



P.4201/49

prace naukowo – badawcze

Instytut Maszyn Matematycznych

Nr [1]

Stanisław GRODZICKI

Analiza geometrii tras komunikacyjnych w aspekcie zastosowań techniki komputerowej

Zjednoczenie Przemysłu Automatyki i Aparatury Pomiarowej "MIRA"
Instytut Maszyn Matematycznych



P. 4201/79

prace naukowo-badawcze

Instytutu

Maszyn

Matematycznych Nr [1]

Stanisław GRODZICKI

ANALIZA GEOMETRII TRAS KOMUNIKACYJNYCH
W ASPEKCIE ZASTOSOWAŃ TECHNIKI KOMPU-
TEROWEJ /skrót rozprawy doktorskiej/

Warszawa 1979

Copyright © 1979 - by Instytut Maszyn Matematycznych

Poland

Wszelkie prawa zastrzeżone

KOMITET REDAKCYJNY

doc. mgr Jan BOROWIEC

mgr inż. Andrzej JANIK

doc. dr hab.inż. Stanisław MAJERSKI

doc. dr inż. Henryk ORŁOWSKI /red. naczelny/

doc. dr inż. Zdzisław WRZESZCZ

mgr Romana NITKOWSKA /sekr. red./

Adres Redakcji: Instytut Maszyn Matematycznych
Branżowy Ośrodek INTE
ul. Krzywickiego 34, 02-078 Warszawa
tel. 28-37-29 lub 21-84-41 w. 244

S P I S T R E Ś C I

1.	WPROWADZENIE	5
2.	OGÓLNY PRZEGLĄD NOWOCZESNYCH METOD PROJEKTOWANIA TRAS KOMUNIKACYJNYCH	6
3.	ANALIZA PROBLEMÓW PROJEKTOWO-OBLICZENIOWYCH	11
3.1	Kształtowanie trasy w płaszczyźnie poziomej	11
3.2	Krzywe przejściowe	16
4.	MATEMATYCZNE PODSTAWY I ALGORYTMY MODUŁÓW OBLICZENIOWYCH	26
5.	ZAŁOŻENIA METODYCZNE I ORGANIZACYJNE SYSTEMU GT	49
6.	CHARAKTERYSTYKA I ZASADY EKSPLOATACJI SYSTEMU GT	62
7.	PODSUMOWANIE	74
	L i t e r a t u r a	77
	S t r e s z c z e n i a	83

1. WPROWADZENIE

W procesie projektowania tras komunikacyjnych stosowanie komputerów w obecnej chwili stało się faktem.

Podczas opracowywania projektu trasy komunikacyjnej jednym z istotnych jego elementów jest zagadnienie geometrii trasy w płaszczyźnie poziomej. Właściwy dobór parametrów geometrycznych trasy decyduje o warunkach i bezpieczeństwie ruchu oraz kosztach budowy i eksploatacji. Wymaga to wielu trudnych i żmudnych obliczeń. Dlatego też z zakresu geometrii tras opracowywane są w Polsce pojedyncze programy, stosuje się także amerykański system COGO, przeznaczony do obliczeń geometrii dróg, autostrad i skrzyżowań. Wszystkie te programy i systemy stwarzają jednak zbyt małe możliwości. Nie zapewniają one kompleksowego obliczania wielkości geometrycznych całej trasy. Nie obejmują one także złożonych zespołów krzywych. Ponadto nie wszystkie z nich pozwalają uzyskać wyniki niezbędne do tyczenia w terenie projektu trasy oraz są niewygodne w eksploatacji ze względu na stare typy komputerów.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia, a więc potrzeby jednostek projektujących i wykonawczych w zakresie opracowania geometrii trasy, podjęto próbę stworzenia systemu, który spełniałby takie wymagania, a jednocześnie był dostatecznie prosty w eksploatacji.

Zakres tematyczny niniejszej rozprawy ukształtował się na podstawie opracowania "Komputeryzacja projektowania inżynierskiego", wykonanego w latach 1975-76 w Pracowni Przetwarzania Danych Inżynierskich Instytutu Maszyn Matematycznych. Opracowanie to obejmuje różne problemy projektowania inżynierskiego, a jedną z części tego tematu poświęcono właśnie zagadnieniu projektowania geometrii tras komunikacyjnych w płaszczyźnie poziomej, tworząc system GP /GEOMETRIA TRASY/.

Podstawowe założenia opracowywanego systemu GP można sformułować następująco:

- w jednym przebiegu obliczeniowym można traktować całą trasę jako pewien obiekt, składający się z $n+1$ odcinków prostych oraz n odcinków krzywoliniowych odpowiednio połączonych,
- system musi zapewniać obliczenie elementów geometrycznych także dla dowolnego pojedynczego odcinka krzywoliniowego, jako zredukowanej trasy,
- system powinien stwarzać projektantowi możliwości wyboru różnych krzywych przejściowych oraz możliwość stosowania różnych zespołów krzywych, jako odpowiednie kombinacje krzywych przejściowych z łukami kołowymi,
- projektowany system powinien umożliwiać wydawanie wyników obliczeń w pełnym i niepełnym zestawie; pełny zestaw wyników obliczeń zawiera dane odnoszące się do punktów głównych i punktów pośrednich, natomiast niepełny zestaw wyników dotyczy tylko punktów głównych,
- system powinien zapewnić automatyczne wykonywanie rysunków, dzięki czemu znacznie skróci się czas opracowywania dokumentacji projektowej.

W celu realizacji systemu GP założono, że oś trasy jest definiowana w dwojaki sposób: za pomocą zbioru punktów o znanych współrzędnych rozmieszczonych dowolnie w osi trasy lub za pomocą długości łukowej /odległości między wierzchołkami/ i wartości kątów załamania trasy.

Planowany system powinien obejmować wszystkie stosowane w praktyce typy krzywych przejściowych, czyli kłotoidę i parabolę stopnia trzeciego, podczas gdy dotychczasowe systemy nie zapewniają tego.

Celem umożliwienia wykorzystania systemu nie tylko przez jednostki projektujące trasy, ale także przez jednostki dokonujące obsługi geodezyjnej podczas budowy, założono wydawanie wyników do wyznaczenia w terenie projektu trasy. Jest to istotną nowością systemu w porównaniu z np. systemem COGO, który nie obejmuje obliczeń szczegółowych elementów krzywych odcinków tras /punktów pośrednich/.

W efekcie podjętych prac udało się opracować system, który oprócz spełnienia wymienionych postulatów, umożliwia w jednym przebiegu obliczeniowym projektowanie trasy komunikacyjnej o dowolnej długości - odcinek za odcinkiem automatycznie zapewniając ich ciągłość; można także w tym samym przebiegu obliczać wiele tras.

Szeroki wachlarz rozwiązywania zagadnień podstawowych i złożonych z zakresu geometrii trasy oraz możliwość dużej różnorodności wprowadzania danych i wyprowadzania wyników, czynią system GT w dużej mierze uniwersalnym narzędziem pracy projektanta. System GT został uruchomiony na komputerach: IBM 370/145, JS RIAD R32 /i R-20/ oraz ODRA z serii 1300. Zrealizowana wersja systemu przewiduje 12 tak zwanych modułów obliczeniowych, z których każdy dotyczy pewnego zespołu krzywych, np. łuk kołowy, podwójny i potrójny łuk koszowy, bikłotoida, łuk kołowy z parabolami stopnia trzeciego itp. Niektóre moduły obliczeniowe wersji systemu, działającej na komputerach ODRA, posiadają podprogramy rysujące odpowiednie krzywe z ich elementami do tyczenia w terenie.

Autor zdaje sobie sprawę, że system GT w swej wersji modelowej nie jest całkowicie doskonały. Na pewno można by zastosować inne podejście do organizacji wprowadzania i wydawania wyników. Można by uzupełnić system nowymi metodami tyczenia punktów pośrednich krzywych, rozszerzyć zakres rysunku automatycznego itp. Na przykład kilkakrotne zastosowanie systemu GT w projektowaniu linii kolejowych /hutniczo-siarkowej i Centralnej Magistrali Kolejowej/ spowodowało, że wpłynął od użytkowników wniosek o rozszerzenie wydruków obliczeń. Zaproponowano mianowicie zastosowanie biegunowej metody do wyznaczania punktów pośrednich, aby uniezależnić się w pewnym stopniu od warunków terenowych, mając do wyboru dwie metody tyczenia krzywych.

2. OGÓLNY PRZEGLĄD NOWOCZESNYCH METOD PROJEKTOWANIA TRAS KOMUNIKACYJNYCH

Klasyczny proces projektowania trasy komunikacyjnej przebiega w następujących fazach:

- 1/ wykonanie studiów trasy,
- 2/ wykonanie geodezyjnych pomiarów terenowych i sporządzenie podkładu mapowego,
- 3/ przeprowadzenie badań i sporządzenie dokumentacji geologicznej,
- 4/ wykonanie kameralnego opracowania trasy.

Przy niewielkiej mechanizacji prac w poszczególnych etapach projektowania tras komunikacyjnych proces opracowania ostatecznego projektu był dosyć długi. W celu skrócenia czasu opracowywania projektu coraz częściej automatyzuje się niektóre czynności projektowe.

Należy przy tym zdawać sobie sprawę z faktu, że głównym celem automatyzacji jest stworzenie optymalnego obiektu.

Stosowanie nowoczesnych metod projektowania tras stało się konieczne z chwilą intensywnego rozwoju dróg szybkiego ruchu, autostrad i magistrali kolejowych. Choć w poszczególnych krajach istnieją pewne różnice w sposobie podejścia do rozwiązania problemu automatyzacji procesu projektowania, to jednak wszędzie opiera się ona na następujących podstawowych elementach [19] , [83] : metodach fotogrametrycznych oraz maszynach cyfrowych stosowanych zarówno do obliczeń jak i do generowania rysunków.

Charakterystyczną cechą związaną z rozwojem nowoczesnych technik projektowania jest duży postęp w rozwoju metod komputerowych. Rozwój ten dotyczy przejścia od realizacji prostych programów do programów skomplikowanych i dużych systemów, rozwiązujących kompleksowo programy projektowe i wprowadzających optymalizację trasy.

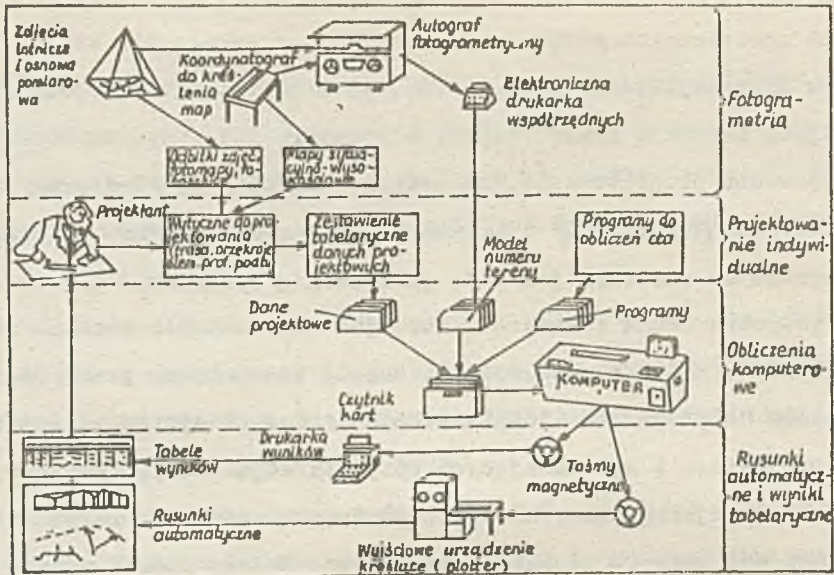
Dla potrzeb niniejszej pracy nie jest konieczne omówienie metod fotogrametrycznego opracowywania map ani sprzętu służącego tym celom. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że metody te automatyzują bardzo istotny etap procesu projektowania trasy komunikacyjnej oraz, że stosowanie ich lub niestosowanie, silnie wpływa na automatyzację dalszych etapów tego procesu.

Duża liczba powtarzających się prac obliczeniowych, szczególnie dobrze nadaje się do realizacji za pomocą komputerów. Jak wynika z literatury [19] , [83] , [28] , [58] , [35] , [31] istnieje wiele specjalnie opracowanych programów pozwalających na stosowanie komputerów /IBM 360 i 370, ICL 1900, UNIVAC, ODRA 1300, RIAD 32/ we wszystkich stadiach projektowania.

Szczególnie powiązanie obliczeń komputerowych z elektroniczną techniką graficzną pozwala uzyskać bliskie optymalnego projekty trasy.

Elektroniczna technika graficzna /ETG/ jest metodą umożliwiającą uzyskanie rysunkowej postaci wyników, przetworzonych z danych cyfrowych przez komputer.

Ogólny schemat powiązania w procesie projektowania autostrad fotogrametrii, obliczeń komputerowych i rysunków automatycznych przedstawia rysunek 2. 1 , zaczerpnięty z [19].



Rys. 2. 1 . Ogólny schemat procesu projektowania autostrad, uwzględniający zastosowanie fotogrametrii, obliczeń komputerowych i rysunków automatycznych [19] .

Poniżej scharakteryzowano ogólnie nowoczesne techniki projektowania tras w niektórych przodujących w tej dziedzinie krajach.

Stany Zjednoczone. W procesie projektowania tras wyróżnia się trzy stadia [48] :

- a/ studia zmierzające do wyboru korytarza trasy,
- b/ projekt wstępny, określający trasę w planie i w profilu,
- c/ projekt ostateczny, określający wszystkie obiekty potrzebne do wybudowania.

Zasadą jest, że do prac studialnych wykorzystuje się istniejące zdjęcia lotnicze; materiały te są stale aktualizowane. Po określeniu korytarza trasy, wykonuje się zdjęcia lotnicze już specjalnie dla danego projektu. Na podstawie tych zdjęć przygotowuje się automatycznie mapy w skali 1:2000 lub 1:2500 z warstwicoami co 1,5m. Mapy, opracowane metodami fotogrametrycznymi, są kontrolowane pomiarami geodezyjnymi za pomocą szybkich przyrządów dalmierycznych typu GEODIMETR, DISTOMAT.

Zdjęcia lotnicze są wykorzystywane również do rozpoznania geologicznego i geotechnicznego gruntów /fotointerpretacja/.

Po wyznaczeniu trasy projektuje się kreśląc automatycznie przekroje poprzeczne i profil podłużny.

Ostateczny projekt powstaje opierając się na numerycznym modelu terenu wraz z wykorzystaniem odpowiednich programów systemu COGO /Coordinated Geometry/.

