoim okręgu sterowania. Nastawnia ta jest wyposażona w urządzenia służące do dysponowania semaforami w obsługiwanym okręgu sterowania.

Urządzenia srk stanowiące wyposażenie posterunków ruchu to:

- urządzenia do nastawiania przebiegów, w które wyposażone są wszystkie posterunki ruchu, za wyjątkiem przystanków bez przejść zwrotnicowych,
- urządzenia sygnalizacyjne, które rozmieszczone są na wszystkich posterunkach ruchu.

Obiekty zbioru U^{TP} spełniają w systemie ruchu pociągów SRPR funkcje stanowisk obsługi dla kursujących pociągów.

Zbiór obiektów o charakterze liniowym U^{TL} tworzą odstępy usytuowane na szlakach kolejowych. Są to części dróg kolejowych ograniczone:

- dwoma sąsiednimi semaforami odstępowymi samoczynnej blokady liniowej

$$S^{TL} = \{U_1^{TL}, \ldots, U_g^{TL}\} \tag{1.20}$$

- stacjami końcowymi, strefowymi lub posterunkiem odgałęźnym a najbliższym semaforem odstępowym K^{TL}

$$K^{TL} = \{U_{g+1}^{TL}, \ldots, U_H^{TL}\} \tag{1.21}$$

A zatem zbiór U^{TL} jest zbiorem dwuelementowym:

$$U^{TL} = \{S^{TL}, K^{TL}\} \tag{1.22}$$

Stąd

$$U^{TL} = \{U_1^{TL}, \ldots, U_H^{TL}\} \tag{1.23}$$

Elementy zbioru U^{TL} charakteryzowane są m.in. następującymi zasadniczymi atrybutami:

- długość odstępu,
- prędkość jazdy pociągu,
- zdolność przepustowa określająca największą liczbę pociągów jaka może być przepuszczona w ciągu doby na danym szlaku (odstępie) przy ustalonej organizacji ruchu pociągów.

Dla każdego elementu zbioru U^{TL} można wszystkie cechy opisujące go przedstawić również w postaci wektora:

$$U_H^{TL} = \begin{Vmatrix} U_H^{TL(1)} \\ \vdots \\ U_H^{TL(j)} \\ \vdots \\ U_H^{TL(J)} \end{Vmatrix} \tag{1.24}$$

Zbiór wszystkich cech opisujących wszystkie elementy zbioru U^{TL} tworzy macierz:

$$\underline{U}^{TL} = \begin{bmatrix} U_{11}^{TL} & \dots & U_{1H}^{TL} \\ \vdots & & \vdots \\ U_{J1}^{TL} & \dots & U_{JH}^{TL} \end{bmatrix} \tag{1.25}$$

gdzie:

H – liczność elementów U_H^{TL} zbioru U^{TL}, a więc odstępów kolejowych,

J – liczność cech opisujących poszczególne obiekty U_H^{TL}.

Odstępy kolejowe są zbiorem urządzeń technicznych umożliwiających przemieszczanie od obsługi do obsługi w danym obiekcie punktowym zbioru U^{TP}.

Obiekty U_a^{TP} o charakterze punktowym można traktować jako węzły. Natomiast zbiór U^{TL} jest zbiorem wszystkich możliwych dróg przemieszczania pomiędzy sąsiednimi obiektami zbioru U^{TP}, które traktowane będą jako relacje określone w iloczynie kartezjańskim

$$U^{TL} \subset U^{TP} \times U^{TP} \tag{1.26}$$

Strukturę techniczną urządzeń do prowadzenia ruchu pociągów na liniach KRR można więc zapisać w postaci grafu:

$$S^T = \langle U^{TP}, U^{TL} \rangle \tag{1.27}$$

Uwzględniając następnie opisy wszystkich cech charakteryzujących węzły – obiekty o charakterze punktowym zbioru U^{TP} (macierz $\underline{U}^{TP}$) i relacje – obiekty o charakterze liniowym zbioru U^{TL} (macierz $\underline{U}^{TL}$) uzyskuje się w efekcie model opisujący techniczny układ obsługujący przemieszczanie pociągów w SRPR. Model ten ma postać sieci

$$S^{T*} = (S^T; \underline{U}^{TP}, \underline{U}^{TL}) \tag{1.28}$$

Na pracownicze zespoły wykonawcze S^L stanowiące elementy składowe

systemu technologicznego $SRPR^T$ składają się następujące kategorie personelu $S^P \subset S^L$:

- personel posterunków ruchu usytuowanych na liniach KRR P^L,
- personel obsługujący pociągi P^P.

Zatem zbiór S^P jest zbiorem dwuelementowym:

$$S^P = \{P^L, P^P\} \tag{1.29}$$

Zbiór P^L stanowią następujące grupy personelu:

- personel bezpośrednio nadzorujący czynności wysiadania i wsiadania pasażerów oraz - po przekazaniu przez centrum sterowania do obsługi lokalnej - nastawiający przebiegi i obsługujący semafory wjazdowe i wyjazdowe R^N

$$R^N = \{S^P_1, \ldots, S^P_C\} \tag{1.30}$$

- personel bezpośrednio nadzorujący czynności wysiadania i wsiadania pasażerów oraz - po przekazaniu przez centrum sterowania do obsługi lokalnej - obsługujący semafory wjazdowe - wyjazdowe R^B

$$R^B = \{S^P_{C+1}, \ldots, S^P_D\} \tag{1.31}$$

Stąd

$$P^L = \{R^N, R^B\} \tag{1.32}$$

a więc

$$P^L = \{S^P_1, \ldots, S^P_D\} \tag{1.33}$$

Personel obsługujący pociągi P^P, to maszyniści pociągowi stali, zmienni i rezerwowi - w zależności od przyjętego sposobu zawracania składów pociągów na stacjach końcowych lub strefowych.

$$P^P = \{S^P_{D+1}, \ldots, S^P_E\} \tag{1.34}$$

Jeżeli przyjąć, że:

$$P^L = \{S^P_1, \ldots, S^P_D\}$$

i

$$P^P = \{S^P_{D+1}, \ldots, S^P_E\}$$

traktowane jako węzły,

$$P^{LP} = \{P^{LP}_1, \ldots, P^{LP}_K\} \tag{1.35}$$

jako relacje określone w iloczynie kartezjańskim

$$P^{LP} \subset P^L \times P^P \tag{1.36}$$

gdzie:

P^{LP} - relacje występujące pomiędzy wyróżnionymi kategoriami pracowniczych zespołów wykonawczych, wówczas strukturę pracowniczych zespołów wykonawczych układu obsługującego przemieszczenia pociągów można zapisać w postaci grafu

$$S^L = \langle S^P; P^{LP} \rangle \tag{1.37}$$

Uwzględniając ponadto zbiory cech charakteryzujących węzły i łuki grafu S^L

zapisane w postaci macierzy:

$$\underline{\underline{S}}^{P} = \begin{bmatrix} S^{P}_{11} & \dots & S^{P}_{1E} \\ \vdots & & \vdots \\ S^{P}_{1M} & \dots & S^{P}_{ME} \end{bmatrix} \tag{1.38}$$

$$\underline{P}^{LP} = \begin{bmatrix} P^{LP}_{11} & \dots & P^{LP}_{1K} \\ \vdots & & \vdots \\ P^{LP}_{N1} & \dots & P^{LP}_{NK} \end{bmatrix} \tag{1.39}$$

gdzie:

E - liczba węzłów grafu S^{L},

K - liczba relacji (łuków) w grafie S^{L},

M - liczność cech opisujących poszczególne węzły,

N - liczność cech opisujących poszczególne łuki,

modelem opisującym pracownicze zespoły wykonawcze jest sieć

$$S^{L*} = (S^{L}, \underline{\underline{S}}^{P}, \underline{P}^{LP}) \tag{1.40}$$

Złożenie sieci S^{T*} i S^{L*} stanowi model opisujący obiekty układu obsługującego przemieszczanie pociągów KRR, a więc:

$$S^{T*} \cdot S^{L*} \overset{def}{\equiv} (S^{T*}, S^{L*}, V^{TL}) \tag{1.41}$$

gdzie:

V^{TL} - jest zbiorem relacji określonych w iloczynie kartezjańskim:

$$V^{TL} \subset S^{T} \times S^{P}.$$

2.2.2. Obiekty obsługiwane - pociągi

Obiekty obsługiwane w systemie SRPR to pociągi. Najważniejsze atrybuty pociągów to:

- numer pociągu,
- numer zadania,
- kierunek jazdy,
- relacja pociągu.

Można za J. Sokołowskim [2] przyjąć, że zbiór pociągów opisują:

- fizyczne obiekty obsługiwane - pociągi,
- aktualne informacje o kolejności zgłaszania się pociągów do obsługi w SRPR, opisujące ich strumienie przed wejściem do systemu.

Jeżeli przyjąć że:

$$X = (X_1, \dots, X_H) \tag{1.42}$$

jest zbiorem wszystkich pociągów, które traktowane są jako wierzchołki,

$$Y = \{Y_1, \ldots, Y_L\} \tag{1.43}$$

jest zbiorem wszystkich informacji o aktualnej kolejności zgłaszania się pociągów, które traktowane są jako relacje określone w iloczynie kartezjańskim:

$$Y \subset X \times X$$

to strukturę obiektów obsługiwanych - pociągów, można zapisać w postaci grafu:

$$O^{TR} = (X, Y) \tag{1.44}$$

Uwzględniając analogicznie jak w przypadku obiektów układu obsługującego, cechy charakteryzujące wierzchołki i łuki grafu O^{TR}, modelem opisującym obiekty obsługiwane - pociągi w SRPR, jest sieć:

$$O^{TR*} = (O^{TR}, \underline{X}, \underline{Y}) \tag{1.45}$$

2.2.3. Elementarne procesy technologiczne

Charakteryzując szczegółowo elementarne procesy technologiczne należy podkreślić ich odrębność wynikającą z miejsca realizacji: obiekty obsługujące o charakterze punktowym lub liniowym. W odniesieniu do obiektów liniowych U^{TL} wymienić należy:

- prowadzenie ruchu pociągów na szlaku dwutorowym podzielonym na odstępy P_1^T,
- prowadzenie ruchu pociągów na szlaku jednotorowym podzielonym na odstępy P_2^T.

Obsługa pociągów w obiektach punktowych U^{TP} realizowana może być wg następujących elementarnych procesów technologicznych:

- przyjmowanie pociągu P_3^T,
- wyprawianie pociągu P_4^T,
- przepuszczanie pociągu bez zatrzymania P_5^T.

Proces prowadzenia ruchu pociągów na szlaku podzielonym na odstępy P_1^T realizowany jest na obiektach zbioru U^{TL} i złożony jest z dwóch działań D_1^{T1} (jazda pociągu po torze nieparzystym) i D_2^{T1} (jazda pociągu po torze parzystym).

Każde z tych działań zawiera:

- identyfikację kierunku ruchu pociągu A_1^{T1},
- badanie stanu zajętości pierwszego odstępu toru szlakowego dla zidentyfikowanego kierunku ruchu pociągu A_2^{T1},
- zajęcie odstępu przez pociąg A_3^{T1},
- jazdę pociągu na pierwszym odstępie A_4^{T1},
- zwolnienie pierwszego odstępu przez pociąg i zajęcie następnego odstępu A_5^{T1},
- przywrócenie ruchowego stanu zasadniczego na zwolnionym odstępie A_6^{T1},

- jazda pociągu na kolejnym odstępie A_7^{T1},
- zwolnienie toru szlakowego przez pociąg A_8^{T1},
- przywrócenie ruchowego stanu zasadniczego na zwolnionym odstępie A_9^{T1}.

Proces P_1^T został przykładowo opisany dla szlaku złożonego z dwóch odstępów nie będących odstępami peromowymi. Przewidywana liczba odstępów na szlaku wyniesie od 2-ch do 6-ciu.

A więc

$$P_1^T = \langle D_1^{T1}, D_2^{T1} \rangle \tag{1.46}$$

$$D_1^{T1} = \langle A^{T1(1)}, C^{T1(1)} \rangle \tag{1.47}$$

gdzie:

$A^{T1(1)}$ - jest zbiorem zdarzeń występujących w działaniu D_1^{T1},

$A^{T1(1)} = \langle A_1^{T1}, \ldots, A_9^{T1} \rangle$

$C^{T1(1)}$ - jest zbiorem relacji występujących pomiędzy zdarzeniami w działaniu D_1^{T1} procesu P_1^T;

$$D_2^{T1} = \langle A^{T1(2)}, C^{T1(2)} \rangle \tag{1.48}$$

gdzie:

$A^{T1(2)}$ - odpowiednio zbiór zdarzeń w działaniu D_2^{T1},

$$A^{T1(2)} = \langle A_1^{T1}, \ldots, A_9^{T1} \rangle$$

$C^{T1(2)}$ - zbiór relacji pomiędzy zdarzeniami w działaniu D_2^T procesu P_1^T.

Proces P_2^T jest procesem jednodziałaniowym D_1^{T2}. Działanie to złożone jest z następujących zdarzeń:

- badanie stanu zajętości toru szlakowego A_1^{T2},
- ustalenie predyspozycji szlaku, co do kierunku ruchu A_2^{T2},
- zajęcie pierwszego odstępu przez pociąg A_3^{T2},
- jazda pociągu na pierwszym odstępie A_4^{T2},
- zwolnienie pierwszego odstępu przez pociąg i zajęcie następnego odstępu A_5^{T2},
- przywrócenie ruchowego stanu zasadniczego na zwolnionym odstępie A_6^{T2},
- jazda pociągu na kolejnym odstępie A_7^{T2},
- zwolnienie toru szlakowego przez pociąg A_8^{T2},
- przywrócenie ruchowego stanu zasadniczego na szlaku i na zwolnionym odstępie A_9^{T2}.

A zatem:

$$D_1^{T2} = \langle A^{T2}, C^{T2} \rangle \tag{1.49}$$

gdzie:

$A^{T2} = \langle A_1^{T2}, \ldots, A_9^{T2} \rangle$ - zbiór zdarzeń stanowiących elementy działania D_1^{T2},

C^{T2} - zbiór relacji występujących pomiędzy zdarzeniami działania D_1^{T2}.

Zdarzenia $A_1^{T2}, A_2^{T2}, A_6^{T2}, A_9^{T2}$ mają charakter zdarzenia decyzyjnego, pozostałe są zdarzeniami realizacyjnymi.

Procesy przyjmowania i wyprawiania pociągu mają miejsce wyłacznie na posterunkach ruchu zaliczanych do klasy $C^{UTP} \in U^{TP}$. Moment zakończenia

procesu przyjmowania jest jednocześnie początkiem fazy bezruchu pociągu. Natomiast dla procesu wyprawiania początek procesu oznacza zakończenie fazy bezruchu i rozpoczęcie ruchu pociągu.

Proces przyjmowania pociągu P_3^T składa się z następujących działań:

- przyjmowanie pociągu z danego kierunku D_1^{T3},
- przyjmowanie pociągu z danego kierunku z operacją niejednoczesnego wyprawiania innego pociągu na ten sam szlak (zawracanie pociągów na st. końcowych) D_2^{T3},
- przyjmowanie pociągu z danego kierunku z operacją zawracania innego pociągu na st. strefowej D_3^{T3},
- przyjmowanie pociągu z danego kierunku z operacją krzyżowania się z innym pociągiem D_4^{T3}.

Liczba wyspecyfikowanych działań poszczególnych klas zależna jest od liczby kierunków przyjmowania pociągów.

Działanie D_1^{T3} stanowi zbiór następujących zdarzeń:

- badanie stanu zajętości torów na posterunku ruchu przyjmującym pociąg $A_1^{T3(1)}$,
- przygotowanie drogi przebiegu na wybrany dla jazdy pociągu tor $A_2^{T3(1)}$,
- jazda pociągu po przygotowanej drodze $A_3^{T3(1)}$,
- zajęcie wybranego toru przez pociąg $A_4^{T3(1)}$,
- zakończenie ruchu pociągu $A_5^{T3(1)}$.

Zatem działanie D_1^{T3} można zapisać następująco:

$$D_1^{T3} = \langle A^{T3(1)}, C^{T3(1)} \rangle \tag{1.50}$$

gdzie:

$C^{T3(1)}$ - zbiór relacji występujących między zdarzeniami, działania D_1^{T3}.

Zdarzenia $A_1^{T3(1)}, A_5^{T3(1)}$ są zdarzeniami decyzyjnymi, pozostałe zalicza się do zdarzeń sfery realizacyjnej.

W podobny sposób można opisać również pozostałe działania składające się na P_3^T.

Proces wyprawiania pociągu P_4^T składa się z następujących działań:

- wyprawianie pociągu danego kierunku ruchu bez operacji niejednoczesnego wyprawiania innego pociągu na inny kierunek D_1^{T4},
- wyprawianie pociągu danego kierunku bez operacji niejednoczesnego przyjmowania pociągu z innego kierunku D_2^{T4},
- wyprawianie pociągu danego kierunku z operacją niejednoczesnego przyjmowania pociągu z innego kierunku D_3^{T4}.

Każde z wymienionych działań jest systemem złożonym, którego strukturę można opisać w podobny sposób jak przedstawione wcześniej działanie D_1^{T3}.

Proces przepuszczania pociągu bez zatrzymania P_5^T odbywać się może na wszystkich posterunkach ruchu C^{UTP}. Dla semaforów odstępowych sbl położonych poza posterunkami ruchu, dla poster. odgałęźnego i przystanków bez przejść zwrotnicowych, jest to proces jednodziałaniowy, natomiast dla pozostałych posterunków ruchu składa się z następujących działań:

- przepuszczanie pociągu danego kierunku bez zatrzymania, bez operacji

krzyżowania z innymi pociągami D_1^{T5},

- przepuszczanie pociągu danego kierunku bez zatrzymania, bez operacji (lub z operacją) niejednoczesnego wyprawiania innego pociągu na inny kierunek D_2^{T5} lub D_9^{T5},
- przepuszczanie pociągu danego kierunku bez zatrzymania, bez operacji (lub z operacją) niejednoczesnego przyjmowania innego pociągu z innego kierunku D_4^{T5} lub D_5^{T5}.

$$P_5^T = (D_1^{T5}, \ldots, D_5^{T5}) \tag{1.51}$$

Jak wynika z przedstawionej analizy modelem pojedynczego elementarnego procesu technologicznego jest złożenie sieci:

$$(D_1^{TW*} \cdot \ \ldots \ \cdot D_S^{TW*}) = (D_1^{TW*}, \ldots, D_S^{TW*} \ ; \ C_{pT}^{1,2}, \ldots, C_{pT}^{(S-1),S}) \tag{1.52}$$

gdzie:

$D_1^{TW*} \cdot \ \ldots \ \cdot D_S^{TW*}$ – elementarny proces technologiczny opisany jako zbiór działań,

$D_1^{TW*}, \ldots, D_S^{TW*}$ – charakterystyka elementarnego procesu technologicznego jako charakterystyka zbioru zdarzeń opisujących poszczególne działania,

$C_{pT}^{1,2}, \ldots, C_{pT}^{(S-1),S}$ – strategia lokalna elementarnego procesu technologicznego.

Tak więc elementarny proces technologiczny w systemie $SRPR^T$ złożony jest z W działań, te z kolei z S zdarzeń.

Model elementarnych procesów technologicznych można przedstawić w postaci złożenia sieci opisujących wszytkie procesy technologiczne:

$$(P_1^{T*} \cdot \ \ldots \ \cdot P_Z^{T*}) = (P_1^{T*}, \ldots, P_Z^{T*}; \ N_{PT}^{1,2}, \ldots, N_{PT}^{(Z-1),Z}) \tag{1.53}$$

gdzie:

$P_1^{T*} \cdot \ \ldots \ \cdot P_Z^{T*}$ – złożenie sieci opisujących strukturę elementarnych procesów technologicznych,

$P_1^{T*}, \ldots, P_Z^{T*}$ – zbiór elementarnych procesów technologicznych,

$N_{PT}^{1,2}, \ldots, N_{PT}^{(Z-1),Z}$ – zbiór relacji pomiędzy elementarnymi procesami technologicznymi.

A zatem model wszystkich elementarnych procesów technologicznych jest grafem:

$$P^{T*} = (P^T, N_{PT}) \tag{1.54}$$

gdzie:

N_{PT} – jest zbiorem relacji określonym w iloczynie kartezjańskim:

$$N_{PT} \subset P^T \times P^T$$

2.4. System decyzyjny SRPR – uwagi ogólne

System decyzyjny $SRPR^D$ stanowią następujące elementy składowe:

- obiekty przetwarzające O^{DT},
- obiekty przetwarzane O^{DR},
- elementarne procesy decyzyjne P^D.

Obiekty przetwarzające O^{DT} ze względu na ich rolę w SRPR można podzielić na dwie klasy:

- obiekty prognozujące ruch pociągów w okresach długoterminowych U^{DP},
- obiekty operatywnie prognozujące i regulujące ruch potoku pociągów U^{DR}.

Zbiór O^{DT} jest więc zbiorem dwuelementowym:

$$O^{DT} = \{U^{DP}, U^{DR}\} \tag{1.55}$$

Obiekty przetwarzane O^{DR} w systemie ruchu pociągów KRR to informacje pochodzące ze strefy technologicznej i otoczenia. Informacje te dotyczą zadań w zakresie sprawnego i bezpiecznego prowadzenia ruchu pociągów oraz rejestrowanej wielkości potrzeb ruchowych. Są to zatem informacje o pociągach opisane już wcześniej modelem odwzorowującym obiekty obsługiwane w systemie SRPR.

Model ten charakteryzuje więc strukturę obiektów przetwarzanych w systemie decyzyjnym SRPR.

W strefie decyzyjnej systemu ruchu pociągów można wyodrębnić następujące procesy decyzyjne P^D:

- proces decyzyjny ujmujący zasady prowadzenia ruchu pociągów na szlakach dwutorowych podzielonych na odstępy P^D_1,
- proces decyzyjny ujmujący zasady prowadzenia ruchu pociągów na szlakach jednotorowych podzielonych na odstępy P^D_2,
- proces decyzyjny ujmujący zasady przyjmowania pociągów na posterunek ruchu P^D_3,
- proces decyzyjny ujmujący zasady wyprawiania pociągów z posterunku ruchu P^D_4,
- proces decyzyjny ujmujący zasady przepuszczania pociągów bez zatrzymania przez posterunek ruchu P^D_5.

Wymieniony zbiór procesów decyzyjnych jest ściśle powiązany z elementarnymi procesami technologicznymi.

3. Kryteria oceny jakości ruchu pociągów na liniach KRR

Wcześniej wymienione systemy: decyzyjny $SRPR^D$ i technologiczny $SRPR^T$ realizują swoje cele przez optymalizację funkcji kryterium. Jako kryterium oceny jakości ruchu pociągów proponuje się przyjąć następujące zależności:

$$\alpha = \left(\frac{H}{R}\right) \longrightarrow \min \tag{1.56}$$

gdzie:

α - ilościowy współczynnik jakości ruchu pociągów,

H - liczba pociągów, które należy przepuścić przez daną linię KRR, w określonym przedziale czasu zgodnie z rozkładem jazdy; stanowią one zbiór N^P:

$$N^P = \langle N_1^P, N_2^P, \ldots, N_H^P \rangle$$

R - liczba pociągów, które zostały przepuszczone przez daną linię KRR, w określonym przedziale czasu, przy uwzględnieniu istniejących warunków techniczno-ruchowych; stanowią one zbiór N^R, którego elementy muszą spełniać następujący warunek:

$$N^R = \langle N_1^R, N_2^R, \ldots, N_R^R \rangle$$

$$N_R^R = \begin{cases} N_H^P, & \text{jeśli } t^P = t^R \text{ oraz } H = R \\ 0 & \text{- w przeciwnym przypadku;} \end{cases}$$

przy czym

$$N_H^P \in N^P$$

t^P - rozkładowy czas przejścia pociągu przez linię KRR,

t^R - rzeczywisty czas przejścia pociągu przez linię KRR.

$$\beta = \left[\sum_{i=1}^{a} T_i^R - \sum_{i=1}^{a} T_i^P \right] \longrightarrow \min \tag{1.57}$$

gdzie:

β - wskaźnik jakości ruchu pociągów,

T_i^R - zrealizowany czas pobytu i-tego pociągu na badanej linii KRR w min w danym okresie czasu,

T_i^P - planowany, wynikający z rozkładu jazdy, czas pobytu i-tego pociągu na badanej linii KRR w min, w danym okresie czasu.

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^{a} T_i^P}{\sum_{i=1}^{a} T_i^Z} \longrightarrow \max \tag{1.58}$$

gdzie:

γ - czasowy współczynnik jakości ruchu pociągów,

$\sum_{i=1}^{a} T_i^P$ - suma planowanych, wynikających z rozkładu jazdy, czasów pobytu i-tych pociągów na badanej linii KRR w min, w danym okresie czasu,

$\sum_{i=1}^{a} T_i^Z$ - suma zrealizowanych czasów pobytu i-tych pociągów, na badanej linii KRR w min, w danym okresie czasu;

przy czym dla każdego i-tego pociągu

$$T_i^z = \begin{cases} T_i^p, \text{ jeśli } t^p = t^R \\ T_i^R, \text{ w przeciwnym przypadku;} \\ T_i^R > T_i^p \end{cases}$$

Pierwsze z proponowanych kryteriów minimalizuje stosunek planowej, wynikającej z rozkładu jazdy, liczby pociągów do liczby pociągów przepuszczanych zgodnie z tym rozkładem przez badaną linię KRR w danym okresie czasu. Kolejne kryteria minimalizują natomiast czas pobytu pociągów na badanej linii KRR. Zrealizowane wartości tego czasu porównywane są z wartościami określanymi przez rozkład jazdy pociągów.

4. Podsumowanie

Przedstawiony opis formalny systemu ruchu pociągów KRR dokumentuje tezę o złożoności systemów transportowych. Złożoność jako cechę potwierdzają m.in.:

- własności systemu ruchu pociągów KRR,
- struktura i liczba obiektów,
- struktura procesów zachodzących w systemie.

Trzeba przy tym jednak wskazać, że w systemie ruchu pociągów KRR poszczególne klasy obiektów charakteryzują się jednorodnością techniczną i funkcjonalną w odróżnieniu od istniejącej dotychczas i eksploatowanej sieci PKP, w której ruch pociągów jest systemem o szczególnej złożoności.

Przedstawiona w niniejszym artykule propozycja opisu formalnego została wykorzystana do projektowania modelu symulacyjnego ruchu pociągów KRR. Model ten jest opracowany przez Instytut Transportu Politechniki Śląskiej w ramach Centralnego Programu Badawczo-Rozwojowego Nr 9.3 - Obsługa transportowa społeczeństwa i gospodarki [1].

LITERATURA

[1] Janecki R. z zespołem: Model symulacyjny ruchu pociągów na linii KRR. Praca Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 1988.
[2] Sokołowski J.: Modelowanie pracy ruchowej w węzłach sieci transportowej. PWN, Warszawa - Łódź 1980.
[3] Zalewski R. z zespołem: Koncepcja prowadzenia ruchu na pierwszej linii Kolejowego Ruchu Regionalnego w I etapie jej uzbrojenia. Praca CNTK, Katowice 1985.

TRAIN TRAFFIC AS A SYSTEM FOR THE EXAMPLE OF THE REGIONAL RAILWAY TRAFFIC KRR

Summary

A formal specification of a train traffic system on the Regional Railway Traffic lines has been presented in the paper.

The Regional Railway Traffic is the system of mass passanger transport in the Upper Silesia Industrial Region. The KRR lines will be totally separated from the existing lines of the Polish State Railways and will play an important part in the fast urban train service.

The KRR train traffic system may be defined as a complex system which components are technological and decision-taking sub-systems. In each of these sub-systems the following objects can be distinguished as the components: the objects that control relocation, operated objects (trains), elementary manufacturing processes in the technological sub-system; processing objects, processed objects, elementary decision - taking processes - in the decision-taking sub-system.

In a subsequent part of the paper particular components of the above mentioned sub-systems have been discussed in detail.

The suggestion of the formal specification presented in the present paper has been used for designing simulation model of the Regional Railway Traffic.

ZUGVERKEHRS ALS SYSTEM AM BEISPIEL DES REGIONALEN EISENBAHNVERKEHRS KRR

Zusammenfassung

Im Aufsatz wurde formale Beschreibung des Zugverkehrssystems auf den Linien des Regionalen Eisenbahnverkehrs KRR vorgestellt. Der Regionale Eisenbahnverkehr KRR stellt ein System des Massentransports von Personen im Oberschlesischen Industriegebiet GOP. Die KRR-Linien werden ganz unabhängig von den existierenden PKP-Linien arbeiten. Sie werden Funktion einer schnellen Stadtkommunikation auf dem Hauptabschnitt des oberschlesischen Stadtskomplexes erfüllen.

Das KRR-Zugverkehrssystem kann man als Komplexsystem bezeichnen. Es besteht aus technologischen und Entscheidungssubsystem.

Im technologischen Subsystem kann man folgende Bestandteile unterscheiden: die Verschiebung bedienenden Objekte, die bedienten Objekte

– Züge und elementare technologische Prozesse; im Entscheidungssubsystem dagegen – die verarbeitenden und verarbeitenten Objekte sowie elementare Entscheidungsprozesse.

Im weiteren Teil des Aufsatzes wurden detailliert die einzelnen oben genannten Elemente dieser Subsystemen beschrieben.

Der im vorliegenden Aufsatz vorgestellte Vorschlag der formalen Beschreibung wurde in der Projektierung des Simulationsmodells des KRR-Zugverkehrs angewendet.

ДВИЖЕНИЕ ПОЕЗДОВ КАК СИСТЕМА НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА СИЛЕЗИИ

Резюме

В статье предствлено формальное описание системы движения поездов на линиях Региональной Железной Дороги. Региональное Железнодорожное Движение является системой массовых перевозок пассажиров в Верхнесилезском Угольном Бассейне. Оговариваемая железная дорога будет эксплуатироваться совершенно независимо от имеющихся железных дорог на Силезии и будет выполнять роль быстрого межгородского транспорта.

Систему движения поездов на этой линии можно определить как сложную, элементами которой являются подсистемы: технологическая и решающая. Каждая из подсистем состоит из: технологическая подсистема: обслуживающие элементы передвижения, обслуживаемые элементы – поезда, элементарные технологические процессы; решающая подсистема: преобразующие объекты, перерабатыбаемые объекты, элементарные решающие процессы.

Далее в статье детально оговорены отдельные части упомянутых подсистем. Предложенное формальное описание использовано для проектирования симуляционной модели движения поездов по Региональной Дороге.