

Jerzy MIKULSKI

Krzysztof ZYCH

MODEL SIECIOWY UKŁADU TOROWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę opisu układu torowego oraz urządzeń sterowania ruchem kolejowym poprzez model matematyczny w postaci struktury sieciowej. W modelu zakłada się, że każde urządzenie i elementy układu torowego reprezentowane są przez złożenie podsieci skierowanych, których połączenie odpowiada strukturze topologicznej stacji. Usystematyzowany opis struktur sieciowych pozwala na maszynową analizę układu torowego oraz procesów sterowania. Przedstawiony model został wykorzystany do wyznaczenia dróg jazdy, położenia zwrotnic i odcinków kontrolowanych występujących w przebiegu.

МОДЕЛЬ СЕТИ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ

Резюме. В статье рассмотрено описанный метод путевого развития а также устройств управления железнодорожным движением через математическую модель в виде структуры железнодорожной сети. В модели планируется, что каждое устройство и элементы рельсовой системы представлены при рассмотрении направляющих подсетей, которых соединение соответствует топологической структуре станции. Систематическое описание структуры позволяет на компьютерный анализ рельсовой системы а также процессов управления. Используемая модель будет определять маршрут движения а также положение стрелок, а также контрольных путей выступающих в маршруте.

NETWORK MODEL OF THE RAILWAY TRACK

Summary. The paper shows a method for describing the railway track and railway traffic control devices in a form of network by application of the mathematical model. The model assumes that each unit and railway track elements are represented by a composition of the directed sub-networks whose interconnection corresponds with a topologic structure of the station.

W celu jednoznacznego opisanie układu torowego niezbędne jest stworzenie modelu matematycznego, którego analiza pozwalałaby na określenie procesów sterowania ruchem kolejowym. Wygodnym modelem mogącym służyć do tego celu jest przedstawienie układu torowego w postaci struktury sieciowej.

Każda sieć składa się ze skończonego zbioru węzłów:

$$V = \{v_s \mid s=1..lw\}$$

gdzie: lw - liczba węzłów sieci

oraz skończonego zbioru krawędzi:

$$E = \{e_r \mid r=1..lk\}$$

gdzie: lk - liczba krawędzi sieci.

Każdej krawędzi odpowiada pewna para węzłów. Jeśli parze węzłów (v_1, v_2) odpowiada krawędź e_r , to znaczy, że krawędź e_r przylega do węzłów v_1 i v_2 . Podobnie, jeśli parze krawędzi (e_1, e_2) odpowiada wspólny węzeł v_s , to krawędzie nazywane są przyległymi [4].

Sieć nazywana jest skierowaną, gdy każda para węzłów (v_1, v_2) skojarzona z krawędzią e_r jest parą uporządkowaną, co oznacza, że krawędź jest skierowana od węzła v_1 do węzła v_2 (zwrot krawędzi oznaczany jest strzałką).

W sieci nieskierowanej węzły (v_1, v_2) , do których przylega krawędź e_r , nie tworzą pary uporządkowanej.

Sieci są zwykle konstruowane w celu późniejszej analizy ścieżek między dwoma węzłami (możliwych połączeń, najkrótszych połączeń itp.). Ścieżka między węzłami v_1 i v_k , to ciąg przyległych krawędzi¹ $(v_1, v_2), (v_2, v_3) \dots (v_{k-2}, v_{k-1}), (v_{k-1}, v_k)$ zapisywany w postaci $(v_1, v_2 \dots, v_k)$ [4].

Sieć prosta - to sieć, w której nie występują ani krawędzie zapętłone², ani krawędzie równoległe³.

¹Każda krawędź związana jest z dwoma węzłami i może być jednoznacznie opisana za pomocą przylegającej pary węzłów.

²Krawędź nazywana jest zapętloną, gdy rozpoczyna się i kończy w tym samym węźle.

³Dwie krawędzie nazywane są równoległymi, jeśli mają wspólną parę węzłów (w przypadku sieci skierowanych krawędzie te muszą być dodatkowo jednakowo skierowane).

Przedstawianie sieci na rysunku polega na zaznaczaniu kółkami węzłów, a odcinkami linii krawędzi sieci [4].

W przypadku analizy sieci przy użyciu komputera sieć musi być przedstawiona w sposób dyskretny. Istnieje wiele sposobów maszynowego przedstawiania sieci, a od właściwego wyboru reprezentacji sieci zależy zarówno łatwość implementacji, jak i efektywność algorytmu.

Jedną z najbardziej popularnych, maszynowych reprezentacji prostych sieci jest macierz połączeń. Macierzą połączeń o lw węzłach i lk krawędziach nazywana jest macierz kwadratowa [4]:

$$A = [a_{ij}]$$

dla $i, j = 1..lw$,

gdzie: lw - liczba węzłów sieci,

której elementy przyjmują wartości:

$a_{ij} = 0$ - gdy w sieci nie istnieje krawędź prowadząca od węzła i do węzła j ,

$a_{ij} = 1$ - gdy w sieci istnieje krawędź prowadząca od węzła i do węzła j .

Rozwiązaniem stosowanym często dla sieci, w których liczba połączeń między węzłami jest stosunkowo mała, jest „wyliczenie” krawędzi sieci za pomocą par węzłów [4]. Reprezentacja ta może być zaimplementowana przy użyciu dwóch wektorów:

$$B = [b_r]$$

$$C = [c_r]$$

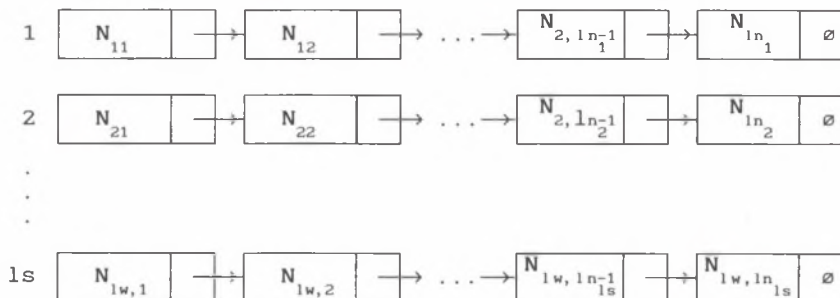
dla $r = 1..lk$,

gdzie: lk - liczba krawędzi sieci,

określających odpowiednio węzły początkowe b_r i węzły końcowe c_r dla kolejnych krawędzi $e_r \in E$.

Innym efektywnym rozwiązaniem dla sieci, w których liczba połączeń między węzłami jest stosunkowo mała, jest wykorzystanie do opisu sieci struktury połączeń. W analizie struktury połączeń wykorzystuje się powiązanie między kolejnymi węzłami sieci, określając dla danego węzła bezpośrednio następne węzły (następniki). Struktury połączeń implementuje się zazwyczaj używając lw list, z których każda zawiera następniki jednego węzła. Pole danej zawiera nazwę następnika (N) oraz pole wskaźnika określającego kolejny następnik danego węzła [4].

Jeżeli następnik jest ostatni na liście następników to jego wskaźnik jest wskaźnikiem pustym. Długość listy dla każdego węzła jest określana na podstawie liczby jego następników. Schemat takiego układu list dla lw węzłów i odpowiednio ln_k następników każdego węzła ($k=1..lw$) przedstawiono na rys.1. Jest to metoda szczególnie wygodna w przypadku, gdy węzły są usuwane lub dodawane do sieci podczas realizacji algorytmu.



Rys.1. Implementacja struktury połączeń za pomocą list

Fig.1. Implementation of a structure of connections by means of the lists

W przypadku sieci o równomiernej liczbie krawędzi przyległych do poszczególnych węzłów, struktury połączeń można zaimplementować za pomocą macierzy następników:

$$M = [m_{ij}]$$

dla $i = 1..lw$

$j = 1..ln$

gdzie: lw - liczba węzłów sieci,

ln - maksymalna liczba następników, która występuje w sieci.

MODEL SIECIOWY UKŁADU TOROWEGO W POWIĄZANIU Z URZĄDZENIAMI STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

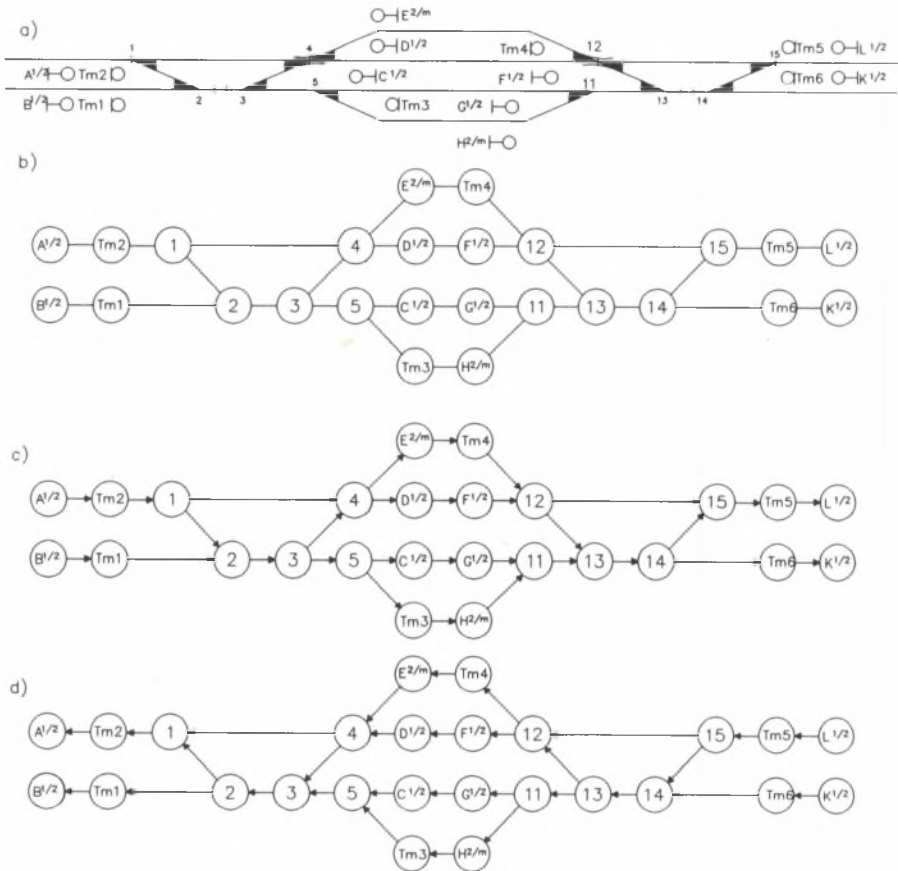
Typowy układ torowy można sprowadzić do postaci sieciowej wykorzystując jako węzły punkty charakterystyczne układu torowego, to jest punkty usytuowania rozjazdów, sygnalizatorów i obwodów torowych [1]. Przykładowa sieć w tej postaci dla układu torowego z rys.2a przedstawiona jest na rys.2b. Sieć ta nie

odzwierciedla w pełni rzeczywistych możliwości ruchowych stacji. Istnieją pewne ścieżki między węzłami, które w rzeczywistości, ze względu na sposób poruszania się pociągów, nie mogą być odzwierciedleniem drogi jazdy (na przykład ścieżka $(1,2), (2, Tm1)$ itp.), co w dużym stopniu utrudnia właściwą analizę sieci. Możliwość utworzenia takich ścieżek musi zostać wyeliminowana w opisie matematycznym sieci.

Aby wyeliminować błędne połączenia między węzłami, można traktować sieć reprezentującą stację jako układ dwóch sieci skierowanych i analizować je oddzielnie. Sieci skierowane dla układu torowego z rys.2a przedstawione zostały na rys.2c (kierunek zasadniczy) oraz 5d (kierunek przeciwny). Skierowanie krawędzi w sieci jest określone na podstawie kierunku ruchu pociągów, to znaczy dla kierunku zasadniczego z lewej strony stacji na prawo (najczęściej kierunku nieparzysty) i odwrotnie.

Sieć układu torowego ma specyficzną strukturę, a mianowicie każdy węzeł może mieć połączenie z (co najwyżej) dwoma innymi węzłami (liczba krawędzi przyległych do dowolnego węzła może wynosić maksymalnie 2). Z tego względu korzystanie z macierzy połączeń, która do opisu takiej sieci wymagałaby zastosowania tablicy o wymiarach $lw \times lw$, nie jest metodą efektywną. Ze względu na niewielki wymagany obszar pamięci przeznaczony dla danych oraz proste i logiczne powiązanie z rzeczywistymi możliwościami ruchowymi stacji, najlepszym rozwiązaniem wydaje się wykorzystanie opisu struktury połączeń. Ze względu na niezmienność struktury sieciowej stacji (węzły nie są usuwane ani dodawane do sieci podczas analizy) i równomierną jej strukturę korzystna jest implementacja za pomocą macierzy następników.

Taka sieć, jak przedstawiona na rys.2, pozwala na określenie dróg jazdy jedynie w przypadku, gdy istnieją wszystkie połączenia między sąsiednimi węzłami. W ogólnym przypadku mogą powstać trudności właściwego określenia takich elementów układu torowego, jak skrzyżowania torów i rozjazdy krzyżowe pojedyncze, gdyż w przedstawionym modelu byłyby one traktowane jak rozjazdy krzyżowe podwójne (elementy układu torowego 4 i 12 na rys. 1), co nie pozwala na właściwe powiązanie sieci z rzeczywistym



Rys.2. Układu torowy w powiązaniu z urządzeniami srk

- plan schematyczny,
- postać sieciowa nieskierowana,
- postać sieciowa skierowana (kierunek zasadniczy),
- postać sieciowa skierowana (kierunek przeciwny)

Fig.2. The railway track in combination with railway traffic control devices

- schematic diagram,
- non-directed network form,
- directed network form (main direction),
- directed network form (opposite direction)

układem torowym⁴. Wprowadzenie modyfikacji poprzez zastąpienie węzłów pewnymi podsieciami jednoznacznie definiującymi elementy układu torowego pozwala (stosując przedstawioną wyżej metodę struktury połączeń) na uniknięcie niejednoznaczności w opisie rozjazdów i skrzyżowań.

Aby wprowadzane dodatkowe podsieci nie powodowały (poprzez zwiększenie rozmiarów sieci) obniżenia efektywności algorytmu generowania dróg jazdy, zostały one tak opracowane, aby możliwe było bezpośrednio (bez użycia dodatkowego programu) określenie położenia zwrotnic i odcinków kontrolowanych występujących w drodze przebiegu.

W celu jednoznacznego określenia możliwości ruchowych stacji wprowadzone zostały podsieci dla powtarzaczy związanych z następującymi obiektami:

- rozjazd zwyczajny,
- rozjazd krzyżowy pojedynczy,
- rozjazd krzyżowy podwójny,
- skrzyżowanie bezzwrotnicowe torów,
- semafor,
- tarcza ostrzegawcza,
- sygnalizator powtarzający,
- tarcza manewrowa,
- tor żeberkowy zakończony kozłem oporowym.
- samoczynna blokada liniowa (powtarzacz stanu blokady),
- obwód torowy.

Ze względu na fakt, że w sieciach skierowanych układu torowego każdy węzeł ma połączenie z jednym lub dwoma innymi

⁴Jeżeli w przypadku skrzyżowania pominięto by któryś z węzłów 4 lub, 12 to powodowałoby to, że przebiegi odbywające się przez te skrzyżowania (przykładowo dowolny przebieg spod semafora $E^{2/m}$ "w kierunku rozjazdu 3" i dowolny przebieg spod semafora $D^{1/2}$ "w kierunku rozjazdu 1" traktowane byłyby jako niesprzeczne, co jest niezgodne z rzeczywistością.

węzłami, każdemu węzłowi przyporządkowano wektor artrybutów sąsiedztwa:

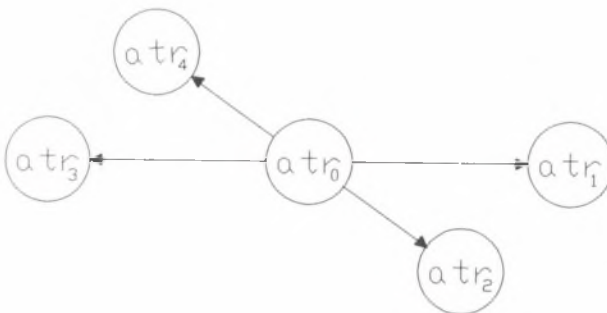
$$ATR = [atr_i]$$

dla $i = 0..4$,

którego elementy przyjmują wartości (rys.3):

- atr_0 - numer własny węzła v_s ,
- atr_1, atr_2 - numery następników określanych dla kierunku jazdy z lewej strony na prawo (patrząc na plan świetlny),
- atr_3, atr_4 - numery następników określanych dla kierunku jazdy z prawej strony na lewo (patrząc na plan świetlny),

Atrybuty atr_1 i atr_2 służą do analizy sieci (podsieci) dla ruchu pociągów z lewa na prawo, natomiast atr_3 i atr_4 służą do analizy sieci (podsieci) dla ruchu pociągów w kierunku przeciwnym, eliminując w ten sposób połączenia między węzłami niezgodne z możliwościami ruchowymi stacji. Implementacja dwóch sieci skierowanych za pomocą jednej macierzy pozwala na zmniejszenie obszaru pamięci do przechowywania danych.



Rys.3. Sposób określania następników

Fig.3. A way for assigning the sequences

Podsieci utworzone zostały na podstawie analizy stanu podstawowych obiektów wpływających na sposób poruszania się pociągów w obszarze ich oddziaływania. Analiza ta pozwoliła na określenie ścieżek, których złożenie jest podsięcią rozpatrywanego obiektu. Każdą tak utworzoną podsięć można opisać wykorzystując macierze następników, reprezentujące strukturę połączeń odpowiedniej podsięci:

$$MS^{p,r} = [ms_{i,j}^{p,r}]$$

dla $p = 1..lo$
 $r = 1..la,$
 $i = 0..4$
 $j = 1..lc$

gdzie:

- lo - liczba obiektów, dla których określone zostały podsięci,
- la - liczba wariantów podsięci (różniących się macierzą następników) dla określonego obiektu,
- lc - liczba węzłów podsięci $lc=\{1,2,\dots,6\}$,

Elementy macierzy następników (dla węzła j obiektu p w wariantcie r podsięci) przyjmują odpowiednio wartości:

$$ms_{i,j}^{p,r} = atr_i$$

dla $i = 0..4$.

Ponieważ model sieciowy jest tworzony na podstawie powtarzaczy kostkowych umieszczonych na planie świetlnym, dlatego podsięci reprezentują strukturę odpowiedniego powtarzacza. Aby w dalszej części przetwarzania umożliwić konstrukcję całej sieci, niezbędne jest opisanie sposobu powiązań podsięci reprezentowanych przez odpowiednie powtarzacze. Sąsiednie powtarzacze mogą być połączone ze sobą przez jeden z ośmiu punktów zgodnie z reprezentującymi je funkcjami połączeń. W ten sposób każdy powtarzacz kostkowy

umieszczony na planie świetlnym można opisać za pomocą wektora powiązań:

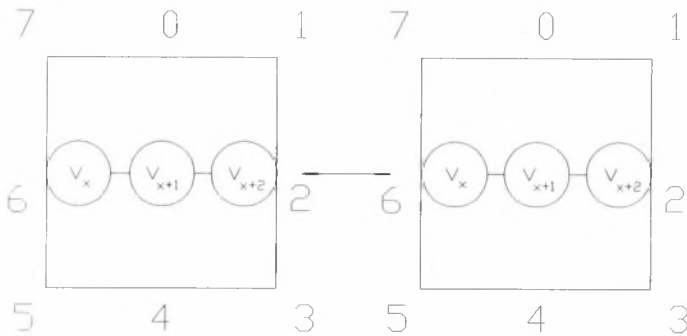
$$WS = [ws_b]$$

dla $b = 0..lb$

gdzie: lb - liczba punktów połączeń powtarzacza (określona jak dla funkcji połączeń $WP(pk_{i_d})$): $lb=7$,

którego elementami są numery węzłów podsieci powtarzacza kostkowego skojarzonych z punktem połączenia b (dla $b=0..lb$) pod warunkiem, że możliwe jest połączenie z innym powtarzaczem przez punkt b ($WP(pk_{i_d}) \wedge 2^b = 2^b$).

Przykładowo można założyć, że pewien fikcyjny przedstawiony na rys.4 powtarzacz kostkowy pk_{i_d} , reprezentowany przez podsieć składającą się z 3 węzłów v_x, v_{x+1}, v_{x+2} , ma połączenie z innymi powtarzaczami przez punkty 2 i 6 (prawy i lewy bok- $WP(pk_{i_d})=22$ (hex)). Każdemu z wyróżnionych punktów można wówczas przyporządkować węzeł podsieci, przez który łączy się on z węzłem podsieci sąsiedniego powtarzacza. W przedstawionym przykładzie z punktem 6 został skojarzony węzeł v_x , a z punktem 2 - węzeł v_{x+2} ($WS_{plan_{ij}} = [\emptyset, \emptyset, v_{x+2}, \emptyset, \emptyset, \emptyset, v_x, \emptyset]$). Zakładając dalej



Rys.4. Sposób przydzielania węzłów punktom powtarzacza kostkowego

Fig.4. A way for assigning the nodes to repeater points

dla uproszczenia, że dwa sąsiednie elementy na planie są tego samego typu ($\text{plan}_{ij} = \text{pk}_{id}$ i $\text{plan}_{i+1, j} = \text{pk}_{id} \Rightarrow \text{WP}^{\text{plan}_{ij}} = \text{WP}^{\text{plan}_{i+1, j}}$), powiązanie podsieci odbywa się przez węzeł v_{x+2} powtarzacza plan_{ij} i węzeł v_x powtarzacza $\text{plan}_{i+1, j}$. Sposób przydzielania węzłów odpowiednim punktom powtarzacza kostkowego przedstawiono na rys.4.

Przydzielenie węzłom nieokreślonym wartości wektora atrybutów realizowane jest według wzoru:

$$\text{atr}_{\text{WS}_w}^{\text{plan}(i, j)} = \text{atr}_{\text{WS}_v}^{\text{plan}(i+p, j+q)}$$

gdzie: $w = 0..7$ $q = -1$ dla $w \in \{3, 4, 5\}$
 $v = (w+4) \bmod 8$ $q = 0$ dla $w \in \{2, 6\}$
 $p = -1$ dla $w \in \{5, 6, 7\}$ $q = 1$ dla $w \in \{0, 1, 7\}$
 $p = 0$ dla $w \in \{0, 4\}$
 $p = 1$ dla $w \in \{1, 2, 3\}$
 $l = \{1, 2\}$ dla $w = 1..3$
 $l = \{3, 4\}$ dla $w = 5..7$

pod warunkiem, że [3]:

$$\bigwedge_{i=1..n} \bigwedge_{j=1..m} \text{WP}^{\text{plan}_{ij}}(\text{pk}_{id}) \wedge k = \text{WP}^{\text{plan}_{i+p, j+q}}(\text{pk}_{id}) \wedge l$$

gdzie: $k = 2^w$
 $l = 2^v$

Ponieważ wartości elementów macierzy następników i wektora powiązań są zależne od typu i położenia powtarzacza (grupy powtarzaczy), zostaną przedstawione łącznie z opisem odpowiednich podsieci.

Podsieci definiujące rozjazd zwyczajny zostały utworzone z czterech ścieżek (dwie dla każdego kierunku jazdy) przedstawionych na rys.5. Podsieci te składają się z węzła określającego obwód torowy rozjazdu i dwóch węzłów określających kierunek nastawienia zwrotnicy. Podsieci rozjazdu zwyczajnego w zależności od położenia powtarzacza (położenia rozjazdu)

przedstawiono na rys.6. Tablica 1 stanowi opis struktury połączeń węzłów⁵ (macierz następników), natomiast w tablicy 2 przedstawione zostały wektory powiązań powtarzacza rozjazdu zwyczajnego.

Tablica 1

Struktura połączeń rozjazdu zwyczajnego

dla rys.5c,d,g,h

$\begin{matrix} i \\ j \end{matrix}$	0	1	2	3	4
1	1	N	N	2	3
$MS^{11} = 2$	2	1	1	N	N
3	3	N	N	1	1

dla rys.5a,b,e,f

$\begin{matrix} i \\ j \end{matrix}$	0	1	2	3	4
1	1	2	3	N	N
$MS^{12} = 2$	2	N	N	1	1
3	3	1	1	N	N

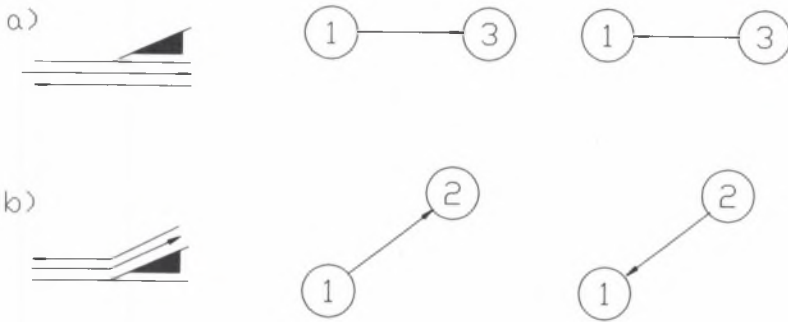
Tablica 2

Wektory powiązań dla powtarzaczy rozjazdu zwyczajnego

rys	0	1	2	3	4	5	6	7
6a	∅	2	3	∅	∅	∅	1	∅
6b	∅	∅	3	2	∅	∅	1	∅
6c	∅	∅	1	∅	∅	∅	3	2
6d	∅	∅	1	∅	∅	2	3	∅
6e	∅	∅	3	2	∅	∅	1	∅
6f	∅	∅	3	2	∅	∅	1	∅
6g	∅	∅	1	∅	∅	∅	3	2
6h	∅	∅	1	∅	∅	2	3	∅

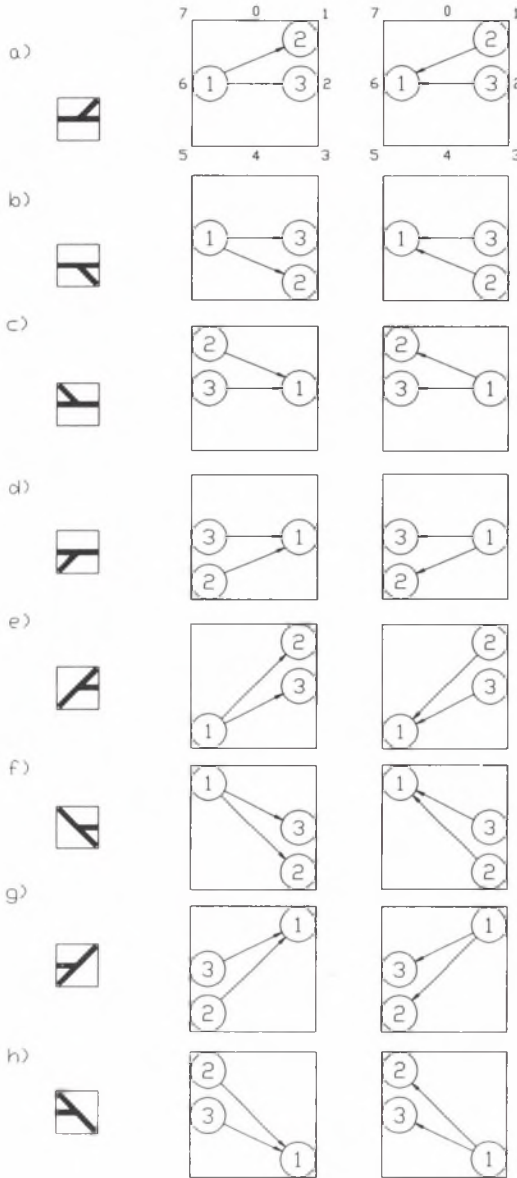
- 1 - węzeł obwodu zwrotnicowego,
 2 - węzeł kierunku "na odgałęzienie",
 3 - węzeł kierunku "na wprost".

⁵ Litera N wskazuje, że oznaczone połączenie węzła nie jest określone na etapie tworzenia podsięci.



Rys.5. Elementarne ścieżki rozjazdu zwyczajnego
 Fig.5. Elementary routes of a standard turnout

Podsieci definiujące rozjazd krzyżowy podwójny zostały utworzone z ośmiu ścieżek przedstawionych na rys.7, które reprezentują wszystkie możliwe drogi jazdy przez ten element układu torowego. Podsieci te składają się z węzła określającego obwód torowy rozjazdu i czterech węzłów określających kierunek nastawienia zwrotnic. Na rys.8 przedstawione zostały dwa warianty tworzenia podsieci powtarzacza rozjazdu krzyżowego podwójnego, opisane za pomocą jednej struktury połączeń w tablicy 3. Tablica 4 przedstawia wektory powiązań powtarzacza rozjazdu krzyżowego podwójnego.



Rys. 6. Podsieć rozjazdu zwyczajnego

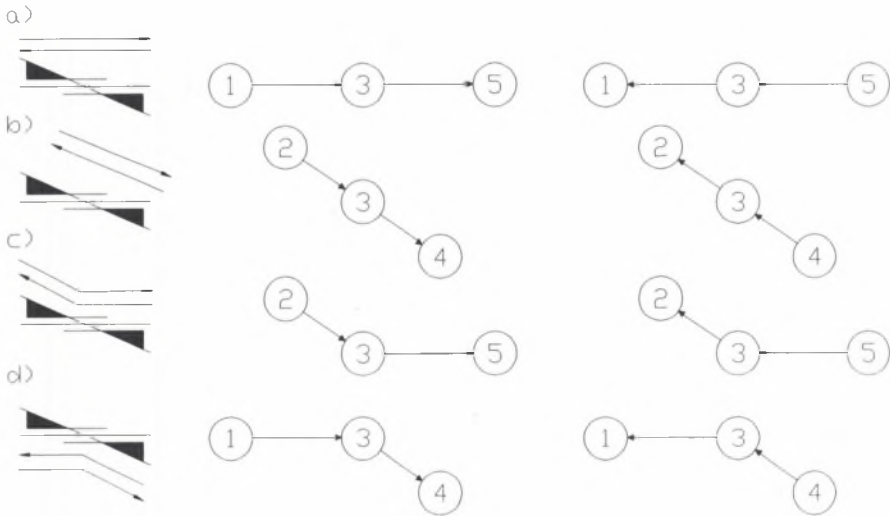
Fig. 6. The sub-network of the standard turnout

Tablica 3

Struktura połączeń rozjazdu krzyżowego podwójnego

$i \backslash j$	0	1	2	3	4
1	1	N	N	3	3
2	2	N	N	3	3
3	3	1	2	4	5
4	4	3	3	N	N
5	5	3	3	N	N

- 1 - węzeł kierunku "na wprost" (część cd),
- 2 - węzeł kierunku "na odgałęzienie" (część cd),
- 3 - węzeł obwodu zwrotnicowego,
- 4 - węzeł kierunku "na odgałęzienie" (część ab),
- 5 - węzeł kierunku "na wprost" (część ab).



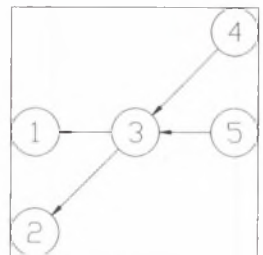
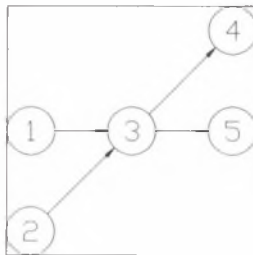
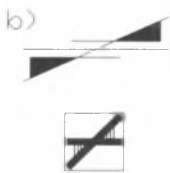
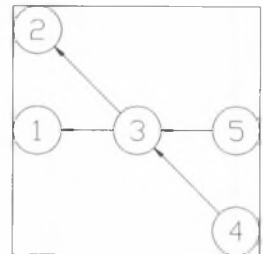
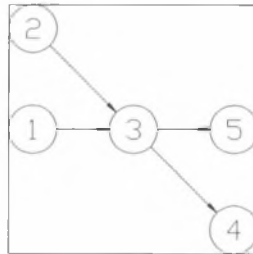
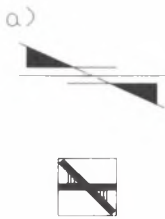
Rys.7. Elementarne ścieżki rozjazdu krzyżowego podwójnego
 Fig.7. Elementary routes of a double scissors crossover

Tablica 4

Wektory powiązań dla powtarzaczy rozjazdy krzyżowego podwójnego

W =

Rys.	0	1	2	3	4	5	6	7
8a	∅	∅	5	4	∅	∅	1	2
8b	∅	4	5	∅	∅	2	1	∅



Rys.8. Podsieć rozjazdu krzyżowego podwójnego

Fig.8. The sub-network of the double scissors crossover

Podsieci rozjazdu krzyżowego pojedynczego utworzono z sześciu ścieżek, które zostały przedstawione na rys.14, Podsieci te składają się z dwóch węzłów określających obwód torowy rozjazdu (ze względu na to, że każda ścieżka musi zawierać węzeł obwodu torowego) i czterech węzłów określających kierunek nastawienia zwrotnic. Na rys.15 przedstawione zostały cztery warianty tworzenia sieci rozjazdu krzyżowego pojedynczego (odpowiedni wariant wybierany jest w zależności od ustawienia rozjazdu w terenie. Podsieci przedstawione na rys.15a i rys.15b oraz rys.15c i rys.15d opisane zostały za pomocą jednakowych struktur połączeń i przedstawione w tabelicy 5. Tabela 6 przedstawia wektory powiązań powtarzacza rozjazdu krzyżowego podwójnego.

Tabela 5

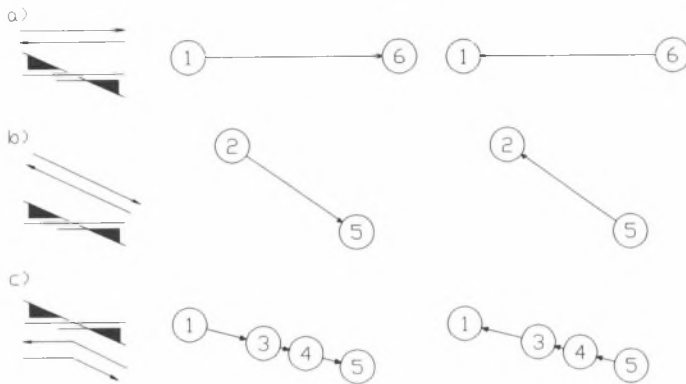
Struktura połączeń rozjazdu krzyżowego pojedynczego

dla rys.10a i rys.10b						dla rys.10c i rys.10d							
	j \ i	0	1	2	3	4		j \ i	0	1	2	3	4
$MS^{31} =$	1	1	N	N	3	6	$MS^{32} =$	1	1	3	6	N	N
	2	2	N	N	5	5		2	2	5	5	N	N
	3	3	1	1	4	4		3	3	4	4	1	1
	4	4	3	3	5	5		4	4	5	5	3	3
	5	5	2	4	N	N		5	5	N	N	2	4
	6	6	1	1	N	N		6	6	N	N	1	1

- 1 - węzeł kierunku "na wprost" (część a),
- 2 - węzeł obwodu zwrotnicowego,
- 3 - węzeł kierunku "na odgałęzienie" (część a),
- 4 - węzeł kierunku "na odgałęzienie" (część b),
- 5 - węzeł kierunku "na wprost"(część b),
- 6 - węzeł obwodu zwrotnicowego,

Natomiast skrzyżowanie bezzwrotnicowe torów składa się z dwóch par węzłów określających istniejące połączenie, przy czym dwa z nich są węzłami pustymi (niezbędne jedynie dla określenia sposobu połączenia z sąsiednimi węzłami). Model sieciowy skrzyżowania przedstawiony został na rys.16 (ścieżki elementarne stanowią bezpośrednio podsieć elementu). Struktura połączeń (dla

obydwu podsieci jednakowa) przedstawiona jest w tablicy 7. Tablica 8 przedstawia wektory powiązań powtarzacza skrzyżowania torów.

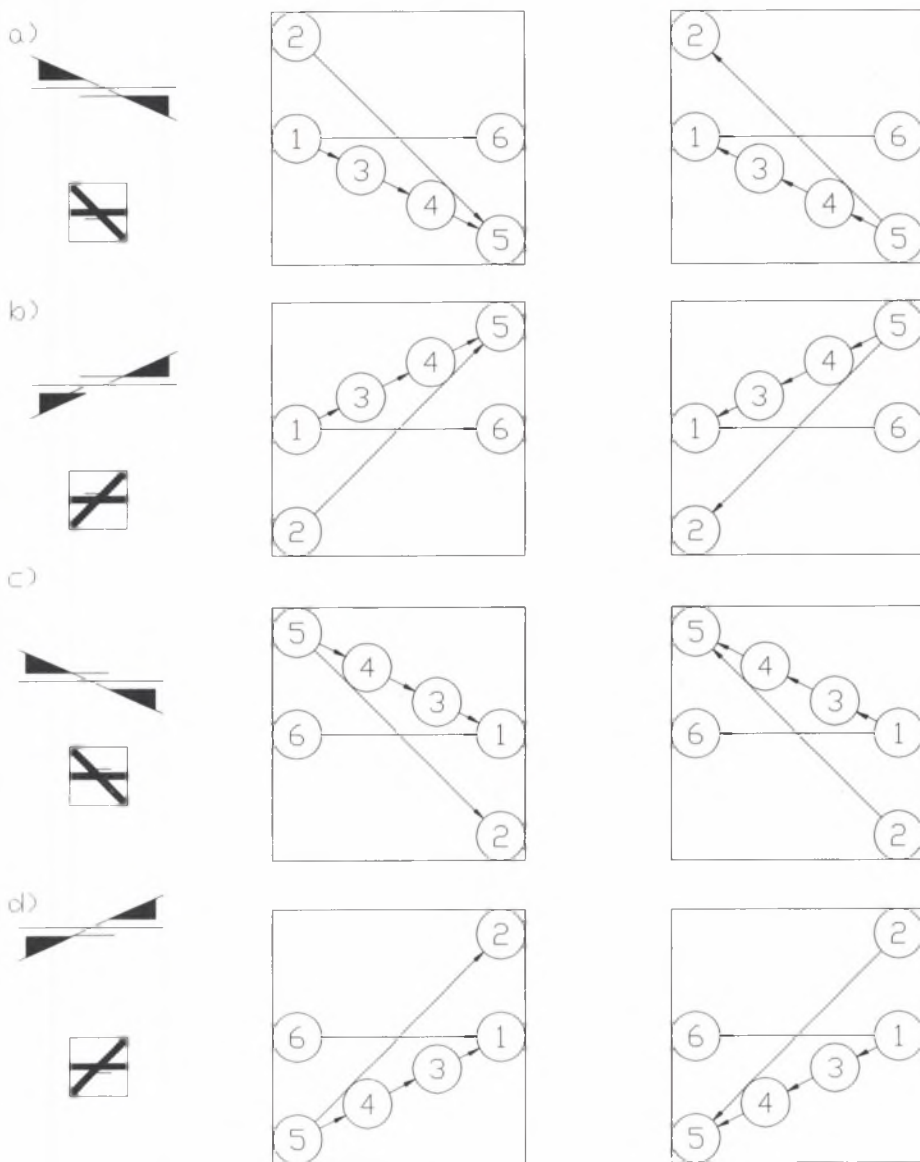


Rys.9. Elementarne ścieżki rozjazdu krzyżowego pojedynczego
Fig.9. Elementary routes of a single scissors crossover

Tablica 6
Wektory powiązań dla powtarzaczy rozjazdu krzyżowego pojedynczego

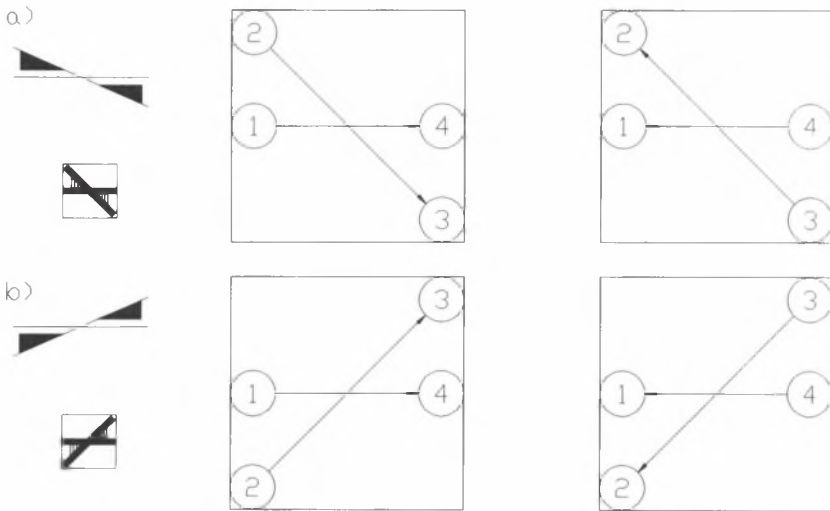
Rys.	0	1	2	3	4	5	6	7
10a	∅	∅	6	5	∅	∅	1	2
10b	∅	5	6	∅	∅	2	1	∅
10c	∅	∅	1	2	∅	∅	6	5
10d	∅	2	1	∅	∅	5	6	∅

- 1 - węzeł kierunku "na wprost" (część a),
 2 - węzeł obwodu zwrotnicowego,
 3 - węzeł kierunku "na odgałęzienie" (część a),
 4 - węzeł kierunku "na odgałęzienie" (część b),
 5 - węzeł kierunku "na wprost" (część b),
 6 - węzeł obwodu zwrotnicowego,



Rys.10. Podsieci rozjazdu krzyżowego pojedynczego

Fig.10. The sub-network of the single scissors crossover



Rys.11. Podsieć skrzyżowania torów

Fig.11. The sub-network of the track crossing

Tablica 7

Struktura połączeń skrzyżowania torów

	1	0				
		1	2	3	4	
MS ⁴¹ =	1	1	4	4	N	N
	2	2	3	3	N	N
	3	3	N	N	2	2
	4	4	N	N	1	1

1 - węzeł obwodu torowego (pusty),

2 - węzeł obwodu torowego (pusty),

3 - węzeł obwodu torowego,

4 - węzeł obwodu torowego.

Tablica 8

Wektory powiązań dla skrzyżowania torów

W =

Rys.	0	1	2	3	4	5	6	7
11a	∅	∅	4	3	∅	∅	1	2
11b	∅	3	4	∅	∅	2	1	∅

- 1 - węzeł obwodu torowego (pusty),
- 2 - węzeł obwodu torowego (pusty),
- 3 - węzeł obwodu torowego,
- 4 - węzeł obwodu torowego.

Tablica 9

Struktura połączeń semafora

dla rys. 12a, g, i

dla rys. 12c, e, k

$j \setminus i$	0	1	2	3	4
1	1	2	2	N	N
$MS^{51} = 2$	2	3	3	1	1
3	3	N	N	2	2

$j \setminus i$	0	1	2	3	4
1	1	N	N	2	2
$MS^{52} = 2$	2	1	1	3	3
3	3	2	2	N	N

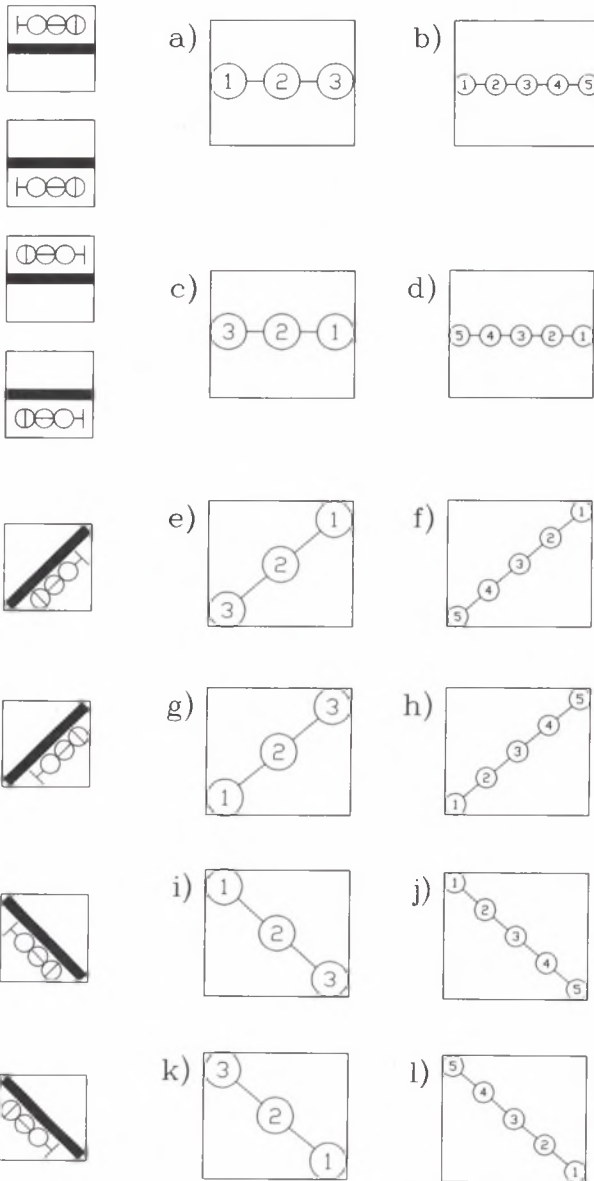
dla rys. 12b, h, j

dla rys. 12d, f, l

$j \setminus i$	0	1	2	3	4
1	1	2	2	N	N
2	2	3	3	1	1
$MS^{53} = 3$	3	4	4	2	2
4	4	5	5	3	3
5	5	N	N	4	4

$j \setminus i$	0	1	2	3	4
1	1	N	N	2	2
2	2	1	1	3	3
$MS^{54} = 3$	3	2	2	4	4
4	4	3	3	5	5
5	5	4	4	N	N

- 1 - węzeł semafora,
- 2 - węzeł kierunkowy,
- 3 - węzeł obwodu torowego,
- 4 - węzeł tarczy manewrowej,
- 5 - węzeł kierunkowy.



Rys.12. Podsieci semafora

Fig.12. The sub-networks of the semaphore

Podsieci semafora, tarczy ostrzegawczej i tarczy manewrowej opisane zostały za pomocą węzła określającego rodzaj sygnalizatora (Sm,Sp,To,Tm), węzła kierunkowego (określającego kierunek, którego dotyczy przedstawiony sygnalizator) i węzła najbliższego obwodu torowego (jeżeli taki istnieje). Jeżeli sygnalizator pociągowy pozwala na wyświetlanie sygnałów manewrowych, jego podsieć jest szeregowym połączeniem podsieci semafora i tarczy manewrowej, przy czym dla danego kierunku, którego dotyczy sygnalizator, pierwszą podsiecią jest zawsze podsieć semafora. W przypadku gdy przed tarczą manewrową znajduje się wskaźnik W5 (oczywiście, ustawiony w przeciwnym kierunku), sygnalizator staje się punktem końcowym przebiegu dla przeciwnego kierunku przez wprowadzenie dodatkowego węzła

Tablica 10

Wektory powiązań dla powtarzaczy semafora

Rys.	0	1	2	3	4	5	6	7
12a	∅	∅	3	∅	∅	∅	1	∅
12b	∅	∅	5	∅	∅	∅	1	∅
12c	∅	∅	1	∅	∅	∅	3	∅
12d	∅	∅	1	∅	∅	∅	5	∅
12e	∅	1	∅	∅	∅	3	∅	∅
WS= 12f	∅	1	∅	∅	∅	5	∅	∅
12g	∅	3	∅	∅	∅	1	∅	∅
12h	∅	5	∅	∅	∅	1	∅	∅
12i	∅	∅	∅	3	∅	∅	∅	1
12j	∅	∅	∅	5	∅	∅	∅	1
12k	∅	∅	∅	1	∅	∅	∅	3
12l	∅	∅	∅	1	∅	∅	∅	5

- 1 - węzeł semafora,
- 2 - węzeł kierunkowy,
- 3 - węzeł obwodu torowego,
- 4 - węzeł tarczy manewrowej,

kierunkowego. Podsieci sygnalizatorów przedstawiono na rys.12 ÷ 20 (ścieżki stanowią bezpośrednio podsieci tych elementów). Tablice 9 ÷ 11 zawierają informacje w strukturze połączeń między węzłami podsieci sygnalizatora oraz wektory powiązań powtarzaczy.

Tablica 11

Struktura połączeń tarczy manewrowej

dla rys.13a,g,i

$i \backslash j$	0	1	2	3	4
1	1	2	2	N	N
$MS^{61} = 2$	2	3	3	1	1
3	3	N	N	2	2

dla rys.13c,e,k

$i \backslash j$	0	1	2	3	4
1	1	N	N	2	2
$MS^{62} = 2$	2	1	1	3	3
3	3	2	2	N	N

dla rys.13b,h,j

$i \backslash j$	0	1	2	3	4
1	1	2	2	N	N
$MS^{63} = 2$	2	3	3	1	1
3	3	4	4	2	2
4	4	N	N	3	3

dla rys.13d,f,l

$i \backslash j$	0	1	2	3	4
1	1	N	N	2	2
$MS^{64} = 2$	2	1	1	3	3
3	3	2	2	4	4
4	4	3	3	N	N

- 1 - węzeł tarczy manewrowej,
- 2 - węzeł kierunkowy,
- 3 - węzeł obwodu torowego,
- 4 - węzeł kierunkowy.

Tablica 12

Wektory powiązań dla powtarzacza tarczy manewrowej

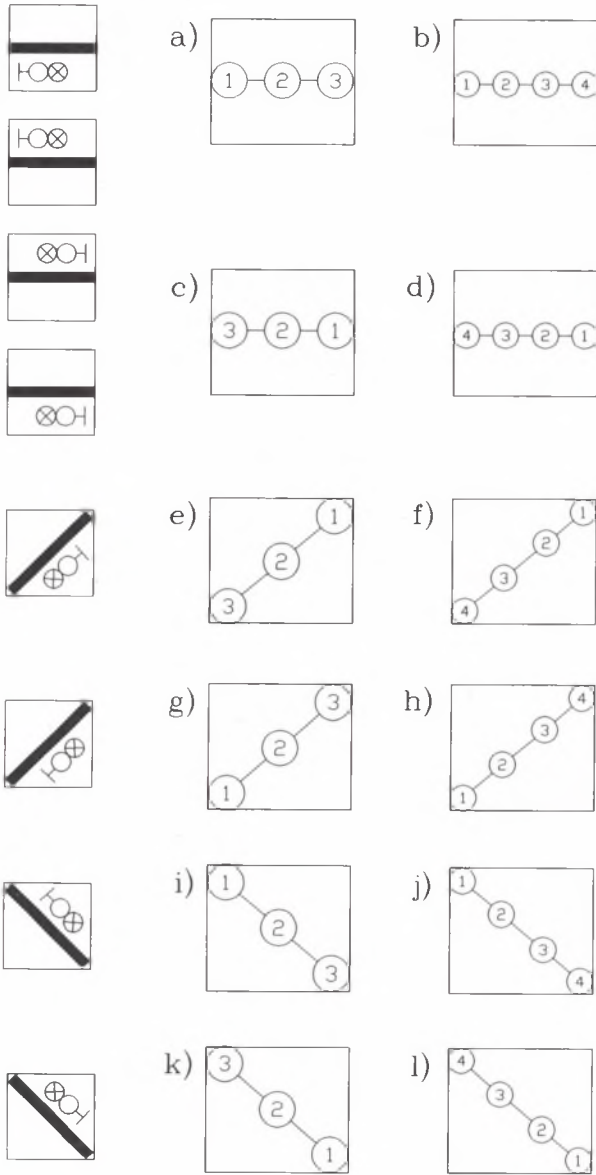
Rys.	0	1	2	3	4	5	6	7
13a	∅	∅	3	∅	∅	∅	1	∅
13b	∅	∅	4	∅	∅	∅	1	∅
13c	∅	∅	1	∅	∅	∅	3	∅
13d	∅	∅	1	∅	∅	∅	4	∅
13e	∅	1	∅	∅	∅	3	∅	∅
WS= 13f	∅	1	∅	∅	∅	4	∅	∅
13g	∅	3	∅	∅	∅	1	∅	∅
13h	∅	4	∅	∅	∅	1	∅	∅
13i	∅	∅	∅	3	∅	∅	∅	1
13j	∅	∅	∅	4	∅	∅	∅	1
13k	∅	∅	∅	1	∅	∅	∅	3
13l	∅	∅	∅	1	∅	∅	∅	4

1 - węzeł tarczy manewrowej,

2 - węzeł kierunkowy,

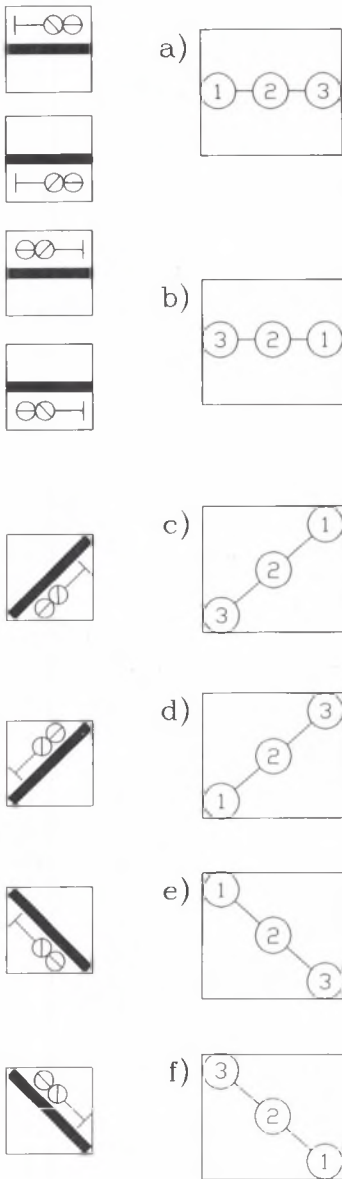
3 - węzeł obwodu torowego,

4 - węzeł kierunkowy.



Rys.13. Podsieci tarczy manewrowej

Fig.13. The sub-networks of the switching plate



Rys.14. Podsieci tarczy ostrzegawczej

Fig.14. The sub-networks of the warning plate

Tablica 13

Struktura połączeń tarczy ostrzegawczej

dla rys.14a,d,e

$\begin{matrix} i \\ j \end{matrix}$	0	1	2	3	4
1	1	2	2	N	N
$MS^{71} = 2$	2	3	3	1	1
3	3	N	N	2	2

dla rys.14b,c,f

$\begin{matrix} i \\ j \end{matrix}$	0	1	2	3	4
1	1	N	N	2	2
$MS^{72} = 2$	2	1	1	3	3
3	3	2	2	N	N

1 - węzeł tarczy manewrowej,

2 - węzeł kierunkowy,

3 - węzeł obwodu torowego.

Tablica 14

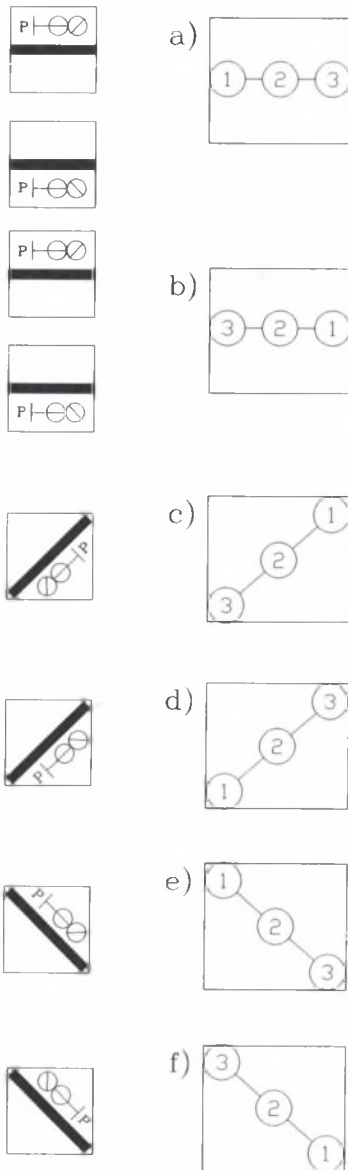
Wektory powiązań dla powtarzacza tarczy ostrzegawczej

Rys.	0	1	2	3	4	5	6	7
14a	∅	∅	3	∅	∅	∅	1	∅
14b	∅	∅	1	∅	∅	∅	3	∅
$WS = 14c$	∅	1	∅	∅	∅	3	∅	∅
14d	∅	3	∅	∅	∅	1	∅	∅
14e	∅	∅	∅	3	∅	∅	∅	1
14f	∅	∅	∅	1	∅	∅	∅	3

1 - węzeł tarczy manewrowej,

2 - węzeł kierunkowy,

3 - węzeł obwodu torowego.



Rys.15. Podsieci powtarzacza sygnalizatora powtarzającego
 Fig.15. The sub-networks of the repeating signalling device

Tablica 15

Struktura połączeń sygnalizatora powtarzającego
dla rys. 15a, d, e dla rys. 15b, c, f

$i \backslash j$	0	1	2	3	4	$i \backslash j$	0	1	2	3	4
$MS^{81} = 1$	1	2	2	N	N	$MS^{82} = 1$	1	N	N	1	1
$MS^{81} = 2$	2	1	1	3	3	$MS^{82} = 2$	2	1	1	3	3
$MS^{81} = 3$	3	N	N	2	2	$MS^{82} = 3$	3	2	2	N	N

- 1 - węzeł sygnalizatora powtarzającego,
2 - węzeł kierunkowy,
3 - węzeł obwodu torowego.

Tablica 16

Wektory powiązań dla powtarzacza sygnalizatora powtarzającego

Rys.	0	1	2	3	4	5	6	7
15a	∅	∅	3	∅	∅	∅	1	∅
15c	∅	∅	1	∅	∅	∅	3	∅
15e	∅	1	∅	∅	∅	3	∅	∅
15g	∅	3	∅	∅	∅	1	∅	∅
15i	∅	∅	∅	3	∅	∅	∅	1
15k	∅	∅	∅	1	∅	∅	∅	3

- 1 - węzeł sygnalizatora powtarzającego,
2 - węzeł kierunkowy,
3 - węzeł obwodu torowego.

Zakończenie toru żeberkiem ochronnym (kozioł oporowy) reprezentowane jest przez węzeł obwodu torowego.

Obwód torowy reprezentowany jest przez jeden węzeł.

Powtarzacz liniowej blokady samoczynnej opisany jest jednym węzłem określającym numer blokady.

Struktura połączeń podsieci jednowęzłowych nie jest określana na etapie tworzenia podsieci (wszystkie połączenia węzła są

nieokreślone, ponieważ zależne są od podsieci sąsiednich powtarzaczy).

Wektory powiązań dla powtarzaczy reprezentowanych przez podsieci jednowęzłowe (reprezentowane umownie przez węzeł oznaczony jako $\bar{1}$) są równe odpowiednio w przypadku⁶:

- powtarzaczy obwodu torowego dla:

$$\text{id} = 2 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset]$$

$$\text{id} = 3 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset]$$

$$\text{id} = 4 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1]$$

$$\text{id} = 5 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset]$$

$$\text{id} = 6 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1]$$

$$\text{id} = 7 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset]$$

$$\text{id} = 8 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset]$$

gdzie: 1 - węzeł obwodu torowego,

- powtarzaczy zakończenia toru dla:

$$\text{id} = 25 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset]$$

$$\text{id} = 26 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset]$$

- powtarzaczy obwodu torowego - peron dla:

$$\text{id} = 27 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset]$$

$$\text{id} = 28 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset]$$

- powtarzacza stanu blokady samoczynnej oraz torów kierunkowych dla:

$$\text{id} = 61 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset]$$

$$\text{id} = 62 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset]$$

$$\text{id} = 63 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1]$$

$$\text{id} = 64 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset]$$

$$\text{id} = 65 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset]$$

$$\text{id} = 66 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset]$$

$$\text{id} = 67 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset]$$

$$\text{id} = 68 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1]$$

$$\text{id} = 69 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset]$$

- powtarzacza przedstawiający nastawnię:

$$\text{id} = 70 \Rightarrow \text{WS} = [\emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset]$$

⁶Ze względu na prostą postać podsieci pominięte zostały opisy struktury połączeń i rysunki.

Aby postać sieciowa umożliwiała określenie dróg jazdy i wyznaczenie tablicy zależności, każdy węzeł musi stanowić komórkę przechowującą informację o urządzeniu, które reprezentuje dany węzeł. Informacje te zależą od rodzaju urządzenia i są w zasadzie bezpośrednim przeniesieniem atrybutów urządzeń przedstawionych w [3]. Zgodnie z tą zasadą, wśród węzłów podsieci wyróżnione zostały następujące typy węzłów "przechowujące" odpowiednio informacje:

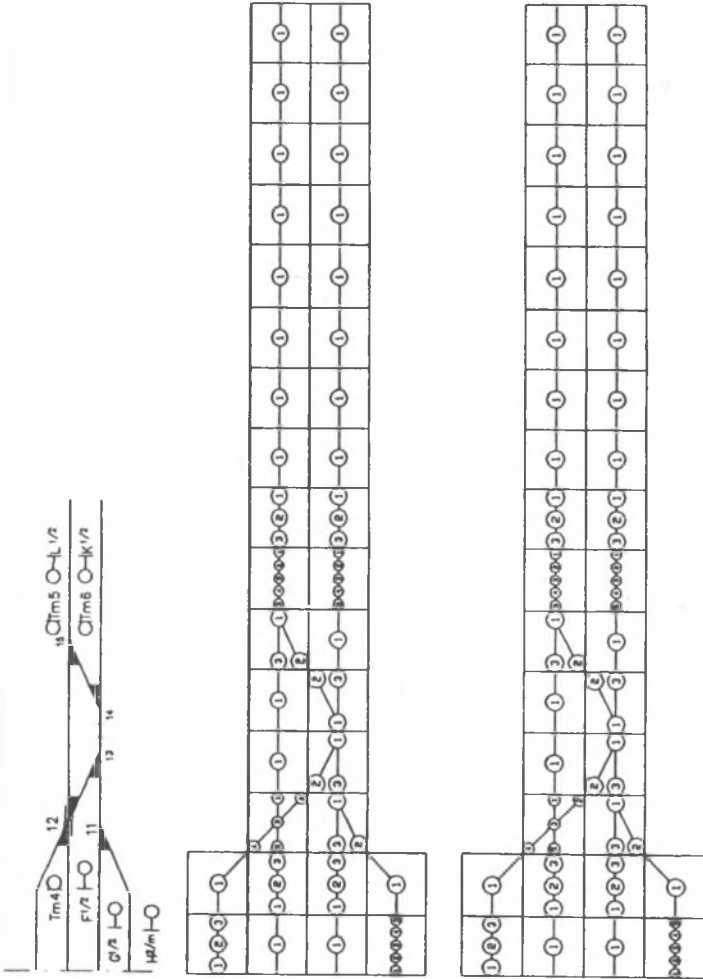
- węzeł obwodu torowego - informacje ze zbioru ATot,
- węzeł kierunku nastawienia zwrotnicy - informacje ze zbioru ATzw,
- węzeł semafora - informacje ze zbioru ATsm,
- węzeł sygnalizatora powtarzającego - informacje ze zbioru ATsp,
- węzeł tarczy ostrzegawczej - informacje ze zbioru ATto,
- węzeł tarczy manewrowej - informacje ze zbioru ATtm,
- węzeł samoczynnej blokady liniowej - informacje ze zbioru ATbl,
- węzeł kierunkowy sygnalizatora - węzeł "pusty".

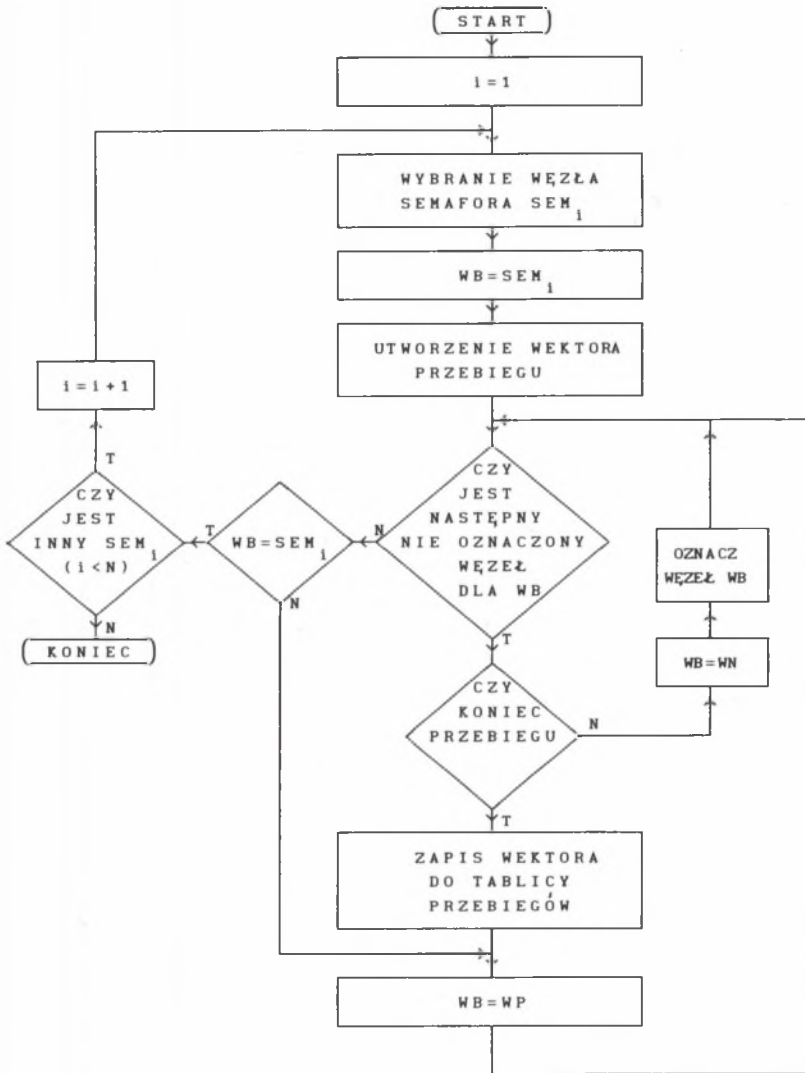
Postać sieciowa układu torowego w powiązaniu z urządzeniami srk z wykorzystaniem przedstawionych podsieci zamieszczona została na rys.16.

WYZNACZANIE DRÓG JAZDY, POŁOŻENIA ZWROTNIC I ODCINKÓW KONTROLOWANYCH WYSTĘPUJĄCYCH W PRZEBIEGU Z WYKORZYSTANIEM MODELU SIECIOWEGO

Wyznaczanie grupy zwrotnicowej i grupy izolacji w tablicy zależności reprezentowanych przez macierze MZ i GZ [2] polega na przemieszczaniu się po przedstawionej sieci od węzła sygnalizatora nazwanego początkowym w kierunku określonym węzłem "kierunek" do następnego sygnalizatora ustawionego w tym samym kierunku, to znaczy do momentu pojawienia się kolejno jednego z węzłów: "semafor", "tarcza manewrowa." (w zależności od rodzaju przebiegu) oraz węzła "kierunek" lub węzła obwodu torowego szlakowego. Napotkanie przedstawionej sekwencji węzłów jest równoznaczne z wyznaczeniem punktu końcowego przebiegu.

a)





- WB - WĘZŁ BIEŻĄCY
- WN - WĘZŁ NASTĘPNY
- WN - WĘZŁ POPRZEDNI
- SEM_i - SEMAFOR O INDEKSIE i
- N - LICZBA SEMAFORÓW DLA JEDNEGO KIERUNKU

Rys.17. Algorytm procedury wyznaczania drogi przebiegu
 Fig.17. Algorithm of procedure of determine the travel track

podstawie parametrów charakteryzujących poszczególne węzły. Powtarzanie tej operacji pozwala na określenie wszystkich dróg jazdy. Algorytm procedury wyznaczania drogi przebiegu przedstawiono na rys 17.

Na początku tworzenia drogi jazdy dla kolejnych przebiegów żaden obwód torowy nie musi być kontrolowany przed nastawieniem rozpatrywanego przebiegu i żadna zwrotnica nie wymaga nastawienia (elementy macierzy MZ i GT są równe zero). Podczas wyszukiwania przedstawionej wyżej sekwencji węzłów, przechodząc przez kolejne węzły sieci określa się położenie zwrotnic oraz obwody torowe wchodzące w skład drogi przebiegu „metodą sita”. Oznacza to, że napotkanie węzła obwodu torowego powoduje modyfikowanie wartości odpowiedniego elementu macierzy GT (element przyjmuje wartość 1), natomiast napotkanie węzła określającego kierunek nastawienia zwrotnicy powoduje modyfikowanie wartości odpowiedniego elementu macierzy MZ (element uzyskuje wartość 1) oraz w zależności od kierunku przestawiania zwrotnicy, modyfikowanie elementu macierzy GZ (wartość 0 lub 1).

Na stacji kolejowej może odbywać się nastawianie lub realizacja (przejazd taboru przez odcinek d_1) więcej niż jednego przebiegu pod warunkiem, że nie są to przebiegi sprzeczne. Przedstawiona sieć pozwala również na określenie rodzaju generowanego przebiegu pociągowego (wjazdowy, wyjazdowy). Jeżeli węzłem poprzednim do węzła semafora jest węzeł obwodu torowego szlakowego, to przebieg jest przebiegiem wjazdowym, natomiast jeżeli punktem końcowym przebiegu jest węzeł obwodu torowego szlakowego, to przebieg jest przebiegiem wyjazdowym. Występujący w sieci węzeł samoczynnej blokady liniowej pozwala na wyznaczenie numeru blokady, w kierunku której odbywa się przebieg pociągowy. Tym samym można określić (na potrzeby sterowania i symulacji), które przebiegi nie mogą być nastawione podczas trwania procesu.

Przedstawiony model sieciowy układu torowego stanowi kompletny opis obiektu będącego przedmiotem symulacji.

LITERATURA

- [1] Apuniewicz S.: Zasady modelowania matematycznego obiektów i procesów sterowania ruchem kolejowym, ZN Pol. Świętokrz., Kielce 1977, z 5.
- [2] Mikulski J., Zych K.: Opis formalny obiektów sterowania ruchem kolejowym, {niniejszy zeszyt}.
- [3] Mikulski J., Zych K.:Projektowanie uniwersalnego planu świetlnego stacji {niniejszy zeszyt}.
- [4] Reingold E. M.: Algorytmy kombinatoryczne, PWN, Warszawa 1985.

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Ginalski

Wpłynęło do Redakcji 22.10.1993 r.

Abstract

The paper shows a method for describing the railway track and railway traffic control devices in a form of network by application of the mathematical model. The model assumes that each unit and railway track elements are represented by a composition of the directed sub-networks whose interconnection corresponds with a topologic structure of the station. The systematized description of network structures enables to perform a computer-aided analysis of the railway track and control processes. The presented model has been applied in determining the travel tracks, position of the switches and controlled sections along the route. Problems presented in this article are grounded on results described in papers: „A formal description of railway traffic control devices” and „Designing of general-purpose lighting panel”.