Włochy. Proces projektowania trasy autostrady rozpoczynają studiu mapowe, które pozwalają ustalić na mapie 1:25000 wstępną oś trasy [58] , [83] , [19]. Następnie wykonuje się zdjęcia lotnicze i metodami fotogrametrycznymi opracowuje się mapę sytuacyjno-wysokościową w skali 1:2000, która jest podstawą do ustalenia ostatecznej trasy autostrady.

Te właśnie zdjęcia lotnicze, po odpowiednim przetworzeniu, stanowią również bazę dla numerycznego modelu terenu.

Odpowiedni zestaw programów pozwala na: wykreślenie schematu rysunkowego trasy, automatyczne wykreślenie profilu podłużnego i przekrojów poprzecznych trasy, wykonywanie obliczeń projektowych /około 70% stanowią obliczenia komputerowe/. Obliczenia wykonywane są na komputerze IBM, a wszelkie rysunki są kreślone za pomocą pisaka ESSI-KONGSBERG, produkcji norweskiej /wymiary stołu - 120 x 140 cm/.

Szwecja. Projektowanie tras odbywa się w trzech etapach: lokalizacji trasy, projektu wstępnego i projektu technicznego.

W etapie lokalizacji określa się wstępne usytuowanie drogi. W etapie projektu wstępnego wybiera się zwykle jeden korytarz terenu i opracowuje się go bardziej dokładnie, rozważając szczegółowo różne warianty trasy, aż do momentu wyboru osi drogi najlepszej do usytuowania w tym korytarzu.

Ostateczna oś drogi projektowana jest na mapie w skali 1:2000, wykonywanej na stereo-autografach Wilda A10 lub A-8.

W etapie projektu technicznego, opierając się na wynikach projektu wstępnego, projektowany jest ostatecznie korpus drogowy.

Ze zdjęć fotogrametrycznych sporządza się również mapy w skali 1:500 - 1:1000, które są wykorzystywane do projektowania mostów, skrzyżowań, itp. obiektów zajmujących znaczny obszar powierzchni terenu. Te same zdjęcia lotnicze są podstawą do opracowania profili podłużnych i przekrojów poprzecznych za pomocą autografów sprzężonych z profiloskopem i z przystawką /EK-8/ rejestrującą współrzędne. W wyniku obliczeń komputerowych otrzymuje się w formie graficzno-analitycznej: profil podłużny, przekroje poprzeczne, obliczenia mas ziemnych, rysunki perspektywiczne oraz dane do wytyczenia osi i innych elementów drogi w terenie itp.

W innych krajach również stosuje się na szeroką skalę nowoczesne techniki projektowania tras komunikacyjnych. I tak na przykład w Republice Federalnej Niemiec wykorzystuje się metody fotogrametryczne do sporządzania podkładów mapowych, nie tylko w etapie sporządzania projektów wstępnych dróg i autostrad, ale także do inwentaryzacji powykonawczej oraz do opracowywania map konserwacji urządzeń technicznych autostrad.

Również w Niemieckiej Republice Demokratycznej, Bułgarii, Czechosłowacji i Węgrzech stosuje się automatyzację w projektowaniu tras komunikacyjnych [61], opartą na metodach fotogrametrycznych, numerycznym modelu terenu i maszynach cyfrowych.

W Polsce od wielu lat w różnych ośrodkach naukowych i projektowych, prowadzone są prace studialne i praktyczne nad zastosowaniem nowoczesnych technik w procesie projektowania.

W zakresie przygotowania podkładów mapowych do projektowania tras, przedsiębiorstwa geodezyjne i instytucje wojskowe stosują coraz szerzej automatyzację tych opracowań. Przykładem jest opracowany w 1973 r. w Centralnym Biurze Studiów i Projektów Dróg i Mostów - TRANSPROJEKT w Warszawie, kompleksowy system nowoczesnego wykonywania drogowej dokumentacji projektowej.

Należy jednak zauważyć, że użyty w tej metodzie sprzęt komputerowy nie jest najlepszy i praktycznie jest już wycofywany z produkcji /ODRA 1204/.

Ponadto oprogramowanie użytkowe nie obejmuje bardziej złożonych rozwiązań geometrii trasy, jak np. różne zespoły krzywych kołowych i krzywych przejściowych. Brak również w tym oprogramowaniu podejścia kompleksowego, ujmującego w jeden przebieg obliczeniowy całość zagadnień związanych z wyznaczeniem elementów geometrycznych trasy w płaszczyźnie poziomej. Oprogramowanie omawianego systemu krajowego, a także zagranicznych adaptowanych w Polsce, definiuje trasę tylko za pomocą punktów o znanych współrzędnych. Dlaczego więc nie rozszerzyć możliwości definiowania trasy o dodatkowy sposób, to znaczy za pomocą długości odcinków prostych i kątów załamania. Takie podejście stwarza projektantowi możliwość wyboru dowolnych danych w różnych stadiach opracowywania projektu.

Te wszystkie aspekty zagadnień ujmuje opisany dalej system GT.

Oprócz omówionej wyżej technologii nowoczesnego projektowania tras w polskiej praktyce projektowania tras komunikacyjnych, wśród wdrożonych systemów można wyróżnić: opracowania krajowe, jak np. system PD [52], automatyzujący część prac projektowych przy opracowaniu przede wszystkim założeń techniczno-ekonomicznych, metoda PC [55] do opracowania projektu technicznego, wykorzystująca fotogrametrię i fotointerpretację geologiczną, maszyny cyfrowe i wykorzystanie widoków perspektywicznych, a także systemy zagraniczne, takie jak CUT AND FILL /NASYP I WYKOP/, dotyczący obliczania robót ziemnych oraz COGO [90], stosowany do obliczeń elementów geometrycznych tras.

Spośród systemów zagranicznych, które zostały adaptowane w kraju system COGO dobrze opisuje wiele prostych zagadnień najczęściej spotykanych w praktyce projektowej. Natomiast nie obejmuje on zagadnień bardziej złożonych, jak np. łuki koszowe, łuki odwrotne, łuki koszowe z krzywymi przejściowymi, biklotoidy itp. Również w ogóle nie obejmuje on obliczeń szczegółowych elementów krzywych odcinków tras.

Niniejsza praca nie obejmuje wszystkich zagadnień związanych z procesem projektowania tras, ogranicza się jedynie do projektowania geometrii trasy w płaszczyźnie poziomej w aspekcie zastosowań techniki komputerowej.

Warto zwrócić uwagę, że wszystkie dostępne systemy dają tylko jedną możliwość definiowania osi trasy - za pomocą punktów o znanych współrzędnych X, Y. Brak natomiast drugiej możliwości określenia osi trasy - za pomocą kątów załamania trasy i długości odcinków prostych /łamanej/ oraz, że systemy te rozwiązywały tylko zagadnienia cząstkowe, bez łączenia trasy w jeden obiekt.

Biorąc pod uwagę wszelkie braki w analizowanych systemach i programach z zakresu geometrii trasy w płaszczyźnie poziomej oraz uwzględniając pewne wymagania projektantów opracowano system kompleksowego obliczania elementów geometrycznych, który szczegółowo scharakteryzowano w następujących rozdziałach.

3. ANALIZA PROBLEMÓW PROJEKTOWO - OBLICZENIOWYCH

3.1. Kształtowanie trasy w płaszczyźnie poziomej

Trasa komunikacyjna, w zakresie kształtu, układu elementów trasowania i usytuowania w terenie zależy od szybkości projektowej, a także od względów natury administracyjnej, ekonomicznej, strategicznej, reprezentacyjnej itp.

Oś trasy jest krzywą przestrzenną, której rzut na płaszczyznę poziomą jest osią trasy w planie, a rzut na płaszczyznę pionową - profilem podłużnym trasy.

Kształtowanie trasy na poszczególnych jej odcinkach wymaga stałej konfrontacji z wymaganym profilem podłużnym. Oprócz tego, ustalenie kształtu trasy powinno uwzględniać zagadnienia estetyki, tj. powinno stwarzać właściwe efekty umieszczenia trasy w krajobrazie. Ciekawe jest, że często uwzględnianie estetyki pozwala na wyszukiwanie właściwych rozwiązań technicznych, jak dopuszczalne pochylenia podłużne, takie usytuowanie trasy, żeby nie podlegała ona zaśmiecaniu, najmniejsze wymiary robót, zaznaczenie pięknych widoków itp.

W celu zapewnienia odpowiednich odcinków widoczności powstaje konieczność stworzenia należytej perspektywy, aby była zapewniona odpowiednia długość drogi hamowania pojazdów i utrzymana właściwa szybkość na trasie.

Tak więc bardzo ważnym warunkiem kształtowania trasy jest zapewnienie płynności, co wyraża się w dobraniu odpowiedniego stosunku poszczególnych elementów technicznych trasy w planie i w profilu podłużnym.

Jednym z najczęstszych błędów trasowania [14], spotykanych przy projektowaniu nowoczesnych tras, jest wyznaczenie zbyt małych kątów skrętu trasy oraz zbyt krótkich łuków poziomych. Zbyt krótkie krzywe między dostatecznie długimi prostymi wyglądają jak gwałtowne załamanie. W celu utrzymania płynności trasy niekiedy dobrze jest stosować powiększenie kąta skrętu lub znaczne powiększenie promienia łuku.

Krzywizny poziome należy stosować o możliwie dużych promieniach, dbając jednak, aby różnica promieni na trasie nie była zbyt wielka, przy czym stosowanie krzywych przejściowych jest tu obowiązkowe. Ponadto zbyt krótkie wstawki proste pomiędzy łukami o dużych promieniach czynią wrażenie załamania się trasy tak, jak i krótka krzywa między długimi prostymi. Najbardziej celowe jest stosowanie jednego łuku o większym promieniu, zamiast układu dwóch łuków z krótką wstawką prostą. Przy stosowaniu krzywych koszowych najlepszy stosunek promieni krzywych jest 1:1,5 lub mniej, bowiem przy większej różnicy wyraźnie jest wyczuwalny brak płynności trasy.

Na pojazd poruszający się po prostym odcinku trasy działają: siła ciężaru pojazdu, siła napędowa oraz opory ruchu. Natomiast podczas ruchu po łuku poziomym, oprócz tych sił, występuje również siła odśrodkowa, skierowana poziomo na zewnątrz łuku i zaczepiona w środku ciężkości pojazdu. Siła ta usiłuje wyrzucić pojazd lub też przesunąć go poprzecznie po jezdni. Przeciwstawia się temu siła tarcia pomiędzy oponami i nawierzchnią.

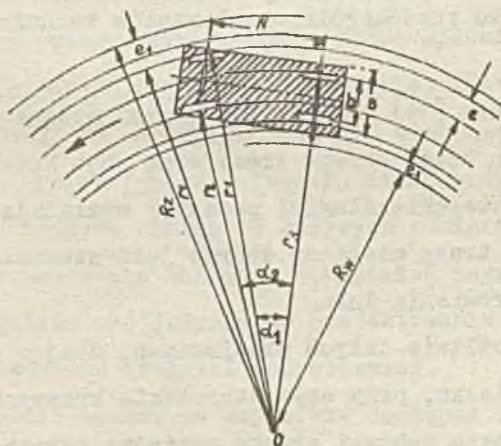
Wielkość siły odśrodkowej w KG (N) określa się z równania:

$$S = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot R} \quad /3.1/$$

- gdzie: G - ciężar pojazdu brutto w KG (N),
 v - szybkość ruchu w m/s,
 g - przyspieszenie siły ciężkości w m/s², g=9.81 m/s²,
 R - promień łuku kołowego w m.

W czasie ruchu po łuku oś podłużna pojazdu nie jest równoległa do osi drogi. Skutkiem tego szerokość jezdni, wystarczająca do bezpiecznego umieszczenia samochodu na prostej, nie wystarcza na takież umieszczenie go w łuku. Występuje więc konieczność odpowiedniego poszerzenia jezdni w łuku poziomym /rys. 3.1/.

Ruch pojazdu po łuku poziomym jest ruchem po torze krzywoliniowym, przy czym poszczególne koła poruszają się po obwodach zakreślonych przez siebie łuków poziomych o wspólnym środku. Jest to warunek poruszania się pojazdu po torze krzywoliniowym przy jednoczesnym obracaniu się wszystkich kół. Ten warunek ruchu osiąga się przez odpowiednią konstrukcję pojazdu, polegającą na tym, że prostopadłe do płaszczyzn poszczególnych kół, przechodzące przez ich środki, przecinają się w jednym punkcie, będącym środkiem łuków kołowych zakreślonych przez poszczególne koła pojazdu /rys:3.1/.



Rys. 3.1. Ruch samochodu na łuku kołowym [16]

Aby pojazd nie został przesunięty po jezdni na łuku powinna być spełniona w przybliżeniu nierówność:

$$S < G \cdot \varphi_2 \quad /3.2/$$

- gdzie: S - siła odśrodkowa w KG(N),
 G - ciężar pojazdu brutto w KG(N),
 φ_2 - współczynnik tarcia poprzecznego między oponą pojazdu i nawierzchnią /współczynnik przyczepności/.

Rozpatrując warunki równowagi pojazdu przy przejeździe przez łuk przeprowadza się następujące rozumowanie: jeżeli przyjmie się za oś x płaszczyznę jezdni, położonej w pochyleniu poprzecznym jednospadowym, a za oś y prostopadłą do jezdni w jej środku, to

dla uzyskania warunków równowagi poruszającego się pojazdu jest niezbędne, aby suma reu-
tów na oś x wszystkich sił działających na pojazd była równa zero. Zgodnie z rysunkiem
3.2. będzie:

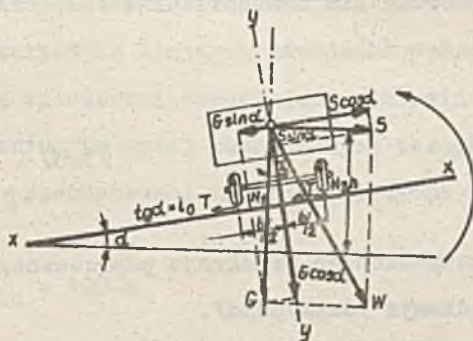
$$S \cdot \cos \alpha - G \cdot \sin \alpha < (G \cdot \cos \alpha + S \cdot \sin \alpha) \cdot \varphi_2 \quad /3.3/$$

Dla daszkowego przekroju poprzecznego na łuku warunki ruchu wynoszą:

$$S \cdot \cos \alpha + G \cdot \sin \alpha < (G \cdot \cos \alpha - S \cdot \sin \alpha) \cdot \varphi_2 \quad /3.4/$$

Przekształcając powyższe nierówności otrzymuje się:

$$\frac{S}{G} < \frac{\varphi_2 + \operatorname{tg} \alpha}{1 - \varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad \text{i} \quad \frac{S}{G} < \frac{\varphi_2 - \operatorname{tg} \alpha}{1 + \varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad /3.5/$$



Rys.3.2. Warunki równowagi pojazdu przy przejeździe przez łuk [16]

Ponieważ wielkość współczynnika tarcia poprzecznego φ_2 równa się 0,7-0,1, natomiast wielkość pochylenia poprzecznego jezdni $\operatorname{tg} \alpha = i_0$, najczęściej spotykana na prostej, wynosi 0,02-0,03, zatem wielkość iloczynu $\varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha$ waha się w granicach 0,021-0,002, czyli wartość mianownika jest bliska jedności i dlatego może być pominięta. Wzory /3.5/ można przedstawić więc jako

$$\frac{S}{G} < \varphi_2 \pm i_0 \quad /3.6/$$

Podstawiając za S jej wartość z równania /3.1/ otrzymuje się nierówność, na podstawie której określa się wielkość promienia łuku poziomego, czyli

$$\frac{v^2}{g \cdot R} < \varphi_2 \pm i_0 \quad /3.7/$$

Najistotniejszym elementem konstrukcyjnym przekroju poprzecznego dróg w łuku jest nadanie prawidłowego pochylenia jednostronnego jezdni /przechyłki/. Zależnie od rodzaju ruchu na drodze i jego szybkości stosuje się pochylenie wynikające z obliczeń lub ograniczone. Polski normatyw dopuszcza największe pochylenie poprzeczne jezdni równe $i_0 = 0,006$ [16].

Jednostronne pochycenie poprzeczne jezdni na całej długości łuku jest jednakowe, natomiast przejście z przekroju daszkowego na prostej do przekroju jednostronnego na łuku kołowym wykonuje się zazwyczaj na długości krzywej przejściowej. Konstrukcję takiego przejścia nazywa się rampą drogową.

Na krzywoliniowym odcinku trasy jezdni powinna być poszerzona ze względu na nierównoległe położenie osi podłużnej pojazdu do osi jezdni. Poszerzenie to jest funkcją długości promienia łuku i wpływa na kształtowanie przekrojów poprzecznych, szczególnie w łukach o promieniach $R < 250$ m.

W warunkach polskich wielkość poszerzenia oblicza się ze wzoru doświadczalnego [16]:

$$e = \frac{50}{R} \quad /3.8/$$

Wielkość promienia łuku poziomego można określić na podstawie wzoru /3.7/. Najmniejszym promieniem łuku, przy którym jeszcze nie nastąpi zarzucenie samochodu poruszającego się po łuku z szybkością v , będzie więc zależność

$$R = \frac{v^2}{g \cdot (\rho_2 + 1_0)} \quad /3.9/$$

Znak plus stosuje się dla jednospadowego przekroju poprzecznego, natomiast znak minus - dla dróg o przekroju dwuspadowym /daszkowym/.

Ostatecznie najmniejszy dopuszczalny promień łuku wyznacza się ze wzoru [14]

$$R = \frac{v^2}{g \cdot (\mu + 1_0)} \quad /3.10/$$

w którym μ oznacza współczynnik siły poprzecznej, definiowany jako stosunek absolutnej siły poprzecznej do ciężaru pojazdu G , a V prędkość pojazdu wyrażona w km/h.

Największą dopuszczalną szybkość pojazdu na łuku określa wzór

$$v = \sqrt{g \cdot R \cdot (\mu + 1_0)} \quad /3.11/$$

Warto podkreślić, że na parametry geometryczne toru kolejowego mają wpływ jeszcze następujące dodatkowe czynniki: krzywizna toru w planie $K = R^{-1}$ i w profilu $K_V = R_V^{-1}$ oraz długość L krzywizn i wielkość przechyłki poprzecznej h . Krzywizny toru w profilu podłużnym w niniejszej pracy nie omawia się. Tak więc parametry R , L i h całkowicie określają kształt trasy drogi żelaznej w funkcji szybkości V .

Jak wiadomo, w celu uniknięcia gwałtownego powstawania siły odśrodkowej przy przejściu pojazdu z prostej w łuk i w celu wykonania stopniowego podwyższenia zewnętrznej szyny do poziomu przechyłki występującej w łuku stosuje się krzywą przejściową. W takiej sytuacji zmiana krzywizny i przechyłki musi następować w sposób ciągły i pełny. Zmiana krzywizny K w rzucie poziomym krzywej przejściowej musi być proporcjonalna do zmiany wysokości przechyłki z [100] :

$$K = A \cdot z$$

/3.12/

gdzie: $K = R^{-1} \approx \frac{d^2 y}{dx^2}$

A - współczynnik proporcjonalności

z - rzędna rzutu pionowego krzywej przejściowej
/w układzie współrzędnych prostokątnych/.

Do zapewnienia łagodnego przebiegu pojazdu w punktach początkowych /PKP/ i końcowym /KKP/ krzywej przejściowej muszą być spełnione warunki brzegowe, które zabezpieczają ciągłość toku szynowego, wykluczają załomy toku szynowego oraz eliminują gwałtowną zmianę krzywizny toku szynowego w płaszczyźnie pionowej i poziomej.

W tabeli 1 wyszczególniono warunki brzegowe, ze spełnienia których wynika, że przestrzena krzywa przejściowa w żadnym z obu rzutów w układzie współrzędnych prostokątnych /poziomym i pionowym/ nie jest linią prostą.

Szczegółową charakterystykę krzywych przejściowych przedstawiono w następnym rozdziale. Tutaj podaje się zależności określające minimalną długość krzywych przejściowych, wynikające z wymienionych wyżej podstawowych warunków fizycznych.

Dla liniowej rampy przechyłkowej minimalna długość krzywej przejściowej wynosi

$$L_{\min} = 400 \cdot h$$

/3.13/

a dla parabolicznej rampy przechyłkowej przyjmuje się

$$L_{\min} = 800 \cdot h$$

/3.14/

Tabela 1

Warunek	Określenie	PKP	KKP	Uwagi
1	y	0	y_0	zabezpiecza ciągłość toku szynowego
2	$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha$	0	α_0	wyklucza załomy toku szynowego
3	$\frac{d^2 y}{dx^2} = K = R^{-1}$	0	R^{-1}	eliminuje gwałtowną zmianę krzywizny toku szynowego
4	$z = A \cdot K$	0	h_0	zabezpieczenie ciągłości toku szynowego
5	$\frac{dz}{dx} = A \cdot \frac{dK}{dx} = A \cdot \frac{d^3 y}{dx^3}$	0	0	wyklucza załomy toku szynowego
6	$\frac{d^2 z}{dx^2} = A \cdot \frac{d^2 K}{dx^2} = A \cdot \frac{d^4 y}{dx^4}$	0	0	eliminuje gwałtowną zmianę krzywizny

Inne zależności wynikają z warunków związanych z szybkością jazdy pociągów. Jeden warunek wynika z ograniczenia szybkości wznoszenia się koła po rampie przychyłkowej f_{dop} , drugi warunek dotyczy ograniczenia szybkości zmiany wartości nie zrównoważonej przechyłki, co jest jednoznaczne z ograniczeniem szybkości wzrostu nie zrównoważonego przyspieszenia - ψ_{dop} [100]. Są to więc wzory określające minimalną długość krzywej przejściowej:

$$L_{min} = f_{dop}^{-1} \cdot h_0 \cdot V_{max} = m \cdot h_0 \cdot V_{max} \quad /3.15/$$

$$L_{min} = \psi_{dop}^{-1} \cdot \frac{g}{s} \cdot \bar{h} \cdot V_{max} = \bar{m} \cdot \bar{h} \cdot V_{max} \quad /3.16/$$

gdzie: $f_{dop} \geq i \cdot V$, w mm/s,

i - pochylenie rampy,

$$m = f_{dop}^{-1}$$

$$\psi_{dop} \geq \frac{g}{s} \cdot \bar{i}_{max} \cdot V, \text{ w m/s}^3 \quad /3.17/$$

s - szerokość toru,

$\bar{h} = 153 \cdot a_0$, określa niedomiar przechyłki,

$$\bar{m} = \psi_{dop}^{-1} \cdot \frac{g}{s}$$

3.2. Krzywa przejściowa

Zadaniem krzywych przejściowych jest stopniowe przeprowadzenie pojazdu z prostej w łuk i na odwrót, lub też z jednego łuku w inny. Gdyby nie stosować krzywej przejściowej, to działanie siły odśrodkowej spowoduje boczne uderzenie pojazdu przy wjeździe z prostej na łuk.

Kształt krzywej przejściowej wynika z warunku kierowania pojazdem podczas przejazdu z prostej w łuk. Kierowca stopniowo skręca kierownicę ruchem jednostajnym, zwiększając kąt skrętu do wielkości potrzebnej dla ruchu po łuku. Aby to osiągnąć należy zużyć tym więcej czasu i pokonać tym większą odległość, im mniejszy jest promień łuku i im większa jest szybkość poruszania się pojazdu. Przyjmuje się jako zasadę, że szybkość ruchu na trasie prostej, po krzywej przejściowej i na łuku jest niezmienna. Jednocześnie zakłada się, że koła pojazdu są odchylane od kierunku prostego ze stałą prędkością kątową, a początek obrotu kierownicy zgadza się z momentem wjazdu na krzywą przejściową.

Ruch pojazdu po krzywej przejściowej można rozpatrywać jako wynik działania dwóch niezależnych ruchów [14] :

1/ ruchu postępowego, który odbywa się z prędkością:

$$v = \frac{dL}{dt} \quad /3.18/$$

gdzie L jest długością odpowiedniego odcinka krzywej przejściowej,

2/ ruchu obrotowego z prędkością kątową:

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} \quad /3.19/$$

Kąt obrotu kół pojazdu określa się z rysunku 3.3:

$$\alpha = \text{arc tg } \frac{s}{R} \quad /3.20/$$

gdzie: s - odstęp osi pojazdu,

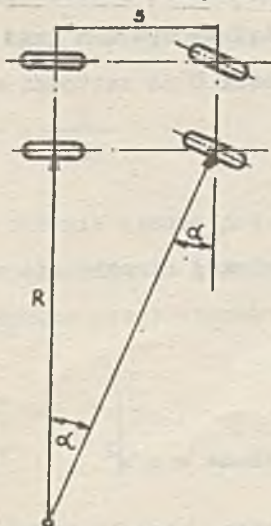
R - promień skrętu pojazdu w dowolnym punkcie krzywej /promień krzywizny krzywej przejściowej/.

Ponieważ wielkość s jest znacznie mniejsza od wielkości promienia R, który na początku krzywej przejściowej jest zbliżony do nieskończoności, to można przyjąć:

$$\alpha = \frac{s}{R} \quad /3.21/$$

Warunek ten spełnia między innymi klotoida.

Długość krzywej przejściowej określa się z warunku stopniowego, dostatecznie łagodnego wzrostu siły odśrodkowej od wielkości równej zero na prostej do pełnej wielkości na łuku kołowym. Praktycznie ocenia się, że czas, potrzebny na przejazd po krzywej



Rys.3.3. Kąt obrotu kół i promień skrętu pojazdu [14]

przejściowej, wynosi 1 sekundę /dla ruchu z małymi szybkościami/. Dla szybkości większych czas przejazdu wynosi 2 sekundy. Wychodząc z tych warunków długość krzywej przejściowej można w przybliżeniu określić w następujący sposób.

Oznaczając czas przejazdu przez krzywą przejściową o długości L przez t , to dla jazdy z prędkością V km/h i czasu $t = 2$ s otrzymuje się:

$$L = V \cdot \frac{1000}{3600} \cdot 2 = 0,556 \cdot V \text{ metrów} \quad /3.22/$$

Prędkość kątowna powinna zwiększać się nie przekraczając pewnej wielkości. Oznaczając przyspieszenie kątowe przez $b = \frac{d\omega}{dt}$ oraz biorąc pod uwagę, że $V = \frac{L}{t}$, $R = \frac{L}{\alpha}$, $\alpha = b \cdot t^2$, otrzymuje się:

$$R = \frac{L}{\alpha} = \frac{L}{b \cdot t^2} = \frac{v^2}{b \cdot L} \quad /3.23/$$

Dopuszczalne przyspieszenie kątowe dla ruchu samochodowego nie jest dokładnie ustalone. Waha się ono w granicach 0.02-0.05 radianów na 2 s^2 lub też $1^\circ\text{-}3^\circ$ na 1 s^2 .

Jak wiadomo na krzywej przejściowej powstaje i stopniowo wzrasta siła odśrodkowa. Ten stopniowy wzrost nie powinien przekraczać pewnej wielkości dopuszczalnej z punktu widzenia wygody jazdy pasażerów /wygody ruchu/. Decydujący jest tu wzrost przyspieszenia siły odśrodkowej, który wywołuje u pasażerów pojazdu uczucie nieprzyjemnej jazdy.

Dopuszczalną wielkość przyspieszenia siły odśrodkowej dla transportu kolejowego przyjmuje się w granicach $k=0,3\text{-}0,6 \text{ m/s}^3$. Dla dróg samochodowych przeznaczonych do ruchu szybkiego wielkość tę przyjmuje się w granicach $k=0,5\text{-}1,0 \text{ m/s}^3$. Dla dróg publicznych przeznaczonych również do ruchu mieszanego za najbardziej odpowiednią uznaje się wielkość $k=0,6 \text{ m/s}^3$ [14].

Przyspieszenie siły odśrodkowej dla ruchu po krzywej przejściowej wynosi $a = \frac{v^2}{R}$. Ze zmniejszeniem się promienia krzywizny R_x przyspieszenie to wzrasta, osiągając maksimum dla początku łuku kołowego, czyli $a = \frac{v^2}{R}$.

Zakładając, że długość krzywej przejściowej powinna być taka, aby przyspieszenie siły odśrodkowej nie przekraczało wartości $k=0,6 \text{ m/s}^3$, to czas potrzebny do równomiernego wzrostu przyspieszenia od wartości 0 do wartości maksymalnej $a = \frac{v^2}{R}$ wyniesie:

$$t = \frac{v^2}{R \cdot k} \quad /3.24/$$

a stąd potrzebną długość krzywej przejściowej określa się ze wzoru:

$$L = v \cdot t = \frac{v^3}{R \cdot k} \quad /3.25/$$

we wzorach /3.24/ i /3.25/ v jest wyrażona w m/s^2

W polskiej praktyce projektowania tras komunikacyjnych stosuje się dwa typy krzywych przejściowych. Jako krzywą przejściową w budownictwie drogowym stosuje się kłotoide, a w budownictwie kolejowym - parabolę trzeciego stopnia. Można także projektować inne krzywe przejściowe.

Klotoida

Warunki geometryczne i dynamiczne ruchu pojazdu po trasie krzywoliniowej wymagają, aby przejście od jednego, skończonego lub nieskończonego, promienia krzywizny do innego było ciągle i aby na krzywej przejściowej krzywizna wzrastała proporcjonalnie do długości łuku.

Warunki te spełnia ściśle na całej swej długości klotoida, której krzywizna $K = R^{-1}$ rośnie proporcjonalnie do długości łuku, mierzona od punktu stałego do rozpatrywanego punktu na krzywej.

Warunek proporcjonalności krzywizny do długości łuku można napisać w postaci:

$$L = a^2 \cdot K \quad /3.26/$$

gdzie a jest współczynnikiem proporcjonalności.

Wiedząc, że $K = R^{-1}$ otrzymuje się

$$L \cdot R = a^2 = \text{const} \quad /3.27/$$

Równanie /3.27/ jest tak zwanym naturalnym równaniem klotoidy, tj. niezależnym od układu współrzędnych.

Dla każdego dowolnego punktu P klotoidy o danym parametrze a rozpatruje się trzy wielkości zasadnicze: R - promień krzywizny, L - długość łuku i τ - kąt zwrotu stycznej poprowadzonej do klotoidy w tym punkcie /rys.3.4/.

Wychodząc z definicji krzywizny

$$K = R^{-1} = \left| \frac{d\tau}{dL} \right| \quad /3.28/$$

znajduje się zależność między tymi wielkościami, czyli

$$\tau = \frac{L^2}{2 \cdot a^2} = \frac{L}{2 \cdot R} \quad /3.29/$$

Dla wytyczenia klotoidy w terenie trzeba jej równanie naturalne /3.27/ wyrazić we współrzędnych prostokątnych. Współrzędne te otrzymuje się przez całkowanie zależności otrzymanych z elementarnego trójkąta prostokątnego /rys.3.4/, czyli

$$\left. \begin{aligned} dx &= dL \cdot \cos \tau \\ dy &= dL \cdot \sin \tau \end{aligned} \right\} \quad /3.30/$$

Wyrażając prawe strony tych równań jako funkcje zmiennej L , następnie rozwijając je w szereg z odpowiednio dobranym przybliżeniem, a następnie całkując kolejne wyrazy rozwinięcia szeregu otrzymuje się wzory na współrzędne prostokątne klotoidy, które po pewnych przekształceniach można zapisać w postaci szeregów nieskończonych

Wzory te można też dostosować do argumentu τ

$$\frac{X}{a} = \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} \cdot \frac{\tau^{2k-2}}{(2k-2)! \cdot (4k-3)}$$

/3.32/

$$\frac{Y}{a} = \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} \cdot \frac{\tau^{2k-1}}{(2k-1)! \cdot (4k-1)}$$

gdzie $l = \frac{l}{a}$; a za początek układu współrzędnych klotoidy przyjmuje się punkt przecięcia krzywej, $X=Y=0$ oraz $\tau = 0$, a $R = \infty$. W punkcie tym klotoida jest styczna do osi X.

Dwa elementy klotoidy określają ją jednoznacznie.

Inne wielkości wynikają z rysunku 3.5 i są określane następującymi wzorami:

Odcięta X_S środka koła krzywizny w punkcie P klotoidy

$$X_S = X - R \cdot \sin \tau \quad /3.33/$$

Odsunięcie H koła krzywizny od stycznej głównej

$$H = Y - R \cdot (1 - \cos \tau) \quad /3.34/$$

Rzędna Y_S środka koła krzywizny

$$Y_S = R + H = Y + R \cdot \cos \tau \quad /3.35/$$

Długość T stycznej głównej /odległość od początku układu do punktu przecięcia się normalnej ze styczną główną/

$$T = X + Y \cdot \operatorname{tg} \tau \quad /3.36/$$

Długa styczna /odległość od początku układu do punktu przecięcia się stycznej głównej ze styczną w punkcie P klotoidy/

$$T_D = X - Y \cdot \operatorname{ctg} \tau \quad /3.37/$$

Krótką styczna /odcinek od punktu P do punktu przecięcia się jej ze styczną główną/

$$T_K = \frac{Y}{\sin \tau} \quad /3.38/$$

Normalna

$$N = \frac{Y}{\cos \tau} \quad /3.39/$$

Współrzędne biegunowe dowolnego punktu klotoidy

$$\rho = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad \omega = \operatorname{arctg} \frac{Y}{X} \quad /3.40/$$

$$h_x = L_x \cdot \alpha$$

gdzie: α - wielkość kąta pochylenia, toku wewnętrznego na przejściu od położenia normalnego do położenia podwyższonego,

można powyższe zależności wstawić do proporcji /3.41/ otrzymując

$$R_x = \frac{g \cdot v^2}{\alpha \cdot g} \cdot \frac{1}{L_x} = \frac{C}{L_x} \quad /3.43/$$

gdzie

$$C = \frac{g \cdot v^2}{\alpha \cdot g}$$

Wielkość promienia w końcowym punkcie P krzywej przejściowej określa się analogicznie, wiedząc, że $L \approx l$

$$R = \frac{C}{L} \quad /3.44/$$

Z powyższego równania oblicza się długość rzutu paraboli stopnia trzeciego l na oś x , odpowiadającą długości L krzywej przejściowej, a więc

$$l = \frac{C}{R} \quad /3.45/$$

Weźmy pod uwagę dwa punkty krzywej, położone bardzo blisko siebie, w odległości wzdłuż krzywej ΔL_x .

Różnica kątów $\Delta \psi = \psi_2 - \psi_1$, utworzonych przez styczne w tych punktach oraz przyrosty ΔX i ΔY współrzędnych między tymi punktami będą również bardzo małe. Przechodząc dalej do wielkości nieskończenie małych można po pewnych przekształceniach otrzymać:

$$\Delta Y = \frac{L^2}{20} \cdot \Delta X \quad /3.46/$$

Następnie przyjmując, że $\Delta Y \cong dY$ oraz $\Delta X \cong dX$, i zamieniając L_x na X całkuje się powyższe równanie i otrzymuje

$$Y = \frac{X^3}{60} + C_1 \quad /3.47/$$

gdzie stała całkowania C_1 równa się zeru ($C_1=0$).

Wstawiając do powyższego równania na miejsce C wartość obliczoną ze wzoru /3.45/ otrzymuje się ostatecznie związek między współrzędnymi X i Y poszczególnych punktów krzywej przejściowej, w postaci paraboli stopnia trzeciego, czyli

$$Y = \frac{X^3}{6 \cdot l \cdot R} \quad /3.48/$$

Kąt zwrotu stycznych do paraboli sześcienniej określa się, przez analogię do podanego wyżej wzoru, z następującej zależności

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{1^2}{2C} = \frac{1^2}{2l \cdot R} = \frac{1}{2R} \quad /3.49/$$

Ze wzoru /3.48/ po podstawieniu kolejno $X = 1$ oraz $X = \frac{1}{2} \cdot 1$ można na podstawie rysunku 3.6 wyprowadzić charakterystyczną właściwość paraboli sześcienniej polegającą na tym, że styczna w dowolnym jej punkcie odcina na osi X jedną trzecią odległości między punktem początkowym O krzywej, a rzutem punktu styczności na oś X /punkt P/.

Jeżeli w równaniu /3.48/ współczynnik $\frac{1}{6 \cdot l \cdot R}$ oznaczy się przez k, to wówczas równanie krzywej przejściowej przyjmie ogólną postać

$$Y = kX^3 \quad /3.50/$$

Biorąc pod uwagę postać ogólną równania paraboli stopnia trzeciego wyrażoną wzorem /3.50/ oraz wychodząc z definicji krzywizny krzywej, która wyraża się wzorem

$$K = R^{-1} = \frac{|Y''(X)|}{(1 + (Y'(X))^2)^{3/2}} \quad /3.51/$$

zostanie wyprowadzony wzór na długość paraboli stopnia trzeciego. Ze wzoru /3.50/ znajduje się pierwszą i drugą pochodną

$$Y' = 3kX^2 = \operatorname{tg} \psi \quad X = \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \psi}{3k}} \quad ; \quad k = \frac{\operatorname{tg} \psi}{3X^2} \quad /3.52/$$

$$Y'' = 6 \cdot k \cdot X \quad /3.53/$$

i podstawia się do wzoru /3.51/, wtedy

$$K = 6 \cdot k \cdot X \cdot \cos^3 \psi \quad /3.54/$$

Podstawiając dalej za $X = \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \psi}{3k}}$ otrzymuje się

$$K = 6 \cdot k \cdot \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \psi}{3k}} \cdot \cos^3 \psi = \sqrt{12 \cdot k \cdot \cos^6 \psi \cdot \operatorname{tg} \psi} \quad /3.55/$$

Aby znaleźć maksimum i minimum krzywizny paraboli trzeba obliczyć pierwszą i drugą pochodną.

$$K' = \frac{3k \cdot \cos \psi \cdot (1 - 6 \sin^2 \psi)}{\sqrt{3k \cdot \operatorname{tg} \psi}} \quad /3.56/$$

Miejsca zerowe pochodnej K' wynoszą $\psi_1 = 90^\circ$ i $\psi_2 = 24^\circ 05' 42''$

Dla $\psi_1 = 90^\circ$ krzywizna paraboli nie jest określona. Natomiast dla $\psi_2 = 24^\circ 05' 42''$ krzywizna paraboli osiąga maksimum, ponieważ $f'(\psi_2) = 0$, $f''(\psi_2) \neq 0$ i $f''(\psi_2) < 0$. Tak więc w punkcie, dla którego K osiąga maksimum, promień R jest minimalny. I tak

$$R_{\min} = \frac{1}{2\cos^2 \psi \cdot \sqrt{3 \cdot k \cdot \operatorname{tg} \psi}} \quad /3.57/$$

Wiedząc, że $k = \frac{1}{61R}$ oraz podstawiając w powyższym wzorze dla $\psi = 24^\circ 05' 42''$ odpowiednie wartości funkcji, otrzymuje się zależność między długością rzutu paraboli stopnia trzeciego a długością promienia. Czyli

$$R_{\min} = 1.9121 \cdot l \quad /3.58/$$

Ze wzorów /3.57/ i /3.58/ widać, że przy projektowaniu krzywej przejściowej w postaci paraboli sześcienniej można przyjąć w przybliżeniu, że jej długość powinna być co najmniej dwukrotnie mniejsza od projektowanego minimalnego promienia łuku kołowego dla maksymalnej wartości ψ , a praktycznie kilka lub kilkanaście razy mniejsza, zależnie od wartości ψ .

Długość łuku paraboli stopnia trzeciego określa się ze znanego wzoru na długość łuku krzywej

$$L = \int_0^1 (1 + Y'(x)^2)^{1/2} dx \quad /3.59/$$

Podstawiając za Y' wartość ze wzoru /3.52/ oraz rozwijając funkcję podcałkową w szereg otrzymuje się

$$L = l \left(1 + \frac{1}{10} \left(\frac{l}{2R}\right)^2 - \frac{1}{72} \left(\frac{l}{2R}\right)^4 + \frac{1}{208} \left(\frac{l}{2R}\right)^6 - \frac{5}{2176} \left(\frac{l}{2R}\right)^8 + \dots \right) \quad /3.60/$$

Obliczenia rzutu paraboli stopnia trzeciego na osi X , w dotychczasowej praktyce wykonuje się najczęściej ze wzoru /3.48/, przyjmując długość krzywej przejściowej L równą jej rzutowi l na oś X , czyli $l = L$. Takie założenie jest słuszne, dla krótkich krzywych przejściowych l i dużych promieni R . Natomiast dla dłuższych krzywych przejściowych l i małych promieni zaleca się obliczać długość rzutu l z następującego wzoru [92]

$$l = L - 0.1 \cdot L \left(\frac{L}{2R}\right)^2 \quad /3.61/$$

Bardziej dokładnie wyznaczy się długość rzutu paraboli ze wzoru /3.60/ w zależności od przyjętego równania paraboli. Rozwiązanie takich równań dokonuje się według metody przedstawionej w rozdziale 4.

Dla wzorów /3.60/ i /3.61/ przeprowadzono analizę porównawczą dla kilku wartości krzywych przejściowych i dla różnych długości promieni. Z analizy tej wynikają poniższe wnioski.

1. Należałoby przyjąć jako zasadę obliczanie długości rzutu paraboli stopnia trzeciego,

u nie przyjmowanie $l=L$.

2. Stosowanie wzoru /3.61/ jest wystarczająco dokładne dla promieni dużych, to znaczy jeżeli stosunek długości krzywej przejściowej L do długości promienia jest mniejszy od $1/10$.
3. Do obliczania długości rzutu paraboli l należałoby używać wzoru /3.60/, dokładniejszego od wzoru /3.61/.

W mniejszym zakresie jako krzywe przejściowe stosuje się inne krzywe, a szczególnie na skrzyżowaniach i węzłach miejskich oraz przy zjazdach z autostrad. Można tu wymienić takie krzywe, jak: lemniskata, sinusoida, elipsa, parabola stopnia drugiego, spirala logarytmiczna, łuki koszarowe oraz krzywe, które jeszcze nie znalazły praktycznego zastosowania, ale zasługują na uwagę, gdyż wprowadzają elementy optymalizacji, szczególnie jeżeli chodzi o warunki dynamiki ruchu i kształt geometryczny. Do tych ostatnich należy m.in. krzywa /IK/ Pawłowicza [88] .

4. MATEMATYCZNE PODSTAWY I ALGORYTMY MODUŁÓW OBLICZENIOWYCH

Jak już powiedziano, w polskiej praktyce projektowania tras komunikacyjnych jako krzywe przejściowe stosuje się klotoidę w budownictwie drogowym i parabolę stopnia trzeciego w budownictwie kolejowym. Obydwie krzywe w połączeniu z łukami kołowymi tworzą odpowiednie moduły opisywanego systemu.

Pod pojęciem moduł obliczeniowy rozumiana jest samodzielna jednostka programowa, dotycząca konkretnego rozwiązania krzywych, np. łuk kołowy, biklotoida itp. Moduł obliczeniowy stanowi jednostkę strukturalną systemu GT, a jednocześnie w razie potrzeby może być samodzielną jednostką programową. Poza tym wyróżnia się moduły elementarne, które są jednostkami składowymi modułów obliczeniowych.

Łuk kołowy

Łuk kołowy jest podstawową krzywą, najczęściej stosowaną w załamaniu dwóch odcinków prostych.

Do jednoznacznego określenia elementów łuku kołowego wystarczy znać dwie z następujących wielkości:

- R - promień łuku,
- ALFA - kąt środkowy, zwany także kątem zwrotu stycznych lub kątem załamania /zwrotu/ trasy,
- L - długość łuku,
- T - długość stycznej.

Zależności między tymi wielkościami oraz obliczanie pozostałych dokonuje się według poniższych wzorów /rysunek 4.1/:

1/ długość stycznej

$$T = R \cdot \operatorname{tg}(\operatorname{ALFA}/2)$$

/4.1/

2/ odległość wierzchołkowa

$$WS = R \cdot (\text{SEC}(\text{ALFA}/2) - 1) \quad /4.2/$$

3/ długość połowy cięciwy

$$PB = X = R \cdot \text{SIN}(\text{ALFA}/2) \quad /4.3/$$

4/ długość strzałki

$$BS = Y = R \cdot (1 - \text{COS}(\text{ALFA}/2)) \quad /4.4/$$

5/ długość cięciwy

$$PK = 2 \cdot PB \quad /4.5/$$

6/ długość cięciwy dla połowy łuku

$$PS = 2 \cdot R \cdot \text{SIN}(\text{ALFA}/4) \quad /4.6/$$

7/ długość stycznej dla połowy łuku /styczna pomocnicza/

$$T1 = PW1 = R \cdot \text{TG}(\text{ALFA}/4) \quad /4.7/$$

8/ długość łuku kołowego

$$L = R \cdot \text{ALFA} \quad /4.8/$$

Z czterech podanych wyżej podstawowych elementów, określających łuk kołowy R, ALFA, L, T tworzy się sześć kombinacji po dwie wielkości, które pozwalają jednoznacznie wyznaczyć pozostałe.

1/ Dane: ALFA i L.

Szukane: R i T, które oblicza się odpowiednio ze wzorów /4.8/ i /4.1/. Pozostałe wielkości określa się zgodnie z wzorami podanymi wyżej.

2/ Dane: ALFA i R.

Szukane: L i T, które znajduje się z tych samych wzorów, co w punkcie 1/.

3/ Dane: ALFA i T.

Szukane: R i L, R oblicza się po uprzednim przekształceniu wzoru /4.1/, a L z wzoru /4.8/ i dalej, jak w p.1/.

4/ Dane: L i R.

Szukane: ALFA i T, które określa się z wzorów /4.8/ i /4.1/ i dalej, jak w p. 1/.

5/ Dane: R i T.

Szukane: ALFA i L, ALFA oblicza się z przekształcenia wzoru /4.1/ czyli

$$ALFA = 2 \cdot ARCTAN (T/R) \quad /4.9/$$

a L z wzoru /4.8/. Pozostałe wielkości łuku wyznacza się zgodnie z wzorami /4.1/ - /4.8/.

6/ Dane: L i T.

Szukane: ALFA i R.

Wiedząc, że ALFA = L/R oraz podstawiając tę zależność do wzoru /4.1/, otrzymuje się

$$T = R \cdot TG (L/2R) \quad /4.10/$$

Rozwiązanie tych równań algebraicznych wymaga metod numerycznych. Jedną z nich jest metoda Newtona [96]

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \quad /4.11/$$

Wzór /4.10/ przedstawia po rozwinięciu w szereg równanie algebraiczne. Poszukuje się w nim wielkości R. Przybliżona metoda Newtona polega na aproksymowaniu wyrażeń równań algebraicznych przez wielomiany, a następnie na rozwiązywaniu nowo powstałego równania algebraicznego.

Algorytm postępowania jest następujący.

1. Przyjęcie wartości początkowej R_0 .

$$R_0 = T \sqrt{\frac{2T}{3(2T-L)}}$$

- 2. Korzystając ze wzoru /4.11/ wykonać kolejne kroki poprawiające rozwiązanie.
- 3. Sprawdzić stosunek $f(R) : f'(R)$. Jeżeli nie ma on już wpływu na żadaną dokładność, postępowanie uważa się za zakończone.

Powyższe wzory określają elementy łuku kołowego dla punktów głównych /punkt początkowy, środkowy i końcowy/. Przy kompleksowym rozpatrywaniu osi trasy ważnym momentem jest też wyznaczenie ich pikietażu /kilometrażu/. Pikietaż ten określa się następująco: odejmuje się od wartości pikietażu wierzchołka długość stycznej, otrzymując pikietaż początku łuku, a następnie dodając do niego połowę długości łuku i całą długość uzyskuje się odpowiednio pikietaż środka i końca łuku.

Do określenia współrzędnych punktów, niezbędnych do tyczenia w terenie łuku kołowego, zastosowano metodę prostokątną według okrągłego pikietażu.

Podwójny łuk kozzowy

Składa się z dwóch łuków kołowych o różnych promieniach. Aby uniknąć załamania trasy dwa sąsiednie łuki kołowe muszą mieć w punkcie ich styku T /rys. 4.2/ wspólną styczną,

wskutek tego ich promienie w tym punkcie ułożą się na jednej prostej T1.

W podwójnym łuku koszowym zachodzą tylko 3 matematyczne warunki wieloboku zamkniętego, powstałego ze stycznych głównych T1 i T2, z promienia początkowego R1 i końcowego R2 oraz różnicy sąsiednich promieni S1S2=R1-R2. Na podstawie tych warunków otrzymuje się następujące równania:

$$ALFA = ALFA1 + ALFA2 \quad /4.12/$$

$$T1 = (R1-R2) \cdot SIN(ALFA1) + R2 \cdot SIN (ALFA) - T2 \cdot COS (ALFA) \quad /4.13/$$

$$R1 = (R1-R2) \cdot COS(ALFA1) + R2 \cdot COS(ALFA) + T2 \cdot SIN (ALFA) \quad /4.14/$$

W powyższych równaniach występuje 7 wielkości: ALFA, ALFA1, ALFA2, T1, T2, R1, R2. Aby jednoznacznie określić położenie punktów głównych łuku koszowego, czyli punktów P, T, K muszą być dane co najmniej 4 z tych wielkości.

W praktyce spotyka się następujące przypadki określające wielkości początkowe:

1. Dane: ALFA, R1, R2, i T1, czyli początek łuku P.

Szukane: kąty ALFA1 i ALFA2 oraz styczna T2.

Wzory:

$$COS (ALFA2) = \frac{T1 \cdot SIN (ALFA) + R1 \cdot COS (ALFA) - R2}{R1 - R2} \quad /4.15/$$

$$COS (ALFA1) = \frac{R1 - R2 \cdot COS (ALFA) - T2 \cdot SIN (ALFA)}{R1 - R2} \quad /4.16/$$

$$T2 = R1 \cdot SIN (ALFA) - T1 \cdot COS (ALFA) - (R1 - R2) \cdot SIN (ALFA2) \quad /4.17/$$

2. Dane: ALFA, R1, R2 i T2.

Szukane: ALFA1, ALFA2 i T1.

Poszukiwane wielkości określa się z następujących wzorów: ALFA1 z /4.16/, T1 z /4.13/, a ALFA2 z /4.15/.

3. Dane: ALFA, T1, T2 i R1.

Szukane: R2, ALFA1 i ALFA2.

Wzory:

$$TG (ALFA2/2) = \frac{R1 \cdot (1 - COS (ALFA)) - T1 \cdot SIN (ALFA)}{R1 \cdot SIN (ALFA) - T1 \cdot COS (ALFA) - T2} \quad /4.18/$$

$$R2 = R1 - \frac{R1 \cdot SIN (ALFA) - T1 \cdot COS (ALFA) - T2}{SIN (ALFA2)} \quad /4.19/$$

Kąt ALFA1 oblicza się ze wzoru /4.16/.

4. Dane: ALFA, ALFA1, R1 i T1.

Szukane: ALFA2, R2 i T2.

Wzory:

$$R2 = \frac{T1 \cdot \sin(\text{ALFA}) + R1 \cdot \cos(\text{ALFA}) - R1 \cdot \cos(\text{ALFA2})}{1 - \cos(\text{ALFA2})} \quad /4.20/$$

Wartość kąta ALFA2 oblicza się ze wzoru /4.15/, a długość stycznej głównej T2 ze wzoru /4.17/.

5. Dane: ALFA, ALFA2, R2 i T2.

Szukane: ALFA1, R1 i T1.

Wzory:

$$R1 = \frac{R2 \cdot \cos(\text{ALFA}) + T2 \cdot \sin(\text{ALFA}) - R2 \cdot \cos(\text{ALFA1})}{1 - \cos(\text{ALFA1})} \quad /4.21/$$

Wartość kąta ALFA1 określa się ze wzoru /4.16/, a długość stycznej głównej T1 ze wzoru /4.13/.

6. Dane: ALFA, R2, T1 i T2.

Szukane: ALFA1, ALFA2 i R1.

Wzory:

$$\text{TG}(\text{ALFA1}/2) = \frac{R2 \cdot (1 - \cos(\text{ALFA})) - T2 \cdot \sin(\text{ALFA})}{R2 \cdot \sin(\text{ALFA}) - T2 \cdot \cos(\text{ALFA}) - T1} \quad /4.22/$$

Długość promienia R1 określa się ze wzoru /4.21/, a kąt ALFA2 ze wzoru /4.15/.

7. Dane: ALFA, T1, PT - cięciwa łuku kołowego o promieniu R1, FI - kąt obwodowy zawarty między styczną główną T1, a cięciwą PT.

Szukane: ALFA1, ALFA2, R1, R2 i T2.

Wzory:

$$\text{ALFA1} = 2 \cdot \text{FI} \quad /4.23/$$

$$R1 = \text{PT}/2/\sin(\text{FI}) \quad /4.24/$$

Kąt ALFA2 wyznacza się ze wzoru /4.12/, a pozostałe elementy główne oblicza się zgodnie ze wzorami podanymi w punkcie 4.

Po określeniu głównych elementów łuku kosowego trzeba wyznaczyć jeszcze punkt styczności T /rys.4.2/ obydwu łuków kołowych. Punkt ten określają styczne pomocnicze do obydwu łuków według wzorów:

$$\text{PW1} = \text{W1T} = R1 \cdot \text{TG}(\text{ALFA1}/2) \quad /4.25/$$

$$\text{TW2} = \text{W2K} = R2 \cdot \text{TG}(\text{ALFA2}/2) \quad /4.26/$$

Potrójny łuk koszowy

Potrójnym łukiem koszowym nazywa się zespół trzech łuków kołowych o różnych promieniach. W ostatnim okresie coraz szersze zastosowanie mają potrójne łuki koszowe w projektowaniu tras mlejskich, szczególnie w projektowaniu krzywizn skrzyżowań.

W potrójnych łukach koszowych można wyróżnić dwa podstawowe układy geometryczne, które są pokazane na rysunkach 4.3 i 4.4. Z tych dwóch układów można jeszcze utworzyć jeszcze, zmieniając odpowiednio promienie początkowy R1 i końcowy R3. Powstanie w ten sposób pięć możliwych układów geometrycznych potrójnego łuku koszowego, dla których poniżej podano odpowiednie wzory. Są to:

$$ALFA = ALFA1 + ALFA2 + ALFA3 \quad /4.27/$$

$$T1 = (R1-R2) \cdot SIN(ALFA1) + (R2-R3) \cdot SIN(ALFA1+ALFA2) + R3 \cdot SIN(ALFA) - T2 \cdot COS(ALFA) \quad /4.28/$$

$$R1 = (R1-R2) \cdot COS(ALFA1) + (R2-R3) \cdot COS(ALFA1+ALFA2) + R3 \cdot COS(ALFA) + T2 \cdot SIN(ALFA) \quad /4.29/$$

$$T2 = R1 \cdot SIN(ALFA) - (R1-R2) \cdot SIN(ALFA2+ALFA3) - (R2-R3) \cdot SIN(ALFA3) - T1 \cdot COS(ALFA) \quad /4.30/$$

$$R3 = R1 \cdot COS(ALFA) + (R1-R3) \cdot COS(ALFA2+ALFA3) - (R2-R3) \cdot COS(ALFA3) + T1 \cdot SIN(ALFA) \quad /4.31/$$

gdzie: T1, T2 - styczne główne łuku koszowego,

R1, R2, R3 - promienie poszczególnych łuków kołowych,

ALFA1, ALFA2, ALFA3 - kąty środkowe poszczególnych łuków kołowych,

ALFA - kąt zwrotu stycznych łuku koszowego /kąt załamania trasy/.

We wzorach / 4.27 - 4.31 /, określających zależność między podstawowymi /głównymi/ elementami potrójnego łuku koszowego, występuje dziewięć wielkości. Do rozwiązania tego łuku potrzeba znać sześć z tych wielkości. Zazwyczaj podaje się następujące wielkości podstawowe: ALFA, T1, T2, R1, R2, R3. Poszukuje się wartości kątów ALFA1, ALFA2, ALFA3 różnymi wzorami, zależnie od układu geometrycznego potrójnego łuku koszowego. Dla układu, przedstawionego na rysunku 4.3, występują trzy przypadki:

1/ gdy promień początkowy R1 jest większy od promienia końcowego R3,

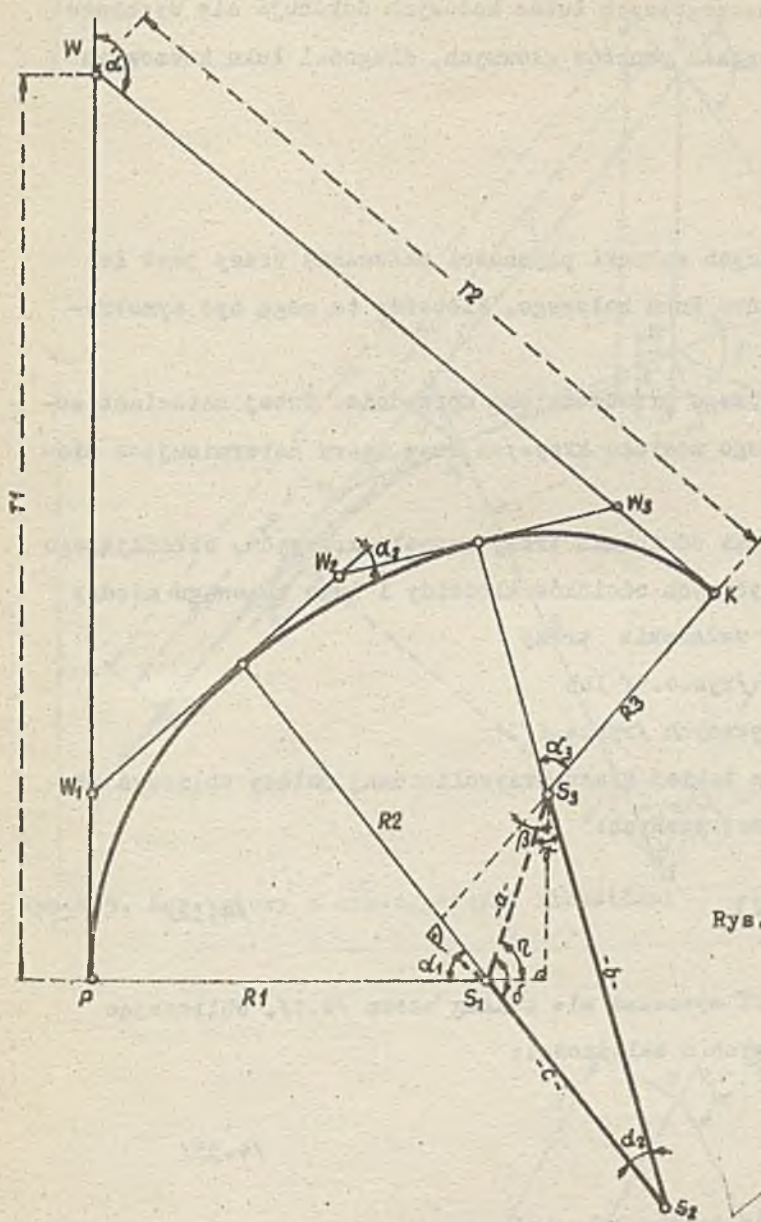
2/ gdy R1 < R3 oraz

3/ gdy R1 = R3.

Dla układu, przedstawionego na rysunku 4.4, są dalsze dwa układy geometryczne, to znaczy:

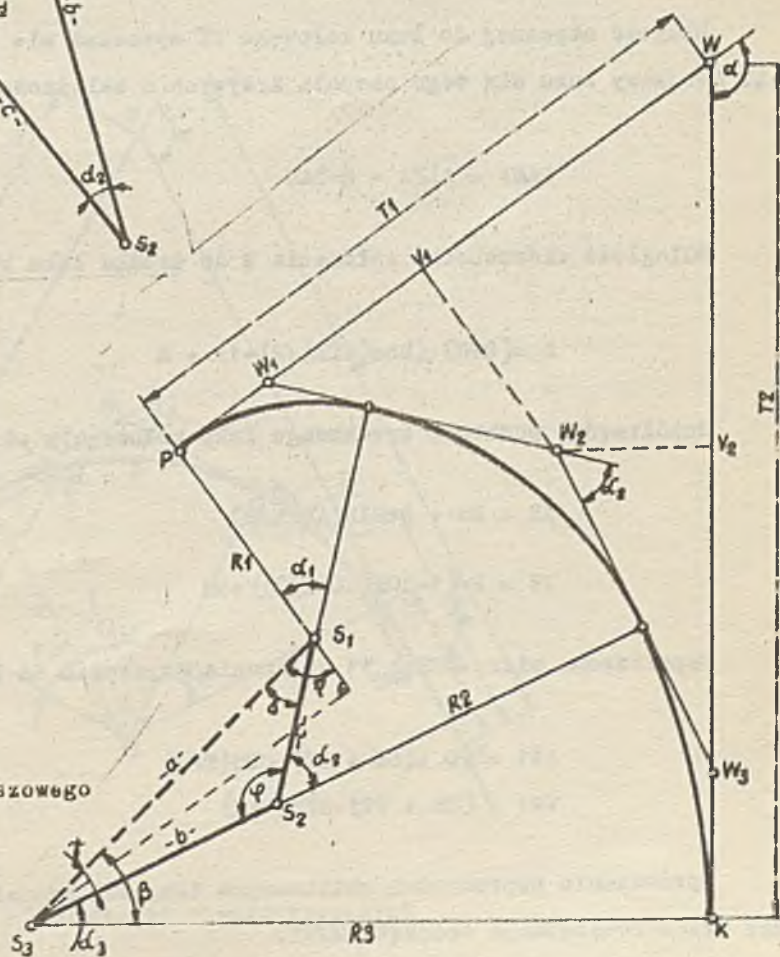
4/ gdy promień R1 jest największy z wszystkich trzech oraz

5/ gdy promień R1 jest najmniejszy.



Rys.4.3. Elementy potrójnego łuku koszowego

Rys.4.4. Elementy potrójnego łuku koszowego



Po obliczeniu kątów środkowych poszczególnych łuków kołowych dokonuje się wyznaczenia głównych elementów tych łuków, pikietażu punktów głównych, długości łuku koszowego oraz współrzędnych punktów pośrednich.

Łuk kołowy z klotoidami

Zespołem krzywych ściśle spełniających warunki płynności załamania trasy jest łuk kołowy z klotoidami na początku i na końcu łuku kołowego. Klotoidy te mogą być symetryczne lub niesymetryczne.

Charakterystykę klotoid i łuku kołowego przedstawiono uprzednio. Tutaj natomiast zostaną podane warunki istnienia rozważanego zespołu krzywych oraz wzory determinujące niezbędne elementy takiego rozwiązania.

Zaprojektowanie między dwoma prostymi odcinkami trasy zespołu krzywych, składającego się z dwóch symetrycznych lub niesymetrycznych odcinków klotoidy i łuku kołowego między nimi, jest tylko wtedy możliwe, gdy kąt załamania trasy

$ALFA > 2 \cdot TAU$ - dla klotoid symetrycznych /rys.4.5/ lub

$ALFA > TAU1 + TAU2$ - dla klotoid niesymetrycznych /rys.4.6/.

W celu wyznaczenia początku i końca takiej trasy krzywoliniowej należy obliczyć długość stycznych głównych. Dla klotoid symetrycznych:

$$TO = XS + (R+H) \cdot TG(ALFA/2) \quad /4.32/$$

Długość stycznej do łuku kołowego TT wyznacza się według wzoru /4.1/, obliczając kąt środkowy łuku dla tego zespołu krzywych z zależności:

$$GAMA = ALFA - 2 \cdot TAU \quad /4.33/$$

Odległość wierzchołka załamania W do środka łuku kołowego B

$$Z = (R+H) \cdot (\sec(ALFA/2) - 1) + H \quad /4.34/$$

Współrzędne punktu B środkowego łuku kołowego w układzie stycznej głównej

$$XB = XS + R \cdot \sin(ALFA/2)$$

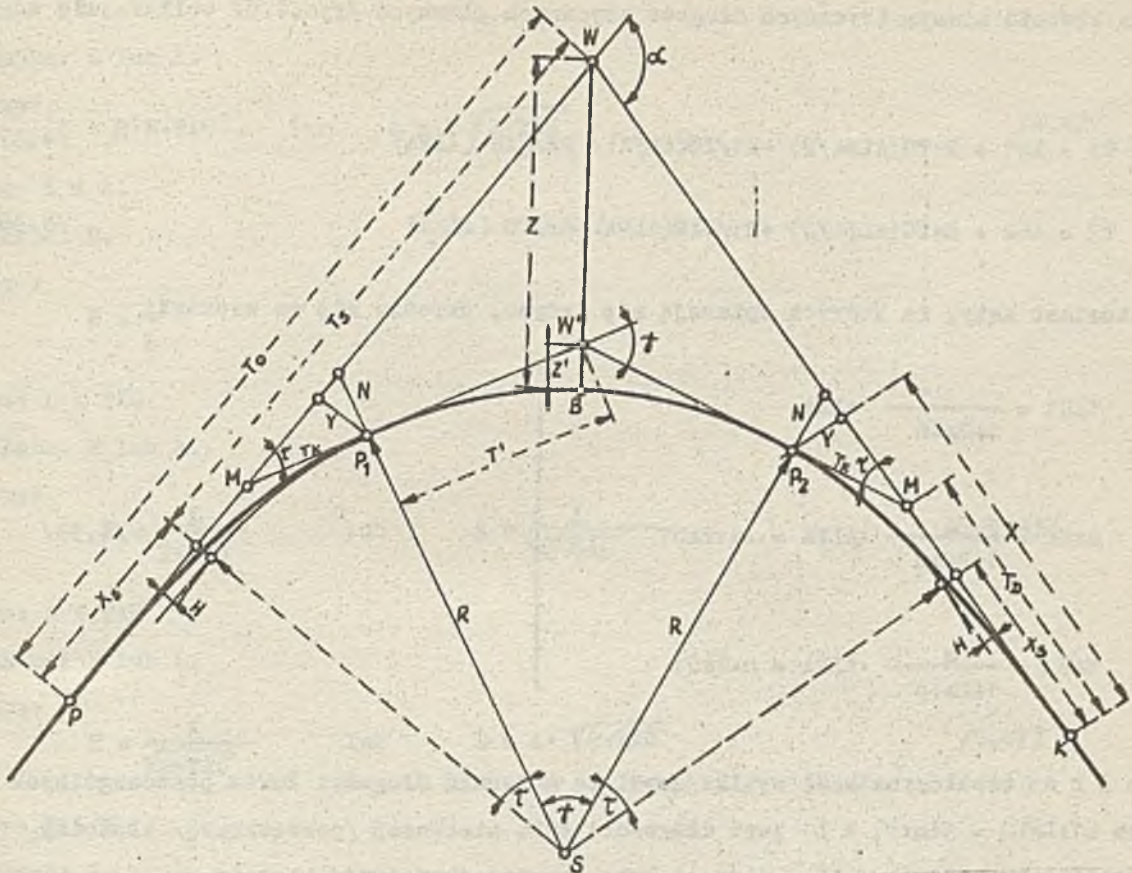
$$YB = R \cdot (1 - \cos(ALFA/2)) + H \quad /4.35/$$

Współrzędne wierzchołka $W1$ załamania stycznych do łuku kołowego

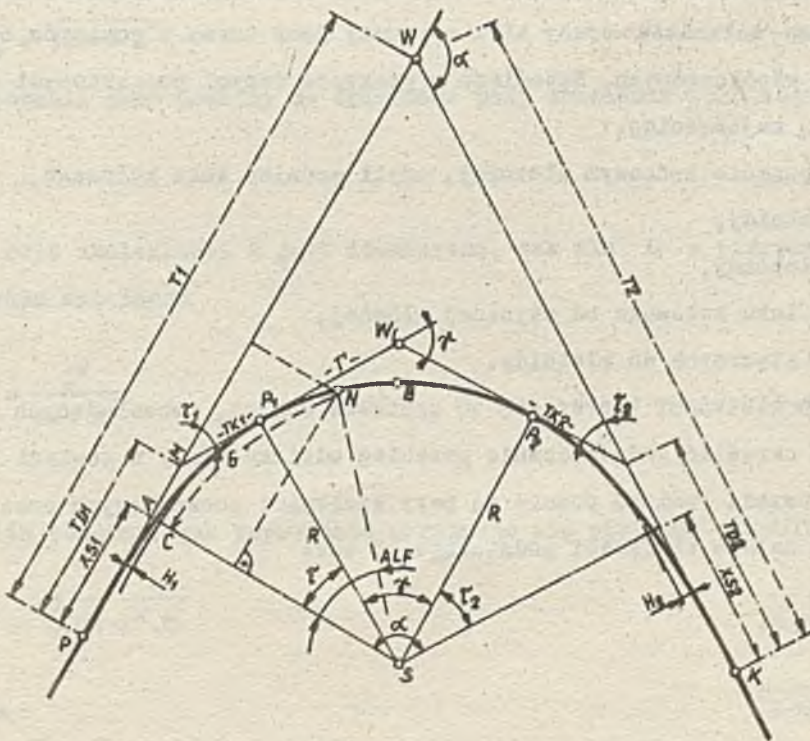
$$XW1 = TD + (TK + TT) \cdot \cos(TAU) \quad /4.36/$$

$$YW1 = (TK + TT) \cdot \sin(TAU)$$

Sprawdzenie poprawności obliczanych długości odpowiednich odcinków stycznych wykonuje się przez rozwiązanie trójkąta $MWW1$.



Rys.4.5. Łuk kołowy z symetrycznymi klotoidami



Rys.4.6. Elementy łuku kołowego z klotoidami niesymetrycznymi

Dla klotoid niesymetrycznych długość stycznych głównych /rys.4.6/ oblicza się ze wzorów:

$$T1 = XS1 + R \cdot TG(ALFA/2) - H1/TG(ALFA) + H2/SIN(ALFA) \quad /4.37/$$

$$T2 = XS2 + R \cdot TG(ALFA/2) + H1/SIN(ALFA) - H2/TG(ALFA) \quad /4.38/$$

Natomiast kąty, na których opierają się krzywe, określa się ze wzorów:

$$\left. \begin{aligned} TAU1 &= \frac{1}{1+2m+n} \cdot ALFA \\ GAMA &= \frac{2m}{1+2m+n} \cdot ALFA = 2m \cdot TAU1 \\ TAU2 &= \frac{n}{1+2m+n} \cdot ALFA = n \cdot TAU1 \end{aligned} \right\} /4.39/$$

gdzie m i n są współczynnikami wynikającymi ze stosunku długości łuków poszczególnych krzywych $L1:L2:L = 1:m:n$, a $L1$ jest długością łuku pierwszej /początkowej/ klotoidy, L - długość łuku kołowego, $L2$ - długość łuku drugiej /końcowej/ klotoidy.

Do zaprojektowania, w załamaniu dwóch odcinków prostych trasy, łuku kołowego z symetrycznymi łukami klotoidy wystarcza znajomość kąta załamania trasy ALFA oraz dwie z wielu wielkości określających łuk klotoidy. Dla klotoid niesymetrycznych podaje się po dwie pary wielkości. Kąt załamania trasy ALFA z reguły jest znany z pomiarów bezpośrednich lub z obliczeń ze współrzędnych. Natomiast w praktyce danymi początkowymi odnoszącymi się do klotoidy są najczęściej:

- R - promień w punkcie końcowym klotoidy, czyli promień łuku kołowego,
- L - długość klotoidy,
- A - parametr klotoidy,
- H - odsunięcie łuku kołowego od stycznej głównej,
- TAU - kąt zwrotu stycznych do klotoidy.

Z tych pięciu wielkości tworzy się 10 zestawów danych, pozwalających wraz z kątem zwrotu trasy ALFA określić jednoznacznie przebieg odcinka trasy w postaci łuku kołowego z krzywymi przejściowymi. Poniżej podane są pary wielkości początkowych oraz zależności pozwalające znaleźć dalsze wielkości podstawowe. I tak:

1. Dane: R i L

Szukane: A.

Wzór:

$$A = \sqrt{R \cdot L} \quad /4.40/$$

2. Dane: R i A.

Szukane: L.

Wzór:

$$L = \frac{A^2}{R} \quad /4.41/$$

3. Dane: R i TAU

Szukane: L lub A.

Wzory: $L = 2 \cdot R \cdot \text{TAU}$ lub $A = R \sqrt{2 \cdot \text{TAU}}$ /4.42/

4. Dane: L i A.

Szukane: R.

Wzór: $R = \frac{A^2}{L}$

5. Dane: L i TAU

Szukane: R lub A.

Wzory: $R = \frac{L}{2 \cdot \text{TAU}}$ lub $A = \frac{L}{\sqrt{2 \cdot \text{TAU}}}$ /4.43/

6. Dane: A i TAU

Szukane: R lub L.

Wzory: $R = \frac{A}{\sqrt{2 \cdot \text{TAU}}}$ lub $L = A \cdot \sqrt{2 \cdot \text{TAU}}$ /4.44/

7. Dane: R i H

Szukane: L.

W tym przypadku wzór na obliczenie długości klotoidy L nieco komplikuje się.

Ale jako pierwsze przybliżenie L najwygodniej jest stosować

$L_0 = \sqrt{24 \cdot R \cdot H}$ /4.45/

Algorytm postępowania jest podobny do opisanego przy omawianiu łuku kołowego.

8. Dane L i H.

Szukane: R.

Postępowanie w celu znalezienia R jest identyczne, jak dla L a pierwsze przybliżenie promienia R wyraża zależność

$R_0 = \frac{L^2}{24 \cdot H}$ /4.46/

9. Dane: A i H.

Szukane: L, gdzie podobnie jak poprzednio przyjmuje się pierwsze przybliżenie

$L_0 = \sqrt[3]{24 \cdot A^2 \cdot H}$ /4.47/

10. Dane: H i TAU.

Szukane: L.

$L = \frac{H}{\frac{\text{TAU}}{12} - \frac{(\text{TAU})^3}{336} + \frac{(\text{TAU})^5}{15840} - \frac{(\text{TAU})^7}{1209600}}$ /4.48/

Obliczenie pozostałych wielkości dokonuje się według wzorów cytowanych wcześniej.

Obliczenie pikietażu punktów głównych wykonuje się podobnie, jak w poprzednich modułach obliczeniowych. Natomiast wyznaczenie współrzędnych punktów pośrednich jest wykonywane za pomocą dwóch modułów elementarnych - WPKIL i WPLUK. Moduł WPKIL oblicza współrzędne punktów kłotoid i łuku kołowego od stycznych głównych. Natomiast moduł WPLUK liczy współrzędne punktów pośrednich łuku kołowego.

Do określenia współrzędnych punktów pośrednich, niezbędnych do tyczenia w terenie tego zespołu krzywych, zastosowano metodę prostokątną w układzie stycznych do kłotoidy /styczne główne/. Współrzędne punktów położonych na kłotoidzie oblicza się według wzorów /3.32/. Natomiast współrzędne punktów łuku kołowego wyznacza się z poniższych wzorów:

$$ALF_1 = G_1/R \quad /4.49/$$

$$XH_1 = XS + R \cdot \sin(ALF_1) \quad /4.50/$$

$$YH_1 = H + R \cdot (1 - \cos(ALF_1)) \quad /4.51/$$

gdzie: ALF_1 - jest to kąt środkowy dla długości łuku kołowego G_1 , liczonej od punktu C,
R - promień łuku,
wielkość XS jest określona wzorem /3.33/, a H wzorem /3.34/.

Łuk kołowy z parabolami stopnia trzeciego w torze kolejowym z uwzględnieniem skrajni budowli

Przy projektowaniu geometrii krzywoliniowych odcinków tras kolejowych stosuje się, zależnie od wielu warunków, różne rozwiązania.

Najczęściej stosuje się tutaj łuk kołowy z symetrycznymi łukami krzywej przejściowej. Jako krzywą przejściową przyjmuje się w kolejnictwie parabolę stopnia trzeciego.

Zwykle do tej pory obliczenia elementów geometrycznych takiego rozwiązania odnosiły się do osi jednego toru. Jednakże odpowiednie przepisy kolejowe wymagają stosowania poszerzenia skrajni budowli. Dlatego poniżej zostanie scharakteryzowany szczegółowo ten problem. Skrajnia budowli przedstawia maksymalny zarys poprzeczny prostopadły do osi toru, do wewnątrz którego nie powinny wchodzić żadne części budowli i nieruchomych urządzeń.

Przy wpisywaniu się pojazdów i taboru w łuku występują dodatkowe poszerzenia skrajni budowli z zewnętrznej i wewnętrznej strony łuku /rys.4.7/.

Wyznaczenie poszerzeń skrajni budowli dla jednego toru w przypadku połączenia prosta - krzywa przejściowa - krzywa kołowa jest przedstawione na rys. 4.8.

Dla dwóch torów skrajnię budowli określa się, uwzględniając tylko zmiany w skrajni budowli wywołane krzywizną toru, tj. od strony wewnętrznej krzywej toru zewnętrznego b_{R1} i od strony zewnętrznej krzywej toru wewnętrznego b_{R2} .

Nie uwzględniając nieznaczących zmian w promieniach dwóch torów, można określić odpowiednie zwiększenie skrajni budowli ze wzoru:

$$p = b_{Ra} + b_{Rl} = \frac{2 \cdot 36000}{R} = \frac{72000}{R} \text{ [mm]} \quad /4.52/$$

gdzie: p - rozsunięcie osi torów na łuku,

b_{Ra} - zwiększenie skrajni budowli od strony zewnętrznej krzywej toru wewnętrznego,

b_{Rl} - zwiększenie skrajni budowli, od strony wewnętrznej krzywej toru zewnętrznego.

Jak już wspomniano w PKP jako krzywą przejściową pomiędzy prostą a łukiem kołowym stosuje się parabolę trzeciego stopnia.

Zastosowanie krzywej przejściowej wymaga przesunięcia łuku w kierunku jego środka o wielkość n , która dla paraboli sześcienniej wynosi /rys.4.9/:

$$n = \frac{1^2}{24R} \quad /4.53/$$

Kąt zwrotu stycznej ψ do paraboli stopnia trzeciego określa wzór

$$\psi = \frac{1}{2R} \quad /4.54/$$

Ze względu na to, że kąt ψ jest z reguły bardzo niewielki w praktyce stosuje się zazwyczaj wzór /3.49/. We wzorach /4.53/ i /4.54/ l oznacza długość paraboli stopnia trzeciego równą jej rzutowi na oś X , a R jest promieniem łuku kołowego.

Połączenie dwu prostych zespołem dwóch symetrycznych odcinków paraboli stopnia trzeciego i łuku kołowego między nimi, jest możliwe tylko wtedy, gdy kąt zwrotu stycznych $\alpha > 2\psi$, w przeciwnym wypadku łuki krzywych przejściowych krzyżowałyby się i warunek ciągłości krzywizny nie byłby zachowany /rys. 4.9/.

Kąt środkowy łuku kołowego równa się

$$\delta = \alpha - 2\psi \quad /4.55/$$

Aby znaleźć w terenie początek trasy krzywoliniowej należy obliczyć długość stycznej $t = PW$ do krzywej przejściowej, czyli

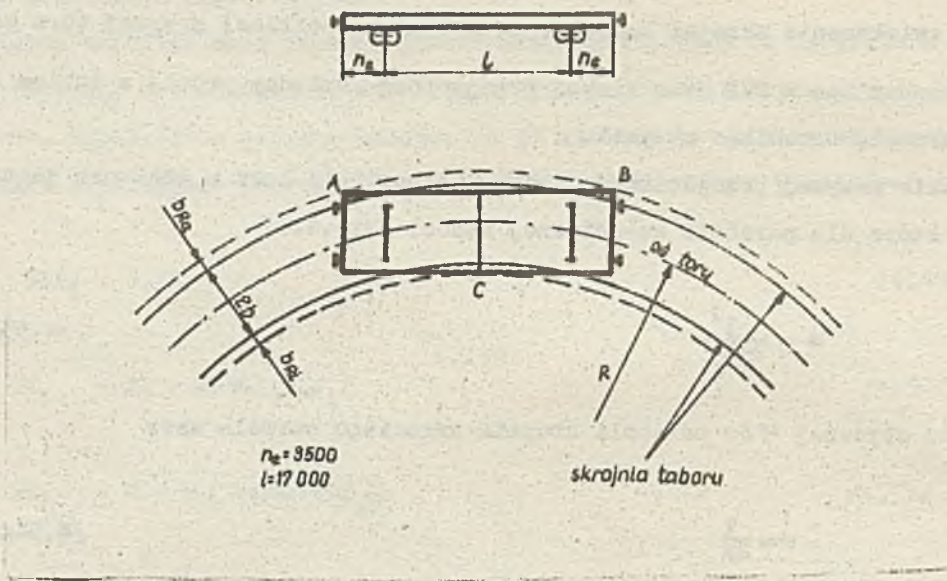
$$t = PW = PA + AW = l/2 + (R+n) \cdot \text{tg } \alpha/2 \quad /4.56/$$

Długość stycznej do krzywej przejściowej w jej punkcie końcowym wynosi

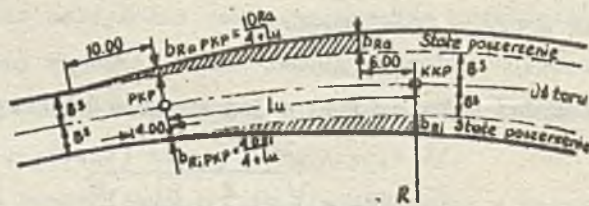
$$MP_1 = y_p / \sin \psi \quad \text{lub} \quad MP_1 = \sqrt{y_{p1}^2 + (l/3)^2} \quad /4.57/$$

Długość stycznej pomocniczej jako suma stycznych do krzywej przejściowej i łuku kołowego wynosi

$$MW_1 = MP_1 + P_1W_1 = MP_1 + R \cdot \text{tg } \frac{\delta}{2} \quad /4.58/$$



Rys.4.7. Elementy skrajni budowli



Rys.4.8. Rozszerzenie skrajni budowli

Polozenie brodka łuku kołowego określają jego współrzędne x_B i y_B , biorąc pod uwagę początek układu tych współrzędnych w punkcie F. Oblicza się je z wzorów:

$$x_B = PF = PA + AF = PA + DS = l/2 + R \cdot \sin \alpha/2 \quad /4.59/$$

$$y_B = FS = AD = AB + BD = n + R \cdot (1 - \cos \alpha/2)$$

Punkt S można także wyznaczyć, odmierzając na dwusiecznej kąta $(180^\circ - \alpha)$ odcinek WS, który oblicza się ze wzoru

$$WS = (R+n) \cdot (\sec \alpha/2 - 1) + n \quad /4.60/$$

Można również obliczyć odległość wierzchołka W_1 od okręgu ze wzoru

$$W_1S = R \cdot (\sec \frac{\alpha}{2} - 1) \quad /4.61/$$

Punkty pośrednie łuku kołowego P_1SP_2 można wytyczyć na podstawie stycznej głównej PW, bądź też stycznej pomocniczej MW_1 . Ten pierwszy sposób tyczenia wymaga obliczenia współrzędnych punktów pośrednich łuku o początku układu w punkcie P. Przyjmując w punkcie B początek nowego układu współrzędnych oraz styczną BZ, równoległą do PW, jako oś x określa się w przyjętym układzie współrzędnych x i y dowolnych punktów łuku kołowego wzorami /4.3/ i /4.4/, a następnie dodając do nich odpowiednio $l/2$ i n otrzymuje się współrzędne w układzie stycznej PW. Wzory na obliczenie współrzędnych x i y mają postać wzorów /4.59/, tylko wartość kąta jest zmienna.

Długość l łuku kołowego oblicza się wzorem /4.8/.

Długość trasy krzywoliniowej wyniesie:

$$DCK = 2l + l \quad /4.62/$$

Kilometraż punktów głównych oblicza się przez proste sumowanie odpowiednich odcinków.

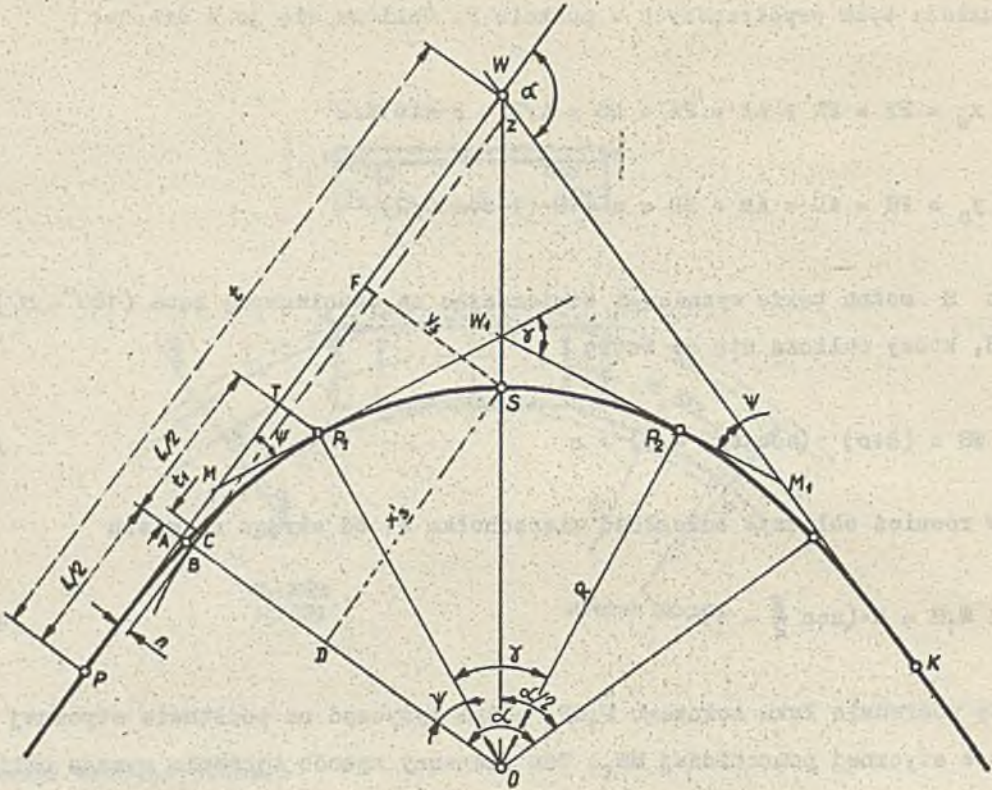
Aby obliczyć elementy łuku kołowego z symetrycznymi łukami paraboli stopnia trzeciego dla dwóch osi torów kolejowych z uwzględnieniem poszerzenia skrajni budowli przyjęto następującą metodę rozwiązania.

Dane do wyznaczenia osi toru wewnętrznego określa się zgodnie z podanymi wzorami, ale dla skorygowanego promienia łuku kołowego o wielkość połowy poszerzenia skrajni budowli, występującego na łuku kołowym, czyli

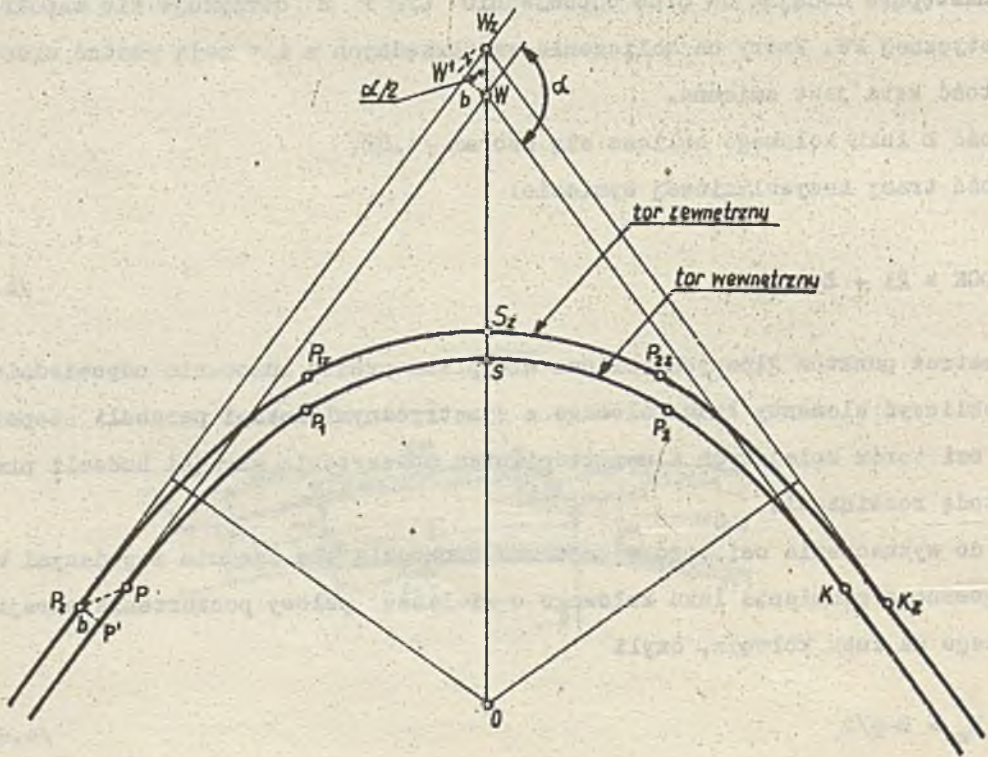
$$R_w = R - p/2 \quad /4.63/$$

gdzie p jest określone wzorem /4.52/.

Dla osi toru zewnętrznego również modyfikuje się promień łuku kołowego, uwzględniając dodatkowo rozstaw a torów - b.



Rys.4.9. Elementy łuku kołowego i paraboli stopnia trzeciego



Rys.4.10. Elementy wiążące osie dwóch torów kolejowych

Promień ten oblicza się ze wzoru

$$R_z = R + b + p/2 \quad /4.64/$$

Długość krzywej przejściowej w torze zewnętrznym określa wzór

$$l_z = \sqrt{l^2 \cdot \frac{R_z}{R_w} + 24 \cdot R_z \cdot p} \quad /4.65/$$

Skorygowane odległości stycznej głównej od łuku kołowego odpowiednio dla toru wewnętrznego i zewnętrznego określają poniższe wzory:

$$n_w = \frac{l^2}{24 \cdot R_w} \quad /4.66/$$

$$n_z = \frac{l^2}{24 \cdot R_z} \quad /4.67/$$

Tak zmodyfikowane wielkości R_w , R_z , l_z , n_w , n_z pozwalają obliczyć elementy osi torów - wewnętrznego i zewnętrznego - z uwzględnieniem odpowiedniego poszerzenia skrajni budowli. Każdy punkt /ściśle jej współrzędne prostokątne/ łuku kołowego zawiera wielkość maksymalną tego poszerzenia. Natomiast współrzędne punktów rozmieszczonych na krzywych przejściowych zawierają odpowiednio zmienne wielkości poszerzenia skrajni budowli.

W celu dokładnego wyznaczenia w terenie przebiegu paraboli stopnia trzeciego i łuku kołowego w torze zewnętrznym podaje się elementy wiążące go z torem wewnętrznym /rys.4.10/.

Klotoida w łuku kosзовym

Krzywe przejściowe mogą być projektowane w podwójnych i potrójnych łukach kosзовych. Poniżej zostanie omówiony problem stosowania klotoidy w podwójnym łuku kosзовym, gdzie może ona tworzyć następujące przypadki:

1. łuk kosзовy może mieć jedną krzywą przejściową na początku lub na końcu łuku kosowego,
2. dwie krzywe przejściowe na początku i końcu łuku kosowego,
3. trzy krzywe przejściowe na początku i końcu łuku kosowego oraz między łukami kołowymi.

W dobie coraz większych szybkości pojazdów oraz dla zachowania ciągłości krzywizny na danej trasie projektowanie trzeciego przypadku jest najwłaściwsze. Dlatego niżej zostanie on szczegółowo omówiony. Natomiast dla przypadków pierwszego i drugiego mają zastosowanie wzory przedstawione dla podwójnego łuku kosowego i klotoidy, przy czym dla krzywej przejściowej należy podać dwie z podstawowych wielkości.

Zagadnienie zastosowania klotoidy między dwoma łukami kołowymi o różnych promieniach /zwane krzywą owalną lub jajową/ wymaga przede wszystkim znajomości podstawowych wielkości, którymi są: promienie obydwu łuków kołowych / R_1 i R_2 /, parametr klotoidy A , długość klotoidy L oraz najmniejsza odległość między łukami kołowymi E lub odległość

między środkami kół krzywiznowych D. Opierając się na nich wyznacza się inne elementy. Zależności pomiędzy wielkościami podstawowymi są analizowane poniżej.

Aby zastosować krzywą przejściową między dwoma łukami kołowymi muszą być spełnione następujące warunki:

1. okręgi muszą mieć różne promienie,
2. okrąg mniejszy musi leżeć wewnątrz okręgu większego,
3. środki tych okręgów nie mogą pokrywać się.

Dla każdej klotoidy o określonym parametrze położenie wszystkich jej środków krzywizny jest ściśle zdefiniowane; leżą one na ewolucie tej krzywej. Jeżeli w dowolnych dwóch punktach P_1 i P_2 klotoidy narysuje się koła ściśle styczne o promieniach R_1 i R_2 , to wzajemna najmniejsza odległość E tych okręgów jest także ściśle i jednoznacznie określona /rys.4.11/.

Schemat geometryczny tego zespołu krzywych składających się z 2 okręgów i 3 klotoid przedstawia rysunek 4.12.

Aby rozważany problem mógł być rozwiązany jednoznacznie muszą być znane wielkości podstawowe zespołu krzywych zilustrowanego na rysunku 4.12. Są to: długości stycznych głównych t_1 i t_2 , wartości kątów β_1 i β_2 , wielkości określające położenie początku stycznej do klotoidy środkowej /punkt H na rysunku 4.12/, długości promieni łuków kołowych R_1 i R_2 , długość L lub parametr A poszczególnych klotoid oraz kąt zwrotu stycznych głównych α . Nie wszystkie z tych wielkości muszą być danymi, niektóre zostają obliczone.

Określenie szczegółowych elementów poszczególnych krzywych dokonuje się w układach współrzędnych, przyjętych dla tych krzywych w taki sposób, że osią X jest styczna do każdej krzywej, a początkiem takiego układu jest punkt styczności krzywej ze styczną.

Dodatkową kontrolą wykonanych obliczeń jest sporządzony automatycznie na pisaku xy rysunek, który zawiera przebieg osi odcinka krzywoliniowego trasy z elementami geometrycznymi oraz wartość współrzędnych punktów pośrednich. Współrzędne te pozwalają na wytyczenie w terenie poszczególnych krzywych.

Do wyznaczenia w terenie klotoidy środkowej niezbędna jest znajomość położenia punktu początkowego - P_1 , końcowego - P_2 oraz punktów pośrednich, a także położenia stycznej, która znajduje się na prostej przechodzącej przez punkty F i W_1 /na rys.4.12 początek tej stycznej jest w punkcie H/. Związki między podstawowymi elementami klotoidy środkowej przedstawiają wzory, oparte na [69], [103]

$$R = \frac{2 \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad /4.68/$$

$$t_E \cdot E = \sqrt{\frac{(R_1 - R_2 - E/2) \cdot E/2}{(R_1 - R_2 - E/2) \cdot (R_1 - R_2 - E/2)}} \quad /4.69/$$

$$L = 14 - 1,3 = 2\sqrt{3} \cdot E \cdot R \quad /4.70/$$

$$A = \sqrt{\frac{L \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 - R_2}} \quad /4.71/$$

$$E = R_1 - R_2 - D \quad /4.72/$$

gdzie: R - średni promień,

ξ - kąt pomocniczy,

L - długość łuku klotoidy środkowej,

A - parametr klotoidy środkowej,

E - najmniejsza odległość między łukami tych kół,

D - odległość pomiędzy środkami kół S_1 i S_2 .

Po określeniu wartości E , odległość między środkami kół D można obliczyć, przekształcając wzór /4.72/.

Jak powiedziano w poprzednim punkcie, algorytm realizujący obliczenia elementów zespołu krzywych /trzy klotoidy z dwoma łukami kołowymi/ traktuje niektóre wielkości podstawowe jako dane. Tak więc komplet danych musi zawierać: kąt zwrotu stycznych - α , długość jednej ze stycznych głównych - t_1 , lub t_2 , długości obu promieni łuków kołowych - R_1 i R_2 oraz po jednym z elementów dla każdej z trzech klotoid - L lub A /rys.4.12/. Obliczenie podstawowych elementów poszczególnych klotoid jest wykonywane zgodnie z podanymi wzorami. Następnym krokiem jest określenie brakującej stycznej głównej całego zespołu krzywych.

Jak już wspomniano, styczna do klotoidy środkowej leży na prostej, przechodzącej przez punkty F i W_1 . Aby wyznaczyć położenie punktu styczności /punkt H na rys.4.12/ należy określić na stycznej t_1 punkt F i od niego odłożyć odcinek FH pod kątem $\lambda = \beta_1 - \mu$. Zgodnie z rysunkiem 4.12 długość odcinka WF , wyznaczającego położenie punktu F , oblicza się ze wzoru

$$WF = t_1 - XS_1 - \frac{R_1+H_3}{\sin \lambda} + \frac{R_1+H_1}{\operatorname{tg} \lambda} \quad /4.73/$$

Długość odcinka FH określa zależność

$$FH = \frac{R_1+H_1}{\sin \lambda} - (R_1+H_3) \cdot \operatorname{ctg} \lambda - X'S_1 \quad /4.74/$$

gdzie: H_1 - odsunięcie koła krzywizny o promieniu R_1 od stycznej t_1 ,

H_3 - odsunięcie koła krzywizny o promieniu R_1 od stycznej HW_1 ,

XS_1 - odcięta środka koła krzywizny o promieniu R_1 w układzie stycznej t_1 ,

Wartość kąta λ można określić wtedy, gdy znana jest wartość kąta β_1 i μ .

Kąt μ oblicza się z zależności

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{X'S_1 - X'S_2}{Y'S_1 - Y'S_2} \quad /4.75/$$

gdzie: $X'S_1, Y'S_1$ - współrzędne środka koła krzywizny $/S_1/$ o promieniu R_1 liczone w układzie stycznej do klotoidy środkowej /styczna $HW_1/$,

$X'S_2, Y'S_2$ - współrzędne środka koła krzywizny $/S_2/$ o promieniu R_2 liczone w układzie stycznej do klotoidy środkowej.

Położenie punktu początkowego stycznnej do klotoidy o parametrze A może wypaść także po drugiej stronie stycznnej t_1 . Wtedy, otrzymana wzorem /4.74/ wielkość RH ma wartość minusową. Dla wyznaczenia w terenie położenia punktu H należy długość odcinka RH odkładać od punktu F w kierunku przeciwnym punktowi W_1 .

Znając długości odpowiednich stycznych rozpatrywanego zespołu krzywych trzeba jeszcze obliczyć długość łuków kołowych, a zatem i długość całego zespołu krzywych oraz podać pikietaż punktów głównych.

Długość całego odcinka krzywoliniowego, jako suma odcinków poszczególnych krzywych wynosi

$$DK = L_1 + L_1 + L + L_2 + L_2 \quad /4.76/$$

Mając daną wartość pikietażu wierzchołka załamania stycznych W /rys.4.12/ i odejmując od niej długość stycznnej t_1 otrzymamy pikietaż początku odcinka krzywoliniowego. Następnie dodając do tego pikietażu odpowiednie długości poszczególnych krzywych oblicza się pikietaż punktów głównych.

Żeby dokładnie wyznaczyć w terenie przebieg zespołu krzywych - klotoida - łuk kołowy - klotoida - łuk kołowy - klotoida - określa się jeszcze elementy wyznaczające punkty pośrednie na poszczególnych krzywych. Zastosowano tu metodę współrzędnych prostokątnych, gdzie osie zostały zdefiniowane wyżej.

Całość obliczeń kończy określenie współrzędnych punktów hektometrowych w układzie stycznych do poszczególnych krzywych.

Danymi wejściowymi do omawianego zagadnienia są:

