ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990
Seria: TRANSPORT z. 18 Nr kol. 1100

Ryszard JANECKI

ZAGADNIENIE ODWZOROWANIA TOPOLOGII SIECI KOLEJOWEJ DLA POTRZEB MODELOWANIA RUCHU POCIĄGÓW

Streszczenie. W artykule zaprezentowano dwa sposoby odwzorowania topologii sieci kolejowej dla potrzeb modelowania ruchu pociągów. Rozważono problem wyłącznie w ujęciu relacji modelowania, mówiącej na ile dobrze model jest w stanie reprezentować stan rzeczywisty.

Pierwsza z metod ma charakter uniwersalny i pozwala na odwzorowanie dowolnej sieci kolejowej. Druga natomiast odnosi się do odosobnionych, jednorodnych pod względem technicznym i funkcjonalnym sieci kolejowych. Obydwa z przedstawionych sposobów znalazły praktyczne zastosowanie.

1. Uwagi ogólne

B.P.Zeigler [1] pisze:..."modelowanie i symulacja oznacza zestaw działań związanych z konstruowaniem modeli systemów rzeczywistych i symulowaniem ich na komputerze...". Z definicji tej wynika, że w tym obszarze badań ma się do czynienia zawsze z trzema głównymi elementami: systemem rzeczywistym, modelem i komputerem.

W niniejszym artykule zajęto się wyłącznie problematyką zależności pomiędzy rzeczywistym systemem ruchu pociągów a jego modelami. Aby jeszcze precyzyjniej określić obszar zainteresowań w tej publikacji, przypomniano pojęcie systemu.

Zgodnie z wieloma definicjami systemu można w nim wyróżnić elementy np. wg [2], czyli obiekty wg [3] i [4]. Każdy z obiektów charakteryzowany jest przez określone cechy - każdy obiekt O systemu rzeczywistego można opisać za pomocą n cech: $w_1, w_2, \ldots, w_n$, które przedstawiają właściwości tego elementu wyrażone w zależności od czasu. W każdym systemie zachodzą określone zdarzenia, a ciąg tych zdarzeń charakteryzuje zachowanie systemu.

W niniejszym artykule przedmiotem zainteresowania będą tylko obiekty systemu ruchu pociągów w ujęciu relacji modelowania. Relacja ta dotyczy zawsze zasadności modelu, mówiącej na ile dobrze model reprezentuje stan rzeczywisty.

Obiekty systemu ruchu pociągów tworzą sieć kolejową, a identyfikacja tych obiektów jest jednym z podstawowych zagadnień modelowania. Przy rozwiązywaniu tego problemu trzeba bowiem dokonać wyboru abstrakcyjnego

modelu rzeczywistości, czyli zdefiniować zbiór danych mających reprezentować rzeczywistą sytuację. Wybór ten powinien być podporządkowany problemowi, który ma być rozwiązany. Ma to więc być zbiór danych uznanych za istotne do rozwiązania rozważanego problemu, tj. taki, co do którego ma się przekonanie, że można z niego uzyskać żądane wyniki [5] lub ..."dobrze odwzorowuje interesujący nas zakres zjawisk"...[6]. Potem dopiero następuje wybór reprezentacji tych informacji. Ten wybór jest z kolei podyktowany możliwościami komputera.

Odwzorowanie sieci kolejowej dla potrzeb modelowania ruchu pociągów jest więc determinowane założonym obszarem zastosowania modeli ruchu. Ze względu na specyfikę sieci transportowych istotne znaczenie w tym zakresie ma również rodzaj sieci, a więc czy jest to sieć jednorodna, odosobniona, np. szybka kolej TGV Francja, Shinkansen Japonia, system kolei KRR w Polsce czy też niejednorodna np. sieć eksploatowana obecnie przez PKP. W następnym punkcie niniejszego artykułu rozszerzono tę problematykę.

2. Przykłady odwzorowań sieci kolejowej

Można wyróżnić trzy obszary zastosowań modelowania ruchu pociągów, a mianowicie:

- wspomaganie pracy personelu służby ruchu obejmujące między innymi:
  - systemy zdalnego sterowania i kontroli ruchu pociągów,
  - systemy operytywnego planowania ruchu pociągów w danym obszarze sieci kolejowej, w tym również rozstrzyganie konfliktowych sytuacji ruchowych,
- automatyzację sporządzania rozkładów jazdy pociągów,
- programowanie rozwoju sieci kolejowej i organizacji ruchu.

W następnej kolejności scharakteryzowano niektóre przykładowe odwzorowania sieci kolejowej wykorzystywane w modelach znajdujących praktyczne zastosowanie w wyspecyfikowanych obszarach działalności transportowej. Zwrócono również uwagę na rodzaj i funkcje realizowane przez badane sieci kolejowe. Wyniki rozważań w tym zakresie zamieszczono w tablicy 1.

Tablica 1

Niektóre sposoby odwzorowania sieci kolejowej

Lp.	Nazwa Systemu	Opis odwzorowania sieci kolejowej	Rodzaj sieci	Zastosowanie modelu
1	2	3	4	5
1	Siemens DB-RFN	-obiekty: odcinki linii kolejowej, pociągi -odcinek linii kolejowej dzieli się na elementarne odcinki standardowe długości około 1 km: •typu SN-prostoliniowe odcinki jednorodne dopuszczające ruch w jednym kierunku bez odgałęzienia, atrybuty długość odcinka, dopuszczalna prędkość ruchu •typu WA-oprócz ruchu po torze prostym umożliwiają zjazd na odgałęzienie, atrybuty długość odcinka, dopuszczalna prędkość jazdy, długość zwrotnicy, czas przestawiania zwrotnicy, dopuszczalna prędkość jazdy pociągu po zwrotnicy, -pociągi-ta klasa obiektów charakteryzowana jest poprzez: •parametry techniczne: długość i masa, wielkość oporów ruchu, prędkość dopuszczalna, charakterystyka rozruchu i hamowania •parametry wykresu ruchu pociągów, który opisany jest następującymi danymi: moment odjazdu pociągu, przyspieszenie rozruchu i hamowania dla każdego pociągu, prędkość jazdy pociągu na każdym standardowym odcinku, kolejność przechodzenia każdego pociągu przez elementarne odcinki linii kolejowej	linie kolejowe przystosowane do dużych prędkości-sieć jednorodna technicznie z niejednorodnym ruchem pociągów (różne prędkości jazdy pociągów)	-optymalizacja kierowania ruchem pociągów, -przygotowanie danych ilościowych charakteryzujących ruch pociągu na badanym odcinku, np. zużycie energii, liczba pociągów opóźnionych, stopień zajętości odcinka itp.

cd. tabl.1

1	2	3	4	5
2	SNCF - Francja model "życia" linii kolejowej	-obiekty: linia kolejowa,pociągi, urządzenia infrastruktury linii. -linia kolejowa podzielona jest na szlaki, a te z kolei dzieli się na odstępy wyróżniając wśród nich odstępy szlakowe i stacyjne; atrybuty elementów topologicznych są następujące: •profil trasy, •długość elementu trasy, •maksymalna prędkość jazdy pociągu na danym odstępie lub szlaku, •prędkość jazdy pociągu na poszczególnych drogach zwrotnicowych. -pociągi-ta klasa obiektów charakteryzowana jest następującymi atrybutami: •masa pociągu, •wielkość oporów ruchu, •charakterystyki trakcyjne, •rozkład jazdy pociągów: godziny odjazdów, stacje początkowe i końcowe biegu pociągów, rodzaj pociągu,normatywny przebieg pociągu. -infrastruktura techniczna linii ujęta jest w modelu w bloki strukturalne zawierające te składniki infrastruktury i taboru,których awaria powoduje identyczne konsekwencje ruchowe; liczba bloków wyniosła 23	linia TGV Paryż-Płd.Wschód sieć jednorodna i odosobniona	-dostarczenie kierownictwu ocen jakości oferowanych usług przewozowych, -określenie głównych przyczyn zakłóceń w funkcjonowaniu linii, które mają być podstawą wyboru metod utrzymania i napraw elementów wyposażenia technicznego, -określenie optymalnej strategii eksploatacyjnej w warunkach zakłóceń, -rozwiązywanie konfliktów ruchowych

cd. tabl.1

1	2	3	4	5
3	Model MDP-I SZD-ZSRR	-obiekty: odcinek linii kolejowej, pociągi. -odcinek linii kolejowej został podzielony na odstępy blokowe szlakowe i stacyjne -pociągi-charakteryzują je atrybuty techniczne i rozkład jazdy	odcinek linii jednotorowej wyposażony w różne systemy urządzeń blokady oraz z niejednorodnym ruchem pociągów	-rejestrowanie położenia pociągów na odcinku w czasie i jego odwzorowanie. -kontrola realizacji wykresu ruchu. -sprawdzenie wybranego przez dyspozytora sposobu regulowania ruchu
4	Model symulacyjny przemieszczania pociągów i sterowania ruchem w rejonie sieci kolejowej PKP	-obiekty: elementy układu torowego, pociągi. -elementy układu torowego wykorzystane w modelu to: •zwrotnica (rozjazd zwyczajny). •rozjazd krzyżowy. •semafor. •tarcza ostrzegawcza. •tarcza manewrowa. •tor stacyjny długi, na którym mogą się znajdować dwa pociągi. •tor stacyjny krótki (może znajdować się na nim jeden pociąg) •odstęp blokady samoczynnej. •tor nieizolowany. •koniec toru. •element zewnętrzny. •punkt charakterystyczny (początek drogi widoczności, punkt zmiany dopuszczalnej prędkości itp.) Wyspecyfikowane zbiory elementów tworzą rodzinę T. $T=\{T_j : j=1,2,\ldots,T=n\}$, przy czym $T_j=\{T_{j1},T_{j2},\ldots,T_{ji},\ldots T_{jk_j} : i=1,2,\ldots,T_j=k_j\}$ dla $j=1,\ldots,n$ gdzie k_j stanowi liczność poszczególnych zbiorów T_j. Każdemu elementowi $i \in T_j$	odcinek nowo budowanej linii kolejowej z niejednorodnym ruchem pociągów jadących z prędkością 100-250 km/h	-przygotowanie charakterystyk ilościowych odnoszących się do ruchu pociągów na badanym odcinku linii. -optymalizacja kierowania ruchem pociągów

cd. tabl.1

1	2	3	4	5
		przyporządkowuje się zbiór elementów zakończenia Z_{ji}. Elementy zakończenia są odpowiednikami fizycznych dróg jazdy. Dla elementów poszczególnych zbiorów Z_{ji} określono również relację porządkującą zgodną z naturalną kolejnością położeń zakończeń elementów układu torowego wspólną dla poszczególnych typów j. Następnie wprowadzono funkcję opisu układu torowego f, która przyporządkowuje poszczególnym zakończeniom danego elementu układu torowego element sąsiedni. -pociągi charakteryzowane są przez: •atrybuty stałe: rodzaj pociągu, numer pociągu, prędkość dopuszczalną, współczynniki równania ruchu pociągu, długość pociągu, •atrybuty zmienne: prędkość aktualna pociągu, prędkość poprzednia pociągu prędkość dopuszczalna na drodze przebiegu, kierunek czoła pociągu względem elementu, na którym się znajduje itp.		

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7], [8], [9], [10].

Jak wynika z danych zamieszczonych w tablicy 1, w prezentowanych rozwiązaniach sieć kolejową odwzorowuje się najczęściej jako zbiór modułów topologicznych: model DB - odcinki standardowe, modele SNCF i SZD - szlaki i odstępy blokowe. Tylko w przypadku ostatniego z prezentowanych modeli

sieć kolejową odwzorowuje zbiór elementów obejmujących tory, zwrotnice i charakterystyczne punkty umiejscowione w torze.

Jeżeli rozpatrzyć charakterystyki funkcjonalne badanych obiektów kolejowych, to można zauważyć, że są to jednorodne technicznie sieci kolejowe, a na linii TGV-model SNCF dodatkowo prowadzony jest ruch wyłącznie jednego rodzaju pociągów. Trzy pozostałe linie obciążone są niejednorodnym ruchem pociągów, kursujących z różnymi prędkościami.

Można więc sformułować wniosek, że w przypadku sieci jednorodnych technicznie istnieje tendencja do odwzorowywania sieci na połączone ze sobą moduły topologiczne umożliwiające jazdę na wprost (tory szlakowe i odstępowe, tory stacyjne główne zasadnicze) lub na zboczenie (tory stacyjne dodatkowe).

Wszystkie zaprezentowane rozwiązania mieszczą się w pierwszym i drugim obszarze zastosowań modeli ruchu pociągów.

W następnym punkcie niniejszego artykułu przedstawiono odwzorowanie uniwersalne dla sieci niejednorodnej wykorzystując jednoznacznie zdefiniowane moduły topologiczne. Prezentowana metodyka odwzorowania sieci została przygotowana w Instytucie Transportu Politechniki Śląskiej w ramach prac w problemie RP.I.09 [11], [12], [13]. Autor artykułu jest członkiem zespołu realizującego kilkuletni cykl badań.

3. Odwzorowanie uniwersalne dla potrzeb makromodelu ruchu pociągów

Na wstępie wyjaśnienia wymaga przyjęte określenie odwzorowania uniwersalnego. Jak wiadomo, sieć kolejowa PKP jest systemem o szczególnej złożoności. Złożoność tę dokumentują między innymi:

- właściwości systemu,
- struktura i liczba obiektów w systemie,
- struktura procesów zachodzących w systemie.

Biorąc pod uwagę rozpatrywaną w artykule problematykę obiektów sieci kolejowej wyróżnić można w tym systemie obiekty obsługujące przemieszczanie pociągów (obiekty liniowe - szlaki i odstępy kolejowe, obiekty punktowe - posterunki ruchu) oraz obiekty obsługiwane (pociągi różnych kategorii). Każda klasa obiektów sieci kolejowej PKP charakteryzuje się niejednorodnością techniczną i funkcjonalną. Tak np. niejednorodność techniczna szlaków i odstępów jest wynikiem następujących czynników [18]:

- kategorii linii, na której są one usytuowane:
  - szlaki na liniach magistralnych i pierwszorzędnych,
  - szlaki na liniach drugorzędnych,
  - szlaki na liniach trzeciorzędnych i znaczenia miejscowego.
- liczby torów szlakowych: szlaki jedno-, dwu- i wielotorowe,
- rodzaju urządzeń trakcyjnych: szlaki zelektryfikowane i niezelektryfikowane.

- rodzaju urządzeń sterowania ruchem kolejowym zainstalowanych na szlaku:
  - szlaki z telefonicznym zapowiadaniem pociągów,
  - szlaki z urządzeniami półsamoczynnej blokady liniowej,
  - szlaki z urządzeniami samoczynnej blokady liniowej,
  - szlaki wyposażone w urządzenia zdalnego sterowania.

Również funkcje realizowane przez szlaki są w istotny sposób zróżnicowane. Wynika to z obowiązujących zasad technologicznych w zakresie prowadzenia ruchu pociągów na szlakach jedno- i dwutorowych. Po danym torze szlakowym może być również prowadzony różnorodny ruch pociągów. I tak można tutaj wymienić następujące rodzaje ruchu pociągów:
- ruch jednokierunkowy,
- ruch dwukierunkowy,
- ruch po torze niewłaściwym,
- ruch po torze zamkniętym,
- ruch do kilometra i z powrotem,
- ruch pociągu w warunkach całkowitej przerwy łączności.

Różnorodność cech charakteryzuje także obiekty punktowe sieci kolejowej.

Prezentowany w niniejszym artykule sposób odwzorowania eliminuje wszystkie niedogodności i utrudnienia jakie mogłyby powstać przy opisie tak zróżnicowanego systemu rzeczywistego. Proponowana metodyka umożliwia zatem w identyczny sposób odwzorowanie sieci kolejowej z telefonicznym zapowiadaniem ruchu pociągów, czy też sieci, na której wykorzystano urządzenia blokad liniowych lub zdalnego sterowania. Na odwzorowywanej sieci mogą pracować różne obiekty punktowe (stacje wyposażone w urządzenia mechaniczne lub elektryczne s.r.k. różnych typów, w sygnalizację świetlną lub kształtową itp.). Stąd właściwe jest określenie opracowanej metodyki jako odwzorowania uniwersalnego.

Metoda ta została przygotowana dla potrzeb makromodelu ruchu pociągów. Jest to model symulacyjny dla niejednorodnej technicznie i funkcjonalnie sieci kolejowej. Wyróżniono w nim m.innymi następujące obiekty [12], [15]:
- obiekt typu POCIĄG,
- obiekt typu SYGNALIZATOR,
- obiekt typu POŁĄCZENIE,
- obiekt typu RELACJA.

Obiekt typu pociąg zdefiniowano w następujący sposób: jest to zespół taborowy obejmujący co najmniej jedną lokomotywę lub zespół trakcyjny i tzw. skład pociągu złożony z wagonów (lub innych pojazdów kolejowych), oznaczony numerem, przygotowany do jazdy lub znajdujący się w drodze. Dla potrzeb formułowanego modelu pociągiem jest również próżny skład pociągu pasażerskiego podstawiany z torów postojowych na tory peronowe lub zabierany w kierunku odwrotnym. Charakteryzują go następujące parametry:
- masa pociągu ma_i,
- długość pociągu dl_i.

- trakcja pociągu tr_i, $tr_i \in \langle 1,2,3,4,5 \rangle$ gdzie:
  $tr_i=1$ - trakcja parowa,
  $tr_i=2$ - lokomotywa spalinowa,
  $tr_i=3$ - wagon spalinowy,
  $tr_i=4$ - lokomotywa elektryczna,
  $tr_i=5$ - jednostka elektryczna,
- rodzaj pociągu rod_i, $rod_i \in \langle 1,\ldots,22 \rangle$ gdzie:
  $rod_i=1$ - pociąg ratunkowy,
  $rod_i=2$ - PONSZ,
  $rod_i=3$ - pociąg pasażerski ekspresowy,
  $rod_i=4$ - pociąg pasażerski pospieszny,
  ⋮
  $rod_i=20$ - pociąg zbiorowy,
  $rod_i=21$ - pociągi zdawcze i bocznicowe,
  $rod_i=22$ - pociągi gospodarcze i robocze,
- kategoria pociągu kat_i
  $kat_i \in \langle 1,\ldots,22 \rangle$ może być przyjęta bezpośrednio tak jak rodzaj pociągu lub określona w innej kolejności wg potrzeb,
- rzeczywisty procent masy hamującej pociągu rpp_i,
  $rpp_i \in \langle 0,\ldots,100 \rangle$,
- maksymalna prędkość jazdy pociągu w [km/h] mp_i, $mp_i \in \langle 0,\ldots,300 \rangle$,
- przyspieszenie przy rozruchu w [m/s^2] ppr_i,
- przyspieszenie przy hamowaniu w [m/s^2] pph_i,
- numer wjazdu pociągu do rejonu sieci nwj_i
  $nwj_i \in \langle 1,\ldots,LPZ \rangle$, gdzie: LPZ - liczba wjazdów do badanego rejonu sieci kolejowej,
- numer wyjazdu pociągu z rejonu sieci nwy_i
  $nwy_i \in \langle 1,\ldots,LPZ \rangle$,
- numer kolejowy pociągu nk_i,
- rozkład jazdy pociągu rj_i

$$rj_i \in \left(\langle 1,\ldots,LPOL \rangle^* \times R_0^+ \right)$$

$$\langle rj_i \rangle = \langle (y_{1,i},\tau_{1,i}),\ldots,(y_{n,i},\tau_{n,i}) \rangle \text{ gdzie:}$$

$$\bigwedge_{\tau_{i1,i}>0} \tau_{1,i} < \ldots < \tau_{i1,i} < \ldots < \tau_{n,i} \qquad i \in \langle 1,\ldots,n \rangle$$

$y_{i1,i}$ - kolejne połączenia, które przejeżdża i-ty pociąg w procesie przejazdu przez rejon sieci,

$\tau_{i1,i}$ - planowe czasy wjazdu pociągu na kolejne odcinki toru, których składowymi są połączenia $y_{1,i},\ldots,y_{n,i}$,

- skrócony rozkład jazdy pociągu srj_i, a więc zawierający minimalne czasy zajęcia przez pociąg kolejnych połączeń sieci.

Sygnalizatorem nazywa się urządzenie lub ustalony przepisami sposób przekazywania informacji o trybie ruchu pociągu (zezwolenie lub zabronienie jazdy) na określonym odcinku toru. A zatem za sygnalizator uważa się: semafor wjazdowy, semafor wyjazdowy, semafor drogowskazowy, semafor odstępowy półsamoczynny i SBL, tarczę zaporową, sygnał zastępczy, rozkaz szczególny, telefoniczne (radiotelefoniczne) polecenie dyżurnego ruchu, semafor fikcyjny (wprowadzony dla potrzeb symulacji), tarczę manewrową (w przypadku ruchu pociągu na te sygnały). Obiekt typu SYGNALIZATOR charakteryzują następujące parametry:

- rodzaj sygnalizatora rs_j, $rs_j \in \{1,2,3,\ldots,11\}$,

  gdzie:

  $rs_j=1$ - semafor wjazdowy na posterunek ruchu z zainstalowanym sygnałem zastępczym,

  $rs_j=2$ - semafor wyjazdowy z sygnałem zastępczym,

  $rs_j=3$ - tarcza zaporowa,

  $rs_j=4$ - sygnał zastępczy jako osobne urządzenie,

  $rs_j=5$ - rozkaz szczególny,

  $rs_j=6$ - semafor wjazdowy na posterunek ruchu bez sygnału zezwalającego,

  $rs_j=7$ - semafor wyjazdowy bez sygnału zezwalającego,

  $rs_j=8$ - tarcza manewrowa,

  $rs_j=9$ - semafor SBL,

  $rs_j=10$ - porozumienie telefoniczne lub radiotelefoniczne jako podstawa ruchu pociągu,

  $rs_j=11$ - semafor fikcyjny, który dla potrzeb modelowania lokalizuje się w głowicach, w których w jednym kierunku odbywa się ruch pociągów z wykorzystaniem samoczynnej blokady liniowej jednokierunkowej (w kierunku przeciwnym po tym samym torze brak jest urządzeń SBL),

- numer głowicy za sygnalizatorem ng_j, $ng_j \in \{1,\ldots,LGLOW\}$,

  gdzie: LGLOW - liczba głowic w badanym rejonie sieci kolejowej,

- rodzaj blokady samoczynnej rb_j, $rb_j \in \{1,2,3,4\}$,

  gdzie:

  $rb_j=1$ - sygnalizator nie jest semaforem SBL,

  $rb_j=2$ - blokada dwustawna,

  $rb_j=3$ - blokada trzystawna,

  $rb_j=4$ - blokada czterostawna.

Wśród zmiennych opisowych obiektu typu SYGANLIZATOR wymienić należy tę, która charakteryzuje stan sygnalizatora ss_j wyróżniając przy tym:

$ss_j \in \{1,2,3,\ldots,8\}$, gdzie:

$ss_j=1$ - sygnał "stój",

$ss_j=2$ - sygnał zastępczy,

$ss_j=3$ - $v \le 40$ km/h,

$ss_j=4$ - $v \le 60$ km/h,

$ss_j=5$ - $v \le 100$ km/h,

ss_j=6 - dozwolona jazda z prędkością maksymalną lub światło zielone na semaforze SBL,

ss_j=7 - światło pomarańczowe ciągłe na semaforze SBL,

ss_j=8 - światło pomarańczowe migające na semaforze SBL.

Ścisłe powiązanie z topologią odwzorowywanej sieci kolejowej mają następne, wyróżnione w modelu ruchu pociągów obiekty, to jest obiekt typu POŁĄCZENIE i obiekt typu RELACJA.

Połączenie jest to część toru w obydwu kierunkach ruchu od przebiegowego miejsca końca pociągu do kolejnego sygnalizatora lub punktu granicznego. Charakteryzyją ten obiekt w modelu następujące parametry:

- numery głowic ograniczających połączenie gp_k, gk_k, $gp_k \in \{1,2,\ldots,LGLOW\}$, $gk_k \in \{-1,\ldots,-LPZ,1,2,\ldots,LGLOW\}$,
  gdzie znaczenie symboli podano poprzednio,
- długość połączenia w [m] od głowicy gp_k do gk_k, da_k,
- długość połączenia w [m] od głowicy gk_k do gp_k, db_k,
- numery sygnalizatorów ograniczających wjazd na głowice przylegające do połączenia sa_k, $sa_k \in \{0,1,2,\ldots,LSYGN\}$,
  gdzie:
  sa_k=0 - gdy nie jest możliwy technicznie lub nie jest przewidziany wjazd na przylegającą głowicę z połączenia,
  LSYGN - liczba sygnalizatorów w badanym rejonie sieci kolejowej,
- dopuszczalna prędkość jazdy na połączeniu dp_k,
- rodzaj trakcji na połączeniu tp_k,
- rodzaj ruchu na połączeniu rr_k, $rr_k \in \{0,1,2\}$, gdzie:
  rr_k=0 - ruch mieszany,
  rr_k=1 - tylko ruch pasażerski,
  rr_k=2 - tylko ruch towarowy,
- rodzaj połączenia rp_k, $rp_k \in \{1,2,\ldots,8\}$, gdzie:
  rp_k=1 - połączenie szlakowe z zapowiadaniem telefonicznym,
  rp_k=2 - połączenie szlakowe z blokadą półsamoczynną,
  rp_k=3 - połączenie szlakowe z blokadą samoczynną,
  rp_k=4 - połączenie szlakowe z urządzeniami zdalnego sterowania,
  rp_k=5 - połączenie stacyjne główne z zapowiadaniem telefonicznym,
  rp_k=6 - połączenie stacyjne główne z blokadą,
  rp_k=7 - połączenie stacyjne główne sterowane centralnie,
  rp_k=8 - połączenie stacyjne dodatkowe i boczne,
- dopuszczalny nacisk jednostkowy osi wagonu na szynę na połączeniu w [kN/oś] dnj_k,
- czas zajmowania połączenia ca_k, który charakteryzuje czas upływający od momentu podjęcia decyzji o zajęciu połączenia do przestawienia pierwszej zwrotnicy wybranej relacji w jednej z ograniczających to połączenie głowic,
- czas porozumienia się dotyczący zajęcia połączenia cb_k, który określa czas porozumiewania się personelu służby ruchu posterunków uczestniczących w

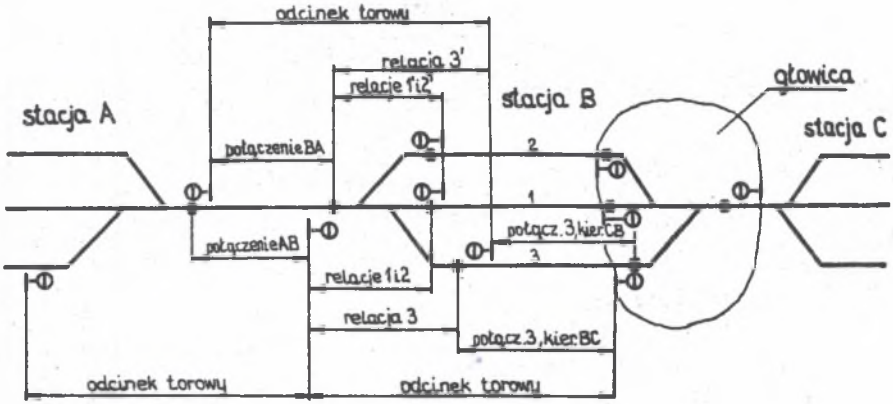
prowadzeniu ruchu pociągów na głowicach ograniczających dane połączenie.

Relacja jest to część toru od sygnalizatora do przebiegowego miejsca końca pociągu, patrząc w kierunku ruchu pociągu. Charakteryzują ją następujące parametry:

- numer głowicy, w której znajduje się relacja glr_m, $glr_m \in \langle 1,2,\ldots,LGLOW \rangle$,
- rodzaj urządzeń srk znajdujących się na głowicy glr_m ur_m, $ur_m \in \langle 1,2,\ldots,8 \rangle$, gdzie:
  ur_m=1 urządzenia mechaniczne ręczne,
  ur_m=2 urządzenia mechniczne scentralizowane,
  ur_m=3 urządzenia elektromechniczne suwakowe,
  ur_m=4 urządzenia elektryczne typu E,
  ur_m=5 urządzenia elektryczne typu PB,
  ur_m=6 urządzenia elektryczne typu B,
  ur_m=7 dyspozytorskie urządzenia nastawcze,
  ur_m=8 urządzenia nowo projektowane,
- numery połączeń ograniczających daną relację npr_m, nkr_m,
- numer sygnalizatora ograniczającego wjazd na relację nsr_m, $nsr_m \in \langle 1,2,\ldots,LSYGN \rangle$,
- rodzaj relacji rr_m, $rr_m \in \langle 1,\ldots,4 \rangle$, gdzie:
  rr_m=1 - relacja podstawowa,
  rr_m=2 - relacja możliwa,
  rr_m=3 - relacja awaryjna,
  rr_m=4 - inny wariant relacji awaryjnej,
- numery relacji kolizyjnych do danej relacji krr_m, $krr_m \in \langle 1,2,\ldots,LREL \rangle$, gdzie:
  LREL - liczba relacji w danej głowicy,
- odległość od sygnalizatora wjazdowego na relację do sygnałowego miejsca końca pociągu w [m] osr_m,
- odległość od sygnalizatora wjazdowego na relację do przebiegowego miejsca końca pociągu w [m] otr_m,
- odległość od sygnalizatora wjazdowego na relację do miejsca ustawienia tarczy ostrzegawczej następnego sygnalizatora lub punktu granicznego sieci w [m] otr_m,
- odległość od sygnalizatora wjazdowego na relację do miejsca ustawienia następnego sygnalizatora w [m] onr_m,
- dopuszczalna prędkość jazdy na relacji w [km/h] mpr_m, $mpr_m \in \langle 0,1,\ldots,160 \rangle$,
- rodzaj trakcji na relacji trr_m,
- czas ustawienia drogi przebiegu dla jazdy pociągu po danej relacji cur_m,
- czas od zajęcia relacji do podania sygnału zezwalającego na sygnalizatorze wjazdowym na relację czr_m,
- czas od momentu podjęcia decyzji o awaryjnym anulowaniu sygnału zezwalającego przez sterującego ruchem do momentu, gdy można rozpocząć rozwiązywanie drogi przebiegu cza_m.

Na rys.1 zilustrowano obiekty topologiczne wyróżnione w modelu ruchu

pociągów opracowanym w Instytucie Transportu Politechniki Śląskiej.



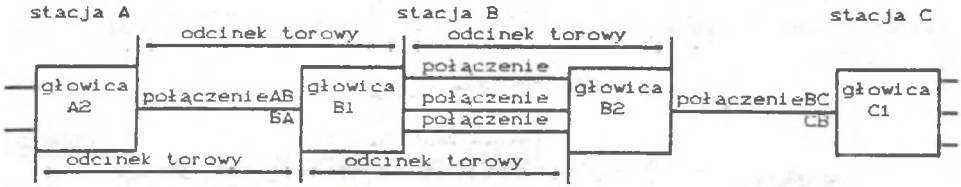
Rys.1. Obiekty topologiczne w modelu ruchu pociągów
Fig.1. A topological objects in railway traffic model

W celu wykorzystania modelu dla dowolnie określonej technicznie i funkcjonalnie sieci kolejowej wprowadzono pojęcia głowicy i odcinka torowego. I tak głowica jest to zbiór wszystkich możliwych relacji na pewnym obszarze rejonu sieci, ograniczonym połączeniami, z których każda posiada co najmniej jeden punkt wspólny z inną relacją należącą do tej głowicy. Natomiast odcinek torowy jest to część toru dla danego kierunku ruchu między dwoma sygnalizatorami. Nietrudno zauważyć, że na tak zdefiniowany odcinek torowy składa się zawsze połączenie i określona relacja. Odcinkiem toru jest także część toru zawarta między punktem granicznym rozpatrywanej sieci a "pierwszym" sygnalizatorem lub też między "ostatnim" sygnalizatorem a punktem granicznym rozpatrywanego rejonu sieci.

W takim ujęciu przykładowy fragment sieci z rys.1 będzie wyglądał następująco - zob.rys.2.

Wykorzystując pojęcia: połączenie, relacja, głowica i odcinek torowy można odwzorować dowolną sieć kolejową. Odwzorowanie to ma charakter deterministyczny, a stopień jego szczegółowości jest wystarczający dla rozwiązywania zagadnień regulacji ruchu pociągów na danym obszarze sieci. Tak więc każdą odwzorowywaną sieć przedstawiać będą zdefiniowane powyżej moduły topologiczne: głowice, odcinki torowe, połączenia i relacje.

Zgodnie z tym co przedstawiono dotychczas dla potrzeb makromodelu ruchu pociągów w strukturze topologicznej można wyróżnić następujące



Rys.2. Moduły topologiczne odwzorowujące dowolną sieć kolejową
Fig.2. A topological units representating optional railway net

elementy [16]:

- o charakterze punktowym:
  - przebiegowe miejsce końca pociągu,
  - sygnałowe miejsce końca pociągu,
  - sygnalizatory,
  - tarcze ostrzegawcze,
  - punkty graniczne sieci,
- o charakterze niepunktowym:
  - odcinki torowe,
  - połączenia,
  - głowice,
  - relacje.

Występujące między tymi elementami zależności ilościowe przedstawione zostaną poniżej. Niech:

- $\bar{P}$ oznacza zbiór wszystkich połączeń znajdujących się w badanym rejonie sieci kolejowej,

  $\bar{P}=\langle P_1, P_2, \ldots, P_{LPOL} \rangle$,

- $\bar{R}$ oznacza zbiór wszystkich relacji znajdujących się w badanym rejonie sieci kolejowej

  $\bar{R}=\langle R^1_1, R^1_2, \ldots, R^1_{LREL}, \ldots, R^{LGLOW}_1, R^{LGLOW}_2, \ldots, R^{LGLOW}_{LREL} \rangle$

  to można zdefiniować następujący graf:

  $PR = \langle \bar{P}, \bar{R}, \bar{Q} \rangle$

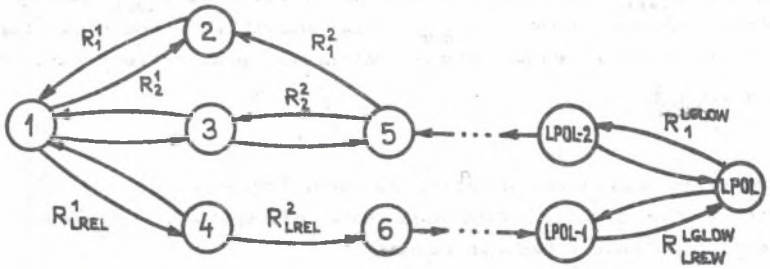
gdzie:

$\bar{P}$ - zbiór wierzchołków grafu (zbiór połączeń),

$\bar{R}$ - zbiór łuków grafu (zbiór relacji),

$\bar{Q} - \bar{P} \times \bar{R} \times \bar{P}$,

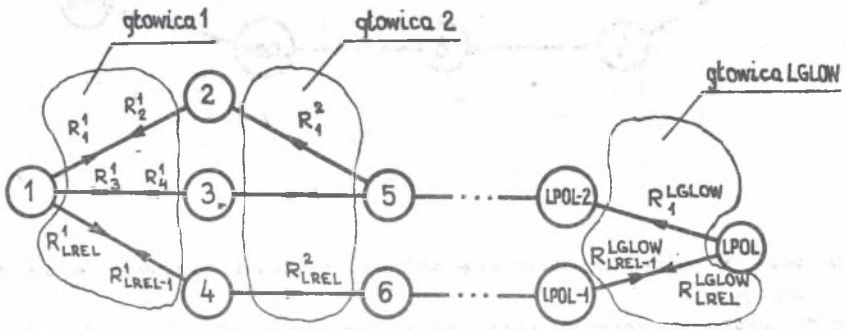
co ilustruje rys.3.



Rys. 3. Graf PR opisujący strukturę topologiczną przykładowego rejonu sieci kolejowej

Fig. 3. PR graph describing topological structure of exemplary railway traffic area

Zakładając, że na relacje przeciwne składają się identyczne elementy dróg przebiegu, jakimi są rozjazdy, można graf PR przedstawić w innej postaci - zob. rys. 4.



Rys. 4. Graf PR* opisujący strukturę topologiczną przykładowego rejonu sieci kolejowej

Fig. 4. PR* graph describing topological structure of exemplary railway traffic area

Na rys. 4 można zauważyć niezależne od siebie wieloboki łuków grafu PR*.

Wieloboki te przedstawiają głowice znajdujące się w badanym rejonie sieci kolejowej.

Każdy łuk R_{LREL}^{LGLOW} wychodzący z danego wierzchołka P_{LPOL} tworzy z tym wierzchołkiem odcinek torowy O_{LTOR}. Dla wszystkich odcinków torowych badanego rejonu sieci kolejowej można zdefiniować graf zorientowany OO

$$OO = \langle \bar{O}, \bar{H}, \bar{Z} \rangle$$

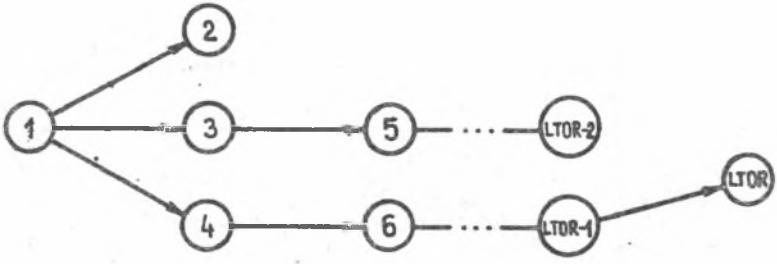
gdzie:

$\bar{O}$ - zbiór wierzchołków grafu (zbiór odcinków torowych),

$\bar{H}$ - zbiór łuków grafu (przedstawia sobą następstwio odcinków - droga przejazdu pociągu w badanym rejonie),

$\bar{Z} = \bar{O} \times \bar{H} \times \bar{O}$.

Na rys.5 przedstawiono przykładowy graf opisujący strukturę odcinków torowych badanego rejonu sieci kolejowej.



Rys.5. Graf OO opisujący strukturę odcinków torowych badanego rejonu sieci kolejowej

Fig.5. OO graph describing rail units structure of researching railway traffic area

Jeżeli przyjmiemy, że:

$\bar{G}$ - zbiór wszystkich wierzchłków grafu (zbiór głowic oraz punktów granicznych badanej sieci),

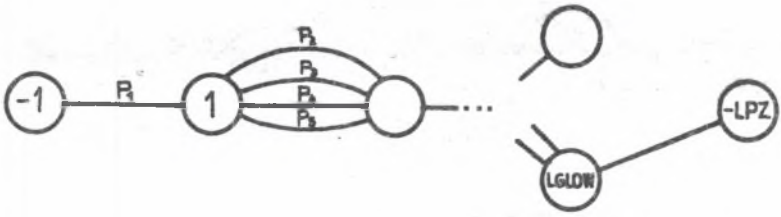
$\bar{P}$ - zbiór łuków grafu (zbiór połączeń),

$\bar{R} = \bar{G} \times \bar{P} \times \bar{G}$.

to można zdefiniować graf

$GP = \langle \bar{G}, \bar{P}, \bar{R} \rangle$

który odwzorowuje nam strukturę topologiczną badanego rejonu. Przykład takiego grafu przedstawia rys.6.



Legenda:

-1 - oznaczenie punktu granicznego sieci

1 - oznaczenie głowicy

Rys.6. Graf GP odwzorowujący strukturę topologiczną przykładowego rejonu sieci

Fig.6. GP graph representating topological structure of exemplary net area

W przypadku elementów punktowych badanego rejonu sieci można je zdefiniować następująco:

$\bar{S}=\langle S_1, S_2, \ldots, S_{LSYGN} \rangle$ - zbiór wszystkich sygnalizatorów w badanym rejonie sieci kolejowej.

$\bar{A}=\langle A_1, A_2, \ldots, A_{LPZ} \rangle$ - zbiór punktów granicznych sieci.

$\bar{B}=\langle B_1, B_2, \ldots, B_{LSYGN} \rangle$ - zbiór tarcz ostrzegawczych w badanym rejonie sieci.

$\bar{C}=\langle C_1, C_2, \ldots, C_{LSYGN} \rangle$ - zbiór przebiegowych miejsc końca pociągu.

$\bar{D}=\langle D_1, D_2, \ldots, D_{LSYGN} \rangle$ - zbiór sygnałowych miejsc końca pociągu.

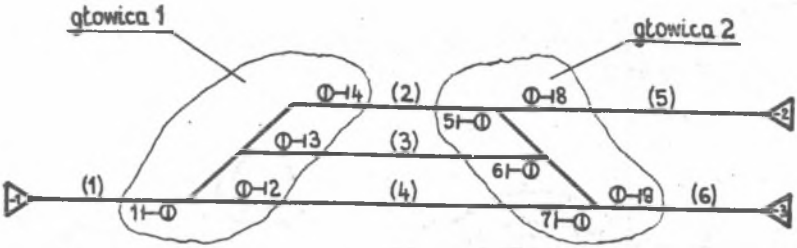
przy czym LSYGN = 2LPOL-LPZ

Zbiory $\bar{O}, \bar{P}, \bar{G}, \bar{R}, \bar{S}, \bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{D}$ opisujące elementy punktowe i niepunktowe danego rejonu sieci kolejowej, zbiór odległości między elementami wyspecyfikowanych zbiorów oraz zbiór relacji opisujących następstwo poszczególnych elementów niepunktowych w sposób jednoznaczny odwzorowują dowolny rejon sieci kolejowej.

Dla zilustrowania omawianej metody opisu topologii sieci kolejowej przedstawiono następujące przykłady:

- pierwszy dotyczy stacji pośredniej z przyległymi szlakami,
- drugi jest odwzorowaniem szlaku z blokadą samoczynną.

Na rys.7 przedstawiono przykładową stację pośrednią



Legenda:

-1 - numery wejść do badanej sieci

o—|1 - numery sygnalizatorów

(1)- numery połączeń

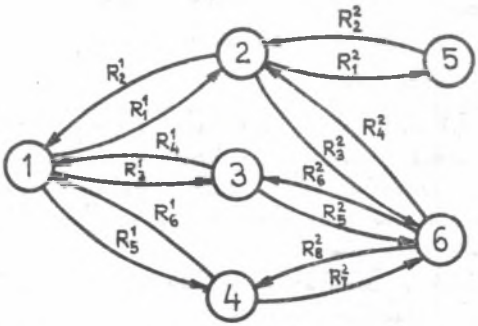
Rys.7. Układ torowy przykładowego rejonu sieci kolejowej

Fig.7. An exemplary railway traffic area

Rejon sieci przedstawiony na rys.7 charakteryzują następujące parametry:

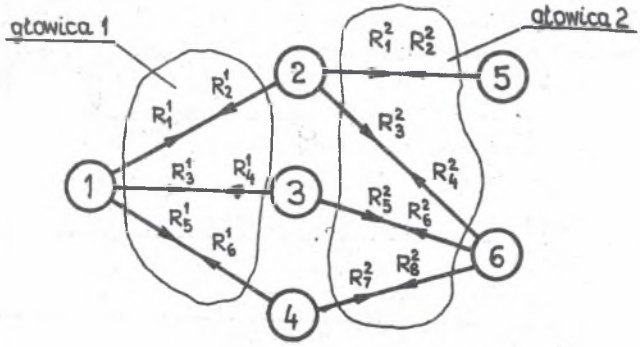
- liczba połączeń LPOL=6,
- liczba głowic LGLOW=2,
- liczba wjazdów do sieci LPZ=3,
- liczba relacji w głowicy 1 LREL(1)=6,
- liczba relacji w głowicy 2 LREL(2)=8,
- liczba odcinków torowych LTOR=16,
- liczba sygnalizatorów LSYG=9.

Na rys.8-11 przedstawiono grafy PR, PR*.OO i GP, odwzorowujące przykładowy rejon sieci kolejowej.



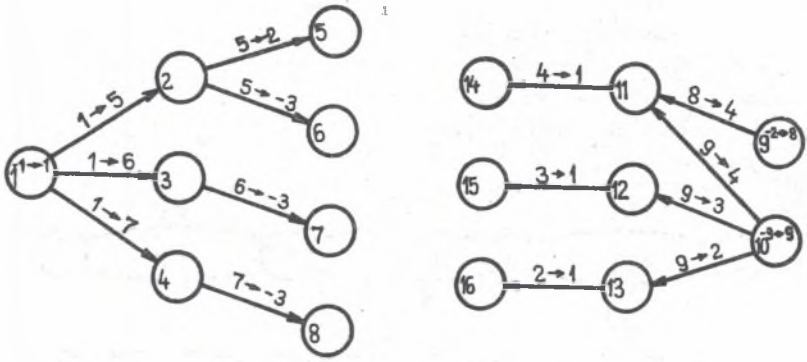
Rys.8. Graf PR dla przykładowego rejonu sieci kolejowej

Fig.8. PR graph for exemplary railway traffic area



Rys. 9. Graf PR^* dla przykładowego rejonu sieci kolejowej

Fig. 9. PR^* graph for exemplary railway traffic area



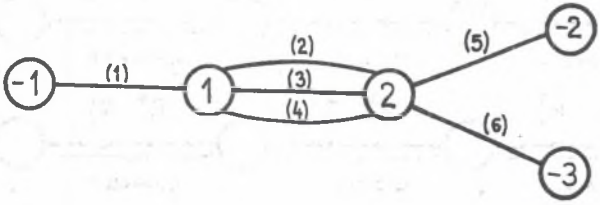
Legenda:

1→5 - oznacza jazdę pociągu spod sygnalizatora 1 do sygnalizatora 5

-1→1 - oznacza jazdę pociągu z wjazdu do sieci 1 do sygnalizatora 1

Rys. 10. Graf OO dla przykładowego rejonu sieci kolejowej

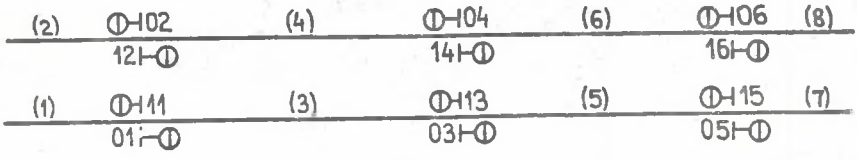
Fig. 10. OO graph for exemplary railway traffic area



Rys. 11. Graf GP dla przykładowego rejonu sieci kolejowej

Fig. 11. GP graph for exemplary railway traffic area

W drugim przykładzie odwzorowano szlak wyposażony w urządzenia jednokierunkowej blokady samoczynnej. W tym przypadku zachodziła konieczność wprowadzenia tzw. semaforów fikcyjnych. Na rys.12-16 przedstawiono schemat układu topologicznego szlaku oraz grafy PR, PR*, OO i GP odwzorowujące przykładową sieć kolejową.



Legenda:

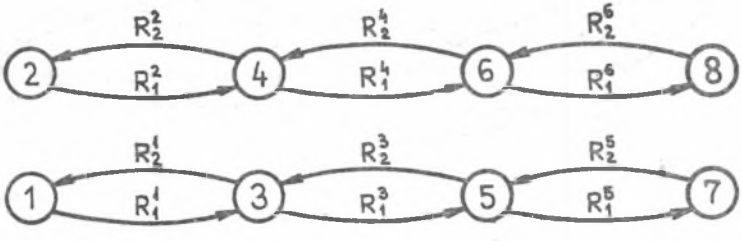
01,02,...,06 - semafory odstępowe SBL,

11,12,...,16 - semafory fikcyjne,

(1),...,(7) - numery połączeń.

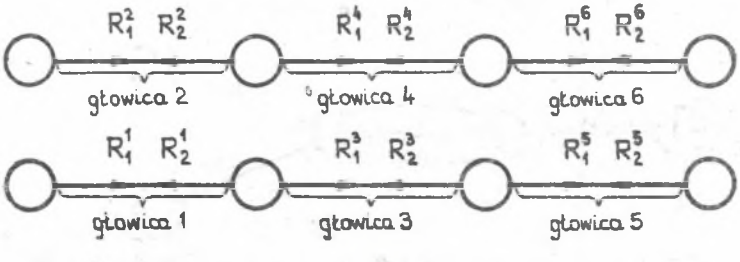
Rys.12. Układ torowy przykładowego szlaku SBL

Fig.12. An exemplary SBL railway route



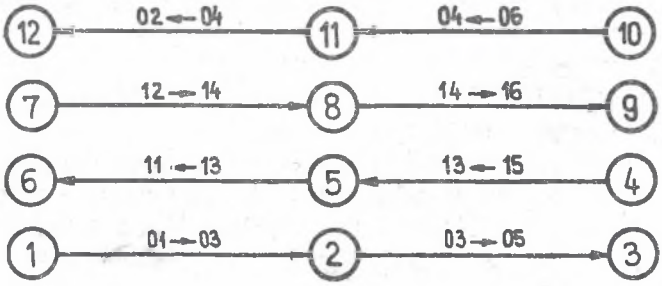
Rys.13. Graf PR dla przykładowego szlaku SBL

Fig.13. PR graph for exemplary SBL railway route

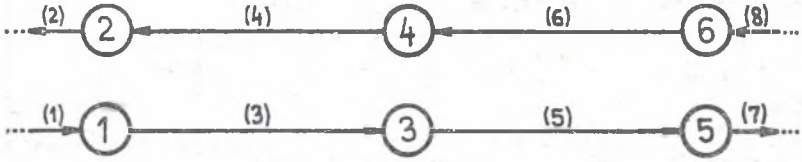


Rys.14. Graf PR* dla przykładowego szlaku SBL

Fig.14. PR* graph for exemplary SBL railway route



Rys.15. Graf OO dla przykładowego szlaku SBL (legenda jak na rys.10)
Fig.15. OO graph for exemplary SBL railway route (legend like fig.10)



Rys.16. Graf GP dla przykładowego szlaku SBL
Fig.16. GP graph for exemplary SBL railway route

4. Odwzorowanie szczególne dla potrzeb modelu ruchu pociągów na linii KRR

Od 1988 roku w Instytucie Transportu Politechniki Śląskiej prowadzone są prace nad modelem ruchu pociągów na tzw. linii KRR w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym [17], [18], [19]. Kolejowy Ruch Regionalny KRR jest systemem masowych przewozów pasażerskich. Linie KRR jako wydzielone pary torów będą pracować całkowicie niezależnie od istniejących linii PKP. Jednocześnie będą posiadały jednorodną infrastrukturę techniczną. Na liniach tych kursować będą pociągi wyłącznie jednego rodzaju, złożone z jednakowych jednostek taboru, spełniających funkcje pociągów szybkiej kolei miejskiej. Tak więc będzie to sieć jednorodna technicznie i funkcjonalnie oraz odosobniona w stosunku do eksploatowanej sieci PKP.

Do odwzorowania sieci KRR można wykorzystać przedstawioną w poprzednim punkcie niniejszego artykułu metodykę. Ale z drugiej strony, wobec jednorodności układu topologicznego oraz jego wyposażenia technicznego (np

cała sieć KRR podzielona jest na odcinki izolowane) zmodyfikowano opisaną uprzednio metodę odwzorowania sieci kolejowej [19].

W modelu ruchu pociągów na linii KRR wyróżniono między innymi następujące obiekty:

- obiekt typu POCIĄG,
- obiekt typu SYGNALIZATOR,
- obiekt typu ODCINEK IZOLOWANY.

Obiekt typu pociąg zdefiniowano jako zespół trakcyjny oznaczony właściwym dla niego numerem wynikającym, z realizowanego przez ten skład zadania, przygotowany do jazdy lub znajdujący się w drodze. Obiekt typu POCIĄG charakteryzowany jest przez następujące parametry:

- nz_i - numer zadania,[1]
- $ma_i, dl_i, rpp_i, mp_i, ppr_i, pph_i, nwj_i, nwy_i, nk_i, rj_i$[2].

Sygnalizatorem nazywa się urządzenie służące do przekazywania informacji o trybie ruchu pociągu na określonym odcinku torowym. Za sygnalizator uważa się:

- semafory wjazdowe i wyjazdowe na i ze stacji KRR,
- semafory wjazdowe i wyjazdowe na i z przystanków KRR,
- semafory odstępowe samoczynnej blokady liniowej.

Obiekt typu SYGNALIZATOR charakteryzują następujące parametry:

- rodzaj sygnalizatora rs_j, $rs_j \in \{1,\ldots,4\}$ $j=1,2,\ldots,LSYG$
  gdzie:
  $rs_j=1$ - semafor stacyjny z możliwością podania sygnału zastępczego,
  $rs_j=2$ - semafor stacyjny bez sygnału zastępczego,
  $rs_j=3$ - semafor odstępowy SBL,
  $rs_j=4$ - semafor wyjazdowy z przystanku KRR,
- numer odcinka izolowanego, na końcu którego usytuowany jest dany sygnalizator npz_j,
- numer odcinka izolowanego, który usytuowany jest za danym semaforem ntz_j,
- rodzaj pracy sygnalizatora rps_j, $rps_j \in \{1,2\}$ gdzie:
  $rps_j=1$ - semafor nastawiony na samoczynność,
  $rps_j=2$ - semafor sterowany z centrum sterowania.

Podobnie jak poprzednio zmienna opisowa ss_j charakteryzuje stan sygnalizatora, wyróżniając:

- dla $rs_j=1$ i $rs_j=2$ (semafory stacyjne) $ss_j \in \{1,2,\ldots,13\}$, gdzie:
  - $ss_j = 1$ - światło czerwone "stój",

1) Zadanie - plan pracy składu obejmujący miejsca i kolejność obsługi przez skład określonych pociągów

2) Znaczenie symboli jak w punkcie 2 niniejszego artykułu

- $ss_j = 2$ - stan "stop" semafora.[1)]
- $ss_j = 3$ - światło zielone.
- $ss_j = 4$ - światło niebieskie.
- $ss_j = 5$ - światło pomarańczowe.
- $ss_j = 6$ - światło pomarańczowe migające.
- $ss_j = 7$ - światło zielone i pomarańczowe.
- $ss_j = 8$ - dwa światła pomarańczowe ciągłe.
- $ss_j = 9$ - światło pomarańczowe i pomarańczowe migające.
- $ss_j = 10$ - światło białe.
- $ss_j = 11$ - samoczynność.
- $ss_j = 12$ - przepalenie żarówki.
- $ss_j = 13$ - uszkodzenie obwodów semafora.

- dla $rs_j = 3$ (semafory SBL) i $rs_j = 4$ (semafory wyjazdowe z przystanków KRR) $ss_j \in \langle 1,2,\ldots,6 \rangle$, gdzie:
  - $ss_j = 1$ - światło czerwone "stój".
  - $ss_j = 2$ - światło zielone.
  - $ss_j = 3$ - światło pomarańczowe.
  - $ss_j = 4$ - światło pomarańczowe migające.
  - $ss_j = 5$ - przepalenie żarówki.
  - $ss_j = 6$ - uszkodzenie obwodów semafora.

Dla wyłącznych potrzeb modelu ruchu pociągu na linii KRR wyróżniono obiekty typu ODCINKI IZOLOWANE. Zbiór tych odcinków tworzą odcinki torów od złącza izolowanego do następnego złącza izolowanego oraz zwrotnicowe odcinki izolowane. Obiekty typu odcinki izolowane charakteryzują następujace parametry:

- numery odcinków izolowanych przylegających do danego odcinka izolowanego noa_k, nob_k, $k=1,2,\ldots,LODC$,
- długość odcinka izolowanego w [m] do_k,
- dopuszczalna prędkość jazdy w [km/h] dpj_k.

Dodatkowo wprowadzono pojęcia odcinka torowego monoelementowego i wieloelementowego. ODCINEK TOROWY MONOELEMENTOWY zdefiniowano w modelu jako odcinek toru od złącza izolowanego usytuowanego za następnym semaforem, złożony wyłącznie z torowego odcinka izolowanego. ODCINEK TOROWY WIELOELEMENTOWY jest to odcinek toru od złącza izolowanego za semaforem wjazdowym na dany odcinek do złącza izolowanego umieszczonego za następnym semaforem złożony z torowych i zwrotnicowych odcinków izolowanych. Odcinki wieloelementowe występują wyłącznie na stacjach KRR. Tak wyróżnione odcinki torowe charakteryzowane są dodatkowo przez numery semaforów wjazdowych i wyjazdowych na i z odcinka dla obydwu kierunków ruchu. Na rys.17

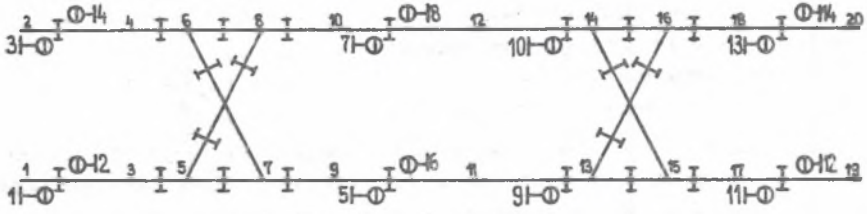
1) Sygnał "stój" na semaforze, który może być zmieniony tylko przez centrum sterowania ruchem na linii KRR.

zilustrowano obiekty topologiczne wyróżnione w modelu ruchu na linii KRR.

Zgodnie z tym co przedstawiono dotychczas dla potrzeb modelu ruchu pociągów na linii KRR, w strukturze topologicznej wyróżnia się następujące elementy:

- o charakterze punktowym:
  - sygnalizatory,
  - złącza izolowane odcinków torowych,
  - punkty graniczne sieci KRR,
- o charakterze niepunktowym:
  - odcinki izolowane,
  - odcinki torowe monoelementowe,
  - odcinki torowe wieloelementowe.

Występujące pomiędzy wyspecyfikowanymi elementami zależności przedstawione zostaną w następnej kolejności.



Legenda

1-14 - numery semaforów,
1-20 - numery odcinków izolowanych.
Wykaz odcinków torowych monoelementowych:
1M - odcinek izolowany 1, 2M - odcinek izolowany 2, 3M - odcinek izolowany 11, 4M - odcinek izolowany 12, 5M - odcinek izolowany 19, 6M - odcinek izolowany 20.
Wykaz odcinków torowych wieloelementowych:
7W - odcinki izolowane 3,5,7,9; 8W - odcinki izolowane 3,5,7,8,10;
9W - odcinki izolowane 4,6,7,9; 10W - odcinki izolowane 4,6,8,10 itd.
I - złącze izolowane odcinka torowego

Rys.17. Obiekty topologiczne w modelu ruchu pociągów na linii KRR
Fig.17. A topological objects in railway traffic model on KRR line

Niech:

$\bar{O}$ - oznacza zbiór wszystkich odcinków izolowanych na sieci KRR o liności 1,2,...,LODC,

$\bar{H}$ - natomiast oznacza następstwo odcinków dla danego kierunku ruchu,

to dla analizowanej sieci KRR można określić graf zorientowany OO taki, że

$OO = \langle \bar{O}, \bar{H}, \bar{Z} \rangle$

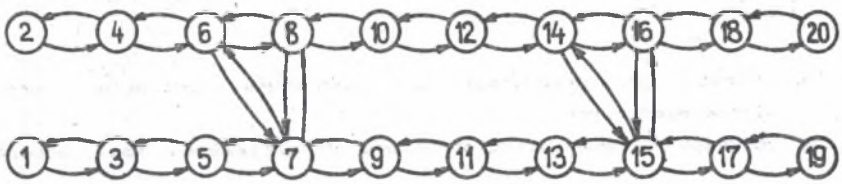
gdzie:

$\overline{O}$ - zbiór wierzchołków grafu,

$\overline{H}$ - zbiór łuków grafu,

$\overline{Z} = \overline{O} \times \overline{H} \times \overline{O}$

Przykład takiego grafu dla rejonu sieci KRR z rys.17 przedstawiono na rys.18.



Rys.18. Graf OO opisujący strukturę odcinków izolowanych dla przykładowego rejonu sieci KRR

Fig.18. OO graph describing insulating segments structure for exemplary KRR net area

Jeżeli teraz uwzględnić odcinki torowe mono- i wieloelementowe, to dla każdego obiektu typu odcinek torowy wieloelementowy można przy założeniu, że:

$\overline{Q}$ - zbiór wszystkich odcinków izolowanych torowych i zwrotnicowych składających się na dany odcinek torowy wieloelementowy

$\overline{G}$ - następstwo odcinków izolowanych w danym odcinku torowym wieloelementowym

zdefiniować graf QQ:

$QQ = \langle \overline{Q}, \overline{G}, \overline{W} \rangle$

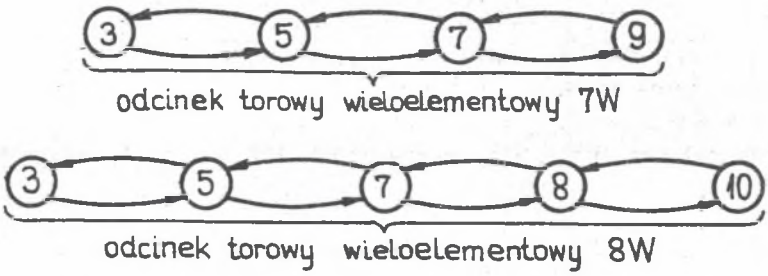
gdzie:

$\overline{Q}$ - zbiór wierzchołków grafu,

$\overline{G}$ - zbiór łuków grafu,

$\overline{W} = \overline{Q} \times \overline{G} \times \overline{Q}$

Przykład grafów QQ dla wybranych odcinków torowych wieloelementowych z rys.17 przedstawia rys.19.



Rys.19. Graf QQ przedstawiający strukturę odcinków torowych wieloelementowych

Fig.19. QQ graph representating structure of multielement rail segments

Zgodnie z przyjętą definicją odcinki torowe wiążą elementy punktowe (semafory, złącza izolowane) oraz elementy niepunktowe (odcinki izolowane torowe i zwrotnicowe). Można więc, przyjmując że:

$\bar{T}$ - zbiór wszystkich odcinków torowych w badanym rejonie sieci KRR,

$\bar{S}$ - następstwo odcinków torowych,

zdefiniować graf zorientowany TT:

$$TT = \langle \bar{T}, \bar{S}, \bar{U} \rangle$$

gdzie:

$\bar{T}$ - zbiór wierzchołków grafu,

$\bar{S}$ - zbiór łuków grafu,

$\bar{U} = \bar{T} \times \bar{S} \times \bar{T}$

Graf ten jednoznacznie odwzorowuje wszystkie drogi przejazdu pociągu na badanej sieci KRR. Na rys.20 przedstawiono przykładowy graf TT dla sieci KRR z rys.17.

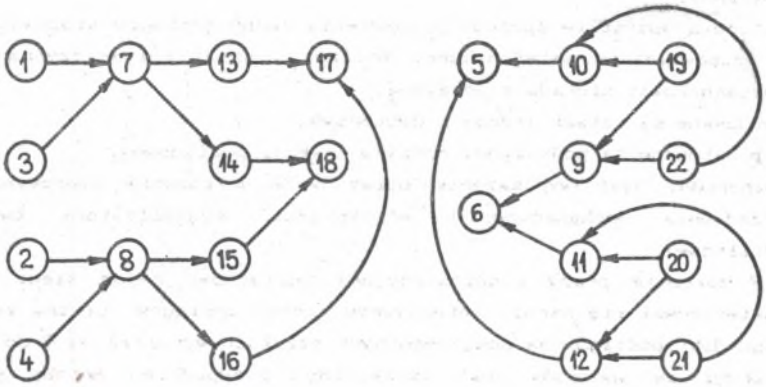
Elementy punktowe sieci KRR można określić następująco:

$\bar{S} = \{S_1, S_2, \ldots, S_{LSYGN}\}$ - zbiór wszystkich sygnalizatorów w badanym rejonie sieci KRR,

$\bar{Z} = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_{LZLAC}\}$ - zbiór wszystkich złączy izolowanych odcinków torowych,

$\bar{A} = \{A_1, A_2, \ldots, A_{LPZ}\}$ - zbiór wszystkich punktów granicznych sieci KRR,

przy czym LSYGN=2LODC.



Rys. 20. Graf TT przedstawiający strukturę badanej sieci KRR
Fig. 20. TT graph representating structure of researching KRR net

Jednoznaczne odwzorowanie dowolnego rejonu sieci kolejowej KRR sprowadza się zatem do określenia:

- zbiorów $\overline{O}, \overline{Q}, \overline{T}, \overline{S}, \overline{Z}, \overline{A}$ opisujących elementy punktowe i niepunktowe sieci KRR,
- zbioru odległości między elementami wyspecyfikowanych zbiorów,
- zbioru relacji następstwa elementów zbiorów $\overline{O}, \overline{Q}, \overline{T}$.

5. Podsumowanie

Zaprezentowane metody odwzorowania sieci kolejowej znalazły praktyczną weryfikację. Sformułowane zostały bowiem modele ruchu pociągów dla badanych rejonów sieci kolejowych, które wykorzystano w przypadku pierwszego do badań nad zagadnieniami regulacji ruchu pociągów, a w przypadku modelu ruchu pociągów na linii KRR - do badań systemów komputerowych Centrum Sterowania Ruchem w fazie ich projektowania.

Szczególnie przydatna okazała się metoda, w której jako elementy topologiczne przyjęto połączenia, relacje, głowice i odcinki torowe. Wykorzystując ten sposób odwzorowania praktycznie sformułowano i zweryfikowano model dla rejonu sieci kolejowej, w którym:

- stacje reprezentują sobą wszystkie zasadnicze kategorie tego rodzaju obiektów na sieci kolejowej (są w poligonowym rejonie sieci główne i rejonowe stacje rozrządowe, stacje węzłowe i pośrednie, towarowe i

mieszane),
- występują wszystkie sposoby prowadzenia ruchu pociągów stosowane na PKP, tj. zapowiadanie telefoniczne, blokada liniowa półsamoczynna jedno- i dwukierunkowa, blokada samoczynna,
- usytuowane są szlaki jedno- i dwutorowe,
- eksploatowane są podstawowe rodzaje trakcji pociągowej,
- różnorodne jest wyposażenie obiektów w urządzenia sterowania ruchem (urządzenia mechaniczne i elektryczne, sygnalizatory świetlne i kształtowe).

W zakresie pracy eksploatacyjnej poligonowy rejon sieci kolejowej charakteryzował się bardzo intensywnym ruchem pociągów. Liczba kursujących w ciągu doby pociągów na poszczególnych szlakach wynosiła od 6 do 253.

Drugi ze sposobów jest szczególnym przypadkiem metody pierwszej, bowiem w tym podejściu wykorzystano przede wszystkim istnienie na całej badanej sieci izolowanych odcinków torowych i zwrotnicowych. Taki rodzaj jednorodnych technicznie i funkcjonalnie sieci wprowadzany jest do eksploatacji w wielu zarządach kolejowych.

LITERATURA

[1] ZEIGLER B.P.: Teoria modelowania i symulacji. PWN, Warszawa 1984.
[2] KONDRATOWICZ L.: Modelowanie symulacyjne systemów. WNT, Warszawa 1978.
[3] SOKOŁOWSKI J.: Modelowanie pracy ruchowej w węzłach sieci transportowej. PWN, Warszawa-Łódź 1980.
[4] PERKOWSKI P.: Technika symulacji cyfrowej. WNT, Warszawa 1980.
[5] WIRTH N.: Algorytmy + struktury danych = programy. WNT, Warszawa 1989.
[6] LESZCZYŃSKI J.: Modelowanie symulacyjne w transporcie kolejowym. WKiŁ, Warszawa 1981.
[7] HUMMER K. i inni: Ein Simulationsmodell zur Unterschung von Betriebsabläufen bei Schnellbahnen. Arch. Eisenbahntechnik nr 35/1980.
[8] MOULIN R., BERGUERAND A.: Etude previsionnelle de la disponibilite d'une ligne ferroviaire. Application a la ligne nouvelle Paris-Sud Est. Revue Generale des Chemins de Fer nr 2/1981.
[9] MAKSYMILIENKO N.K. i inni: Model ruchu pociągów na odcinku. Wiestnik WNIIŻT nr 6/1979.
[10] WOLFENBURG A.: Wielofunkcyjny symulacyjny model systemu przemieszczania pociągów i systemu sterowania ruchem w rejonie sieci kolejowej w czasie rzeczywistym. Automatyka Kolejowa nr 11-12/1981.
[11] KONIECZNY R. z zespołem: Opracowanie koncepcji makroskopowego modelu symulacyjnego ruchu pociągów. Praca naukowo-badawcza Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 1986.
[12] KONIECZNY R. z zespołem: Zastosowanie języka LOGLAN do modelowania dużych systemów transportowych na przykładzie modelu ruchu pociągów. Praca naukowo-badawcza Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 1987.
[13] KONIECZNY R. z zespołem: Zastosowanie języka LOGLAN do modelowania dużych systemów transportowych na przykładzie modelu ruchu pociągów - część II. Praca naukowo-badawcza Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 1988.
[14] JANECKI R.: Ocena złożoności systemu ruchu pociągów. Zeszyt Naukowy

Politechniki Śląskiej s.Transport nr 13, Gliwice 1989.
[15] KRAWIEC S.: Model symulacyjny przemieszczania pociągów na sieci kolejowej dla potrzeb regulacji ruchu. Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 1990.
[16] KRAWIEC S.: Prezentacja ogólna modelu ruchu pociągów. Zeszyt Naukowy Politechniki Śląskiej s.Transport nr 13, Gliwice 1989.
[17] JANECKI R. z zespołem: Projekt modelu symulującego ruch pociągów na linii KRR. Praca naukowo-badawcza Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 1988.
[18] JANECKI R. z zespołem: Projekt modelu symulującego ruch pociągów na linii KRR - aneks. Praca naukowo-badawcza Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 1989.
[19] JANECKI R. z zespołem: Model symulacyjny ruchu pociągów na linii KRR. Praca naukowo-badawcza Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 1990.

PROBLEMS OF REPRESENTATION OF RAILWAY SYSTEM TOPOLOGY FOR RAILWAY TRAFFIC MODELING

Summary

Two ways of representation of railway system topology for railway traffic modeling have been discussed in the paper. The problem of model's accuracy has been presented as well. Modeling was the only criteria for representing the actual state. The first method is universal and enables to present any railway system. The second method is to be applied to homogeneous railway system as far as their technical and functional facilities are concerned. Both methods have been put in practice.

WIDERSPIEGELUNGSPROBLEM DER BAHNNETZ TOPOLOGIE ZUM ZWECKE DER ZUGWERKEHRSMODELLIERUNG

Zusammenfassung

Im Aufsatz wurden zwei Methoden der Widerspiegelung der Bahnnetztopologie zum Zwecke der Zugverkehrsmodellierung vorgestellt. Das Problem wurde ausschließlich vom Gesichtspunkt der Modellierung betrachtet, der besagt, wie gut das Modell der reale Sachverhalt widerspiegeln kann.

Die erste von den Methoden trägt universaller Charakter. Mit ihrer Hilfe kann ein beliebiges Bahnnetz widerspiegelt werden.

Die zweite Methode betrifft nur die abgesonderten und unter dem technischen und funktionellen Aspekt homogenen Bahnnetze. Beide Methoden haben praktische Verwendung gefunden.

ПРОБЛЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ ТОПОЛОГИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Резюме

В статьи, показано два способа отображения топологии железнодорожной сети необходимого для моделирования движения поездов. Рассмотрено проблему исключительно с точки зрения модели отвечая на вопрос - на сколько хорошо модель отображает действотельность.

Первая из представленных методов имеет универсальний характер и позволает отодражать любую железнодорожную сеть. Другая метода относится к однородным с точки зрения функшиохирования и технического оснащения железнодорожным сетям. Оба способа нашли практическое применение.