

Grzegorz KAROŃ
Jerzy MIKULSKI

ZASTOSOWANIE INFORMATYKI DO WSPOMAGANIA PRACY DYSPOZYTORA SIECI TRAKCYJNEJ

Streszczenie. Tematem opracowania jest komputerowy system wspomagający pracę dyspozytora sieci trakcyjnej. Jest on odpowiedzią na zapotrzebowanie na tego typu system ze strony oddziałów zasilania elektroenergetycznego PKP. Duży nacisk położono na zachowanie dotychczasowego wyglądu schematu połączeń sieci trakcyjnej i stosowanych na nim oznaczeń, co ułatwia analizę elektryczną sieci. Uwzględniono również możliwość zaprogramowania systemu dla dowolnego obszaru sieci trakcyjnej, co czyni go uniwersalnym w przypadku zmian połączeń sieci.

APPLICATION OF INFORMATICS TO ASSIST THE WORK OF CONTACT LINE DISPATCHER

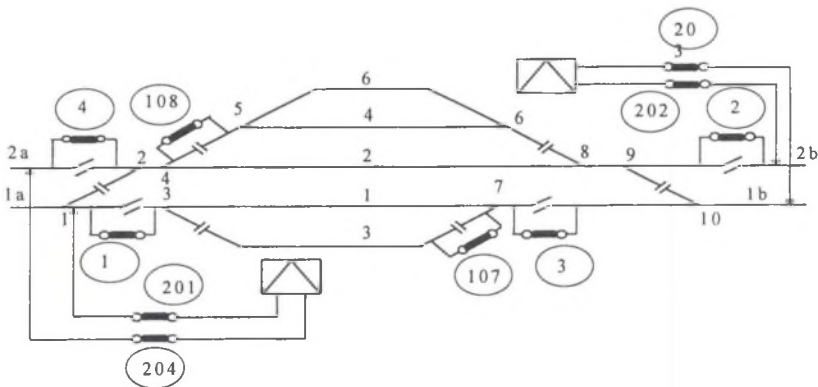
Summary. The subject of this paper is the computer system which supports the work of contact line dispatcher. It was designed to fulfil the demand for such a system in Polish Rail. Emphasis were put on preservation of the actual shape of the connection diagram of contact line and actual symbols, which makes the electrical analysis of contact line easier. The possibilities of programming the system for all regions of contact line were also taken into consideration.

1. WSTĘP

Do dyspozytora sieci trakcyjnej napływają w sposób ciągły informacje o sytuacji ruchowej na podległym obszarze sieci trakcyjnej oraz meldunki dotyczące stanu technicznego odłączników i izolacji, jak również meldunki o uprzednio wykonanych odłączeniach i załączeniach fragmentów sieci. W przypadku awarii lub konserwacji urządzeń sieci trakcyjnej dyspozytor, na podstawie analizy połączeń sieci z uwzględnieniem wymienionych wcześniej informacji,

podejmuje decyzje dotyczące zabezpieczenia miejsca pracy ekipy monterów. Praca dyspozytora sieci trakcyjnej jest ściśle związana z budową sieci trakcyjnej. Sieć jezdna (przewody zawieszane na konstrukcjach wsporczych nad torem) nie tworzy elektrycznie całości, lecz podzielona jest na tzw. sekcje. Podział ten (tzw. sekcjonowanie) umożliwia odłączenie od napięcia poszczególnych odcinków sieci (sekcji) i prowadzenie ruchu pociągów po odcinkach pozostałych pod napięciem. Odłączenia takie wykonywane są najczęściej podczas przeprowadzania konserwacji lub ewentualnych napraw elementów sieci trakcyjnej [2],[3],[5].

Wzajemną izolację poszczególnych sekcji zapewniają takie elementy, jak: izolatory sekcyjne, przerwy powietrzne lub izolowane przęsła naprężenia, natomiast połączenia pomiędzy sekcjami wykonywane są za pomocą odłączników sekcyjnych. Sekcjonowanie wykonywane jest w taki sposób, aby w obrębie stacji zapewnić możliwość oddzielenia od siebie sieci torów o różnym przeznaczeniu funkcjonalnym. Rysunek 1 przedstawia schemat sekcjonowania sieci jezdnej na przykładowej stacji linii dwutorowej.



Rys. 1. Schemat sekcjonowania sieci jezdnej na małej stacji

Fig. 1. Scheme of sections of contact line on the small railway station

Aby odłączenie wybranego fragmentu sieci od napięcia było wykonane poprawnie, należy:

- załączyć te odłączniki, dzięki którym część sieci mogąca utracić zasilanie w wyniku odłączenia wybranego fragmentu, nie utraci go,
- odłączyć zasilacze zasilające wybrany fragment,
- odłączyć wszystkie odłączniki sekcyjne, poprzez które wybrany fragment łączy się z siecią,
- oznaczyć odłączniki, które znajdują się w stanie otwartym i powinny nadal w nim pozostać,
- oznaczyć tzw. jazdy zabronione, czyli kierunki, z których wjazdy na odłączony fragment spowodowałyby przeniesienie pantografem napięcia.

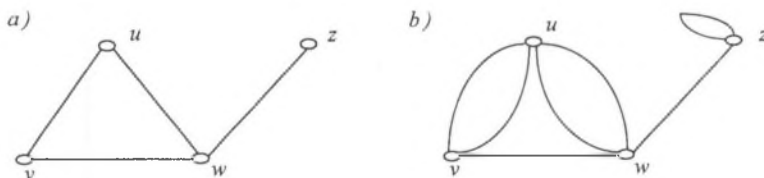
Wydaniem dyspozycji umożliwiających wykonanie tych operacji zajmuje się dyspozytor sieci trakcyjnej. Musi brać on pod uwagę bieżący stan techniczny i elektryczny sekcji położonych w pobliżu fragmentu wybranego do odłączania lub załączania. Nie jest to zadanie proste, gdyż w przypadku gęstych i rozległych sieci trakcyjnych w ciągu jednego dnia może odbywać się kilka odłączeń jednocześnie. Dodatkowo bardzo duża złożoność połączeń sieci oraz częste wykonywanie odłączeń powodują, że analiza rozbudowanego schematu sieci jest uciążliwa i męcząca, a co za tym idzie - rośnie prawdopodobieństwo wystąpienia pomyłek. Pomyłki te mogą być tragiczne w skutkach, zważywszy fakt, iż napięcie panujące pomiędzy przewodem jezdnym a torem kolejowym i przyłączonymi do niego elektrycznie (uszynionymi) konstrukcjami wsporczymi wynosi 3,3 kV [2],[3],[5].

Aby wyeliminować niedogodności związane z pracą dyspozytora oraz zminimalizować możliwości wystąpienia pomyłek opracowany został informatyczny system wspomagający pracę dyspozytora.

2. WYBRANE ELEMENTY TEORII GRAFÓW ZASTOSOWANE W SYSTEMIE

Zasada działania systemu opiera się na teorii grafów. *Grafem prostym* jest para $(V(G), E(G))$, gdzie $V(G)$ jest niepustym skończonym zbiorem elementów zwanych *wierzchołkami*, *węzłami* lub *punktami*, $E(G)$ jest skończonym zbiorem nieuporządkowanych par różnych (w parach) elementów zbioru $V(G)$, zwanych *krawędziami* lub *liniami*, $V(G)$ jest nazywany *zbiorem wierzchołków*, a $E(G)$ *zbiorem krawędzi* grafu G .

Rysunek 2a przedstawia graf prosty G , którego zbiorem wierzchołków $V(G)$ jest $\{u, v, w, z\}$, natomiast zbiór krawędzi składa się z par $\{u, v\}$, $\{v, w\}$, $\{u, w\}$ i $\{w, z\}$. Symbol vw oznacza, że krawędź $\{v, w\}$ łączy wierzchołki v i w [4].



Rys. 2. Przykłady grafów: a) - graf prosty, b) - graf ogólny
Fig. 2. The examples of the graphs: a) - simple graph, b) - general graph

Graf G zdefiniowany jako para $(V(G), E(G))$, gdzie $V(G)$ jest niepustym skończonym zbiorem elementów, zwanych *wierzchołkami*, a $E(G)$ jest skończoną rodziną nieuporządkowanych par (niekoniecznie różnych) elementów zbioru $V(G)$, zwanych *krawędziami*, nazywa się *grafem ogólnym* lub po prostu *grafem* (rys. 2b). $V(G)$ nazywa się *zbiorem wierzchołków*, a $E(G)$ *rodziną krawędzi grafu G* . Inaczej mówiąc jest to graf, w którym dopuszczalne są *pętle*, czyli krawędzie łączące wierzchołki same z sobą oraz krawędzie wielokrotne. Na rys. 2b $V(G)$ jest zbiorem $\{u, v, w, z\}$, a $E(G)$ jest rodziną złożoną z krawędzi $\{v, u\}$, $\{v, u\}$, $\{v, w\}$, $\{u, w\}$, $\{u, w\}$, $\{z, w\}$, $\{z, z\}$.

Digraf D jest zdefiniowany jako para $(V(D), A(D))$, gdzie $V(D)$ jest skończonym niepustym zbiorem elementów, zwanych *wierzchołkami*, zaś $A(D)$ jest skończoną rodziną uporządkowanych par elementów zbioru $V(D)$, zwanych *łukami* lub *krawędziami skierowanymi*. Łuk, którego pierwszym elementem jest v , a drugim w , nazywany jest *łukiem z v do w* , co zapisywane jest symbolicznie vw . Zgodnie z tym dwa łuki uw i wu są różne. Porządek łuku wskazywany jest za pomocą strzałki [4].

Dwa wierzchołki u i w w grafu G są *sąsiednie*, jeżeli istnieje łącząca je krawędź uw . W takim przypadku wierzchołki u i w są *incydentne* z tą krawędzią. Podobnie dwie różne krawędzie grafu G są *sąsiednie*, jeżeli mają przynajmniej jeden wspólny wierzchołek. *Stopień wierzchołka $\rho(v)$* jest liczbą krawędzi incydentnych z v . Licząc stopień wierzchołka przyjmuje się, że każda pętla liczona jest dwa razy, a nie jeden. Wierzchołek stopnia zero jest *wierzchołkiem izolowanym*, a wierzchołek stopnia pierwszego - *końcowym* lub *wiszącym*[4].

Marszrutą w grafie G nazywa się skończony ciąg krawędzi postaci: $v_0v_1, v_1v_2, \dots, v_{m-1}v_m$, oznaczany również przez $v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow \dots \rightarrow v_m$. Marszruta ma tę własność, że dowolne dwie kolejne krawędzie są albo sąsiednie, albo identyczne. Marszrutę tworzy ciąg wierzchołków v_0, v_1, \dots, v_m , w którym v_0 nazywa się wierzchołkiem *początkowym*, a v_m - wierzchołkiem *końcowym* marszruty. Liczbę krawędzi w marszrucie nazywa się jej *długością*. Marszrutę, w której wszystkie krawędzie są różne, nazywa się *łańcuchem*; jeżeli ponadto wierzchołki v_0, v_1, \dots, v_m są różne (z wyjątkiem ewentualnie $v_0 = v_m$), to łańcuch nazywa się *drogą*. Łańcuch lub droga są *zamknięte*, gdy $v_0 = v_m$.

Korzystając z elementów teorii grafów przedstawionych w rozdziale 2 można stworzyć model sieci trakcyjnej jako grafu nieskierowanego. Niech G oznacza graf $(R(G), P(G))$, gdzie $R(G)$ jest niepustym skończonym zbiorem *rejonów*, a $P(G)$ jest zbiorem *połączeń*. $R(G)$ tworzą *rejon* r_1, r_2, \dots, r_m , czyli najmniejsze, elektrycznie niepodzielne sekcje sieci trakcyjnej,

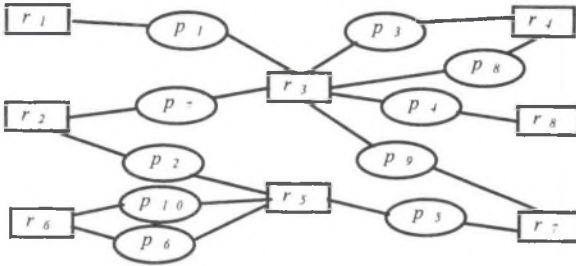
natomiast elementami $P(G)$ są połączenia p_1, p_2, \dots, p_n , typu izolator (izolatory sekcyjne, przewry powietrzne, izolowane przęsta naprężenia) lub odłącznik (odłączniki sekcyjne). Każdy rejon r_i jest wektorem, którego współrzędnymi są cechy opisujące własności elektryczne rejonu. Każde połączenie p_i jest również wektorem, którego współrzędnymi są cechy opisujące typ połączenia i jego własności elektryczne. Wymiary wektorów r_i i p_i są zależne od tego, ile cech użyto do ich opisu.

Podstawowymi cechami r_i są: nr - numer porządkowy, $npos$ - nazwa posterunku, s - skład (numery torów i rozjazdów), nz - nazwa i numer zasilacza zasilającego dany rejon, ez - elektryczny stan zasadniczy, ea - elektryczny stan aktualny, kol - kolor wyświetlania na monitorze komputerowym, npr - numery porządkowe rejonów sąsiednich z danym przez połączenie typu izolator, npo - numery porządkowe połączenia incydentnego typu odłącznik.

Podstawowymi cechami p_i są: typ (izolator lub odłącznik), nr - numer porządkowy (dla odłącznika), nrz - numer rzeczywisty (dla odłącznika), ez - elektryczny stan zasadniczy (dla odłącznika), ea - elektryczny stan aktualny (dla odłącznika), $nr1$ - numer porządkowy 1 rejonu incydentnego, $nr2$ - numer porządkowy 2 rejonu incydentnego. Jak łatwo zauważyć, niektóre cechy mają wartości liczbowe (np. nr - numer porządkowy), a inne to napisy (np. $npos$ - nazwa posterunku) lub zbiory napisów albo zbiory liczb, które zapisane są w postaci macierzy jednowymiarowych (np. s , npr). Wszystkie rejonu zapisane są w macierzy MR , natomiast połączenia zapisane są w macierzy MP . Tak więc $MR[m]=r_m[nr, npos, s, nz, ez, ea, kol, npr, npo]$ jest m-tym elementem macierzy rejonów, a $MP[n]=p_n[typ, nr, nrz, ez, ea, nr1, nr2]$ jest n-tym elementem macierzy połączeń. Dla schematu sieci pokazanego na rysunku 1 utworzony został graf (rys. 3) oraz macierze: MR i MP .

Elementy macierzy MR oraz MP mają następujące wartości:

$MR[1]=r_1[1, Stacja, s, 204, napięciowy, napięciowy, czerwony, npr, npo]$; $s=[t2a]$; $npr=[0]$; $npo=[1]$; $MR[2]=r_2[2, Stacja, s, 201, napięciowy, napięciowy, czerwony, npr, npo]$; $s=[t1a, r1]$; $npr=[3]$; $npo=[2]$; $MR[3]=r_3[3, Stacja, s, 0, napięciowy, napięciowy, czerwony, npr, npo]$; $s=[t2, r2, r4, r8, r9]$; $npr=[2, 4, 7]$; $npo=[1, 3, 4]$; $MR[4]=r_4[4, Stacja, s, 0, napięciowy, napięciowy, czerwony, npr, npo]$; $s=[t4, t6, r5, r6]$; $npr=[3]$; $npo=[3]$; $MR[5]=r_5[5, StacjaA, s, 0, napięciowy, napięciowy, czerwony, npr, npo]$; $s=[t1, r3, r7]$; $npr=[6]$; $npo=[2, 5, 6]$; $MR[6]=r_6[6, StacjaA, s, 0, napięciowy, napięciowy, czerwony, npr, npo]$; $s=[t3]$; $npr=[5]$; $npo=[6]$; $MR[7]=r_7[7, StacjaA, s, 203, napięciowy, napięciowy, czerwony, npr, npo]$; $s=[t1b, r10]$; $npr=[3]$; $npo=[5]$; $MR[8]=r_8[8, StacjaA, s, 202, napięciowy, napięciowy, czerwony, npr, npo]$; $s=[t2b]$; $npr=[0]$; $npo=[4]$;



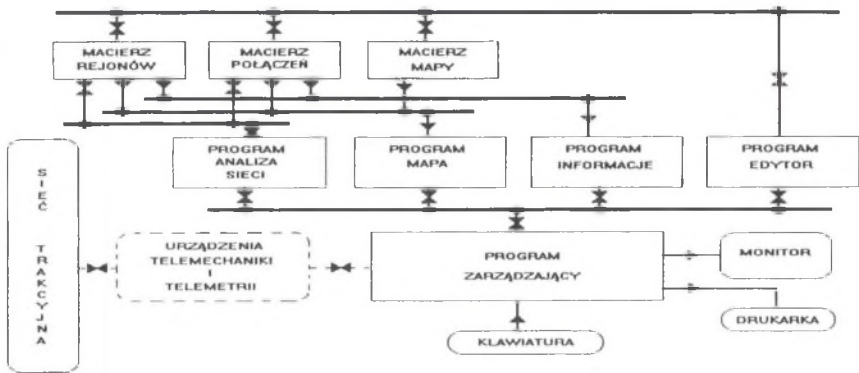
Rys. 3. Graf dla sekcjonowania z rysunku 1
 Fig. 3. Graph of sections of contact line from fig.1

$MP[1]=p_1[\text{odłącznik}, 1, 4, \text{zamknięty}, \text{zamknięty}, 0, 3]$; $MP[2]=p_2[\text{odłącznik}, 2, 1, \text{zamknięty}, \text{zamknięty}, 2, 5]$; $MP[3]=p_3[\text{odłącznik}, 3, 108, \text{zamknięty}, \text{zamknięty}, 3, 4]$; $MP[4]=p_4[\text{odłącznik}, 4, 2, \text{zamknięty}, \text{zamknięty}, 3, 8]$; $MP[5]=p_5[\text{odłącznik}, 5, 3, \text{zamknięty}, \text{zamknięty}, 5, 7]$; $MP[6]=p_6[\text{odłącznik}, 6, 107, \text{zamknięty}, \text{zamknięty}, 5, 6]$; $MP[7]=p_7[\text{izolator}, 7, \text{nie dotyczy}, \text{nie dotyczy}, \text{nie dotyczy}]$; $MP[8]=p_8[\text{izolator}, \text{nie dotyczy}, \text{nie dotyczy}, \text{nie dotyczy}, 3, 4]$; $MP[9]=p_9[\text{izolator}, 9, \text{nie dotyczy}, \text{nie dotyczy}, \text{nie dotyczy}, 3, 7]$; $MP[10]=p_{10}[\text{izolator}, 10, \text{nie dotyczy}, \text{nie dotyczy}, \text{nie dotyczy}, 5, 6]$;

Oprócz omówionych macierzy MR i MP istnieje jeszcze macierz mapy MM , zawierająca graficzne symbole odwzorowujące graf $(R(G), P(G))$ w mapę sieci trakcyjnej wyświetlaną na ekranie monitora komputerowego. Dzięki odpowiednim algorytmom mapa wyświetlana jest w takich kolorach, które umożliwiają rozróżnienie rejonów znajdujących się aktualnie pod napięciem od rejonów pozbawionych napięcia oraz rozróżnienie odłączników otwartych od zamkniętych.

3. SCHEMAT BLOKOWY SYSTEMU

Na rysunku 4 przedstawiono schemat blokowy systemu, na którym uwzględniono możliwość fizycznego połączenia systemu z siecią trakcyjną poprzez zastosowanie urządzeń telemechaniki i telemetrii.



Rys. 4. Schemat blokowy systemu
 Fig. 4. Block diagram of the system

4. DZIAŁANIE SYSTEMU

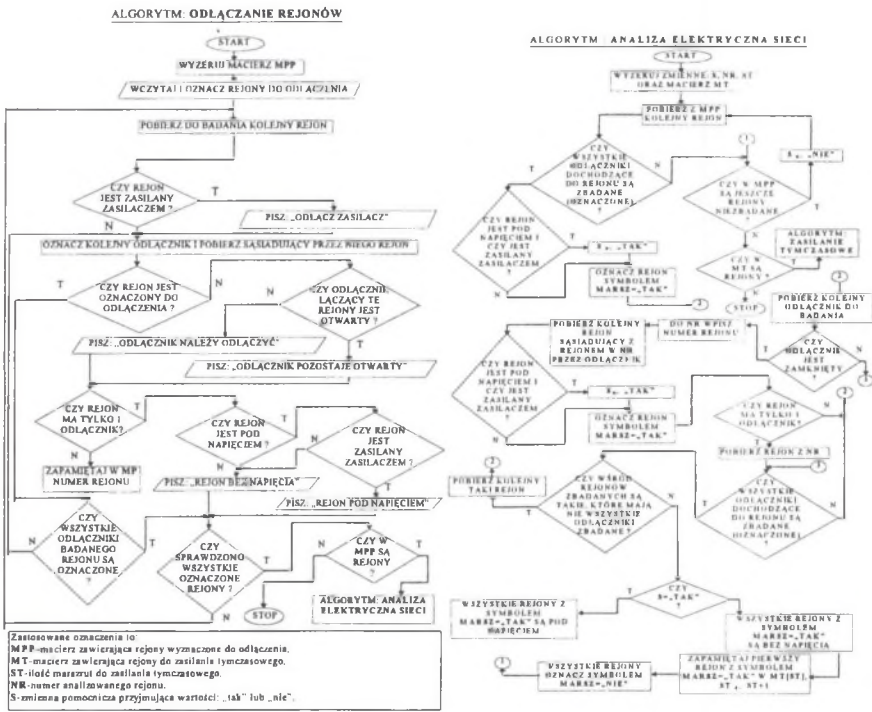
Wyznaczenie fragmentu sieci do odłączenia (załączenia) odbywa się przez wyświetlenie mapy na ekranie i wpisanie w odpowiednie miejsce nazwy posterunku ($npos$) oraz elementów tworzących dany fragment, czyli numeru toru lub numeru rozjazdu (s) (rys. 6). System przeszukuje $MR[m]$ ze względu na s i $npos$ w $r_i[nr, npos, s, nz, ez, ea, kol, npr, npo]$, dzięki czemu identyfikuje wybrane rejony. Następnie system przeszukuje MR i MP w taki sposób, że „znajduje” odłączniki łączące wybrany rejon (rejony) z siecią i „otwiera” te, które są w stanie zamkniętym (czyli zmienia $ea = zamknięty$ na $ea = otwarty$ w $p_j[typ, nr, nrz, ez, ea, nr1, nr2]$). W ten sposób graf G „przygotowany” zostaje do analizy elektrycznej sieci. Polega ona na tym, że system tworzy odpowiednie marszruty. Rejonami początkowymi są rejony sąsiadujące z rejonami wybranymi do odłączenia (załączenia), a rejonami kolejnymi w marszrutach - rejony połączone odłącznikami zamkniętymi, czyli takimi elementami $p_j[typ, nr, nrz, ez, ea, nr1, nr2]$, w których $ea=zamknięty$ i $typ=odłącznik$. W tak przygotowanych marszrutach poszukiwany jest co najmniej jeden rejon zasilany zasilaczem, czyli element $r_i[nr, npos, s, nz, ez, ea, kol, npr, npo]$, w którym $nz \neq 0$ i $ea=napięciowy$. Znalazienie takiego elementu powoduje ustawienie $ea=napięciowy$, natomiast brak takiego elementu - $ea=beznapięciowy$ dla kolejnych elementów danej marszruty ($r_i[nr, npos, s, nz, ez, ea, kol, npr, npo]$).

Dzięki odpowiednim cechom r_m i p_n możliwe jest podanie następujących informacji na ekranie monitora lub w formie wydruku na drukarce: wyników symulacji załączenia lub odłą-

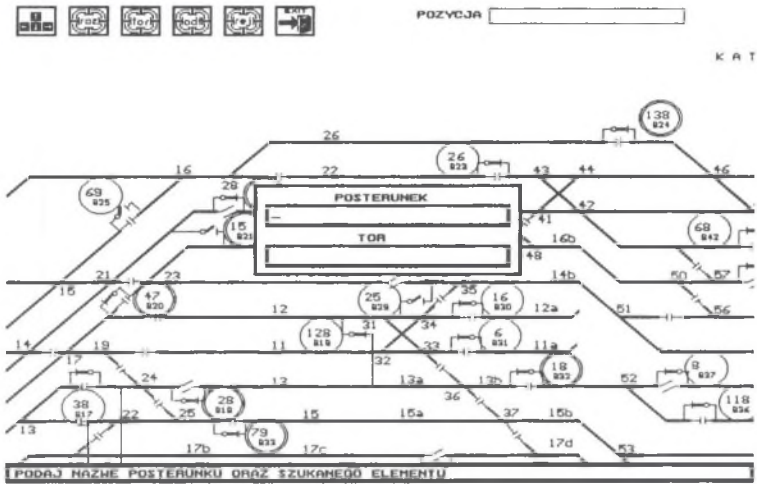
czenia rejonów, wykazów rejonów: pod napięciem, bez napięcia, odłączonych, wykazów odłączników: zamkniętych, otwartych, w stanie niezgodnym z zasadniczym, szczegółowej informacji o wybranym rejonie (skład, stan napięciowy, połączenia, rejon sąsiednie). Na rysunku 5 przedstawiono wybrane algorytmy systemu.

5. PODSUMOWANIE

Opisana struktura danych umożliwia rozbudowę funkcji systemu przez modyfikację cech elementów r_m i p_n oraz rozbudowę algorytmów. Aby do systemu mogły być w prosty sposób wprowadzane nowe dane lub modyfikowane dane już istniejące, wykonany został edytor mapy oraz edytor bazy danych [1].



Rys. 5. Wybrane algorytmy systemu
 Fig. 5. Selected work algorithms of the system



Rys. 6. Wygląd ekranu monitora komputerowego podczas wyznaczania rejonów do odłączenia
 Fig. 6. Screen of the system while loading data of regions that must be disconnected

Na schemacie blokowym (rys. 4) zaznaczono możliwość rozbudowy systemu o urządzenia telemechaniki i telemetrii. Brak takich urządzeń powoduje, że praca systemu sprowadza się do symulacji załączania i odłączania rejonów, ponieważ nie istnieje możliwość przesyłania sygnałów sterujących i sygnałów kontroli stanu elektrycznego odłączników. Wiele dyspozytury nie jest jednak wyposażonych w te urządzenia i dla nich właśnie może być przydatny opisany system.

LITERATURA

1. Karoń G.: Informatyczny system wspomaganie pracy dyspozytora. Praca dyplomowa, Wydział Inżynierii Materiałowej, Metalurgii i Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 1995
2. Łuczywek Z., Słaby L.: Elektromonter podstacji trakcyjnej. WKŁ, Warszawa 1972
3. Podoski J., Kacprzyk J., Mysiek J.: Zasady trakcji elektrycznej. WKŁ, Warszawa 1980
4. Robin J. Wilson : Wprowadzenie do teorii grafów. PWN, Warszawa 1985
5. Świderek S.: Poradnik elektromontera sieci trakcyjnej PKP, WKŁ, Warszawa 1993

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Ginalski

Abstract

The computer system which supports the work of contact line dispatcher has been presented in this paper. The principle of system operation is based on the graph theory. This system analyses electrical state of contact line and determines an optimum conditions of connections or disconnections for regions of contact line. These conditions are shown on computer screen as colour connection diagram of contact line. The colors and symbols of this connection diagram correspond to electrical state of all regions of contact line, which makes the electrical analysis easier for the dispatcher. The possibilities of programming the system for all regions of contact line have also been taken into consideration. It makes the system universal in case of any changes in connection diagram of contact line. It is designed for small railway stations, which do not have remote control of contact line yet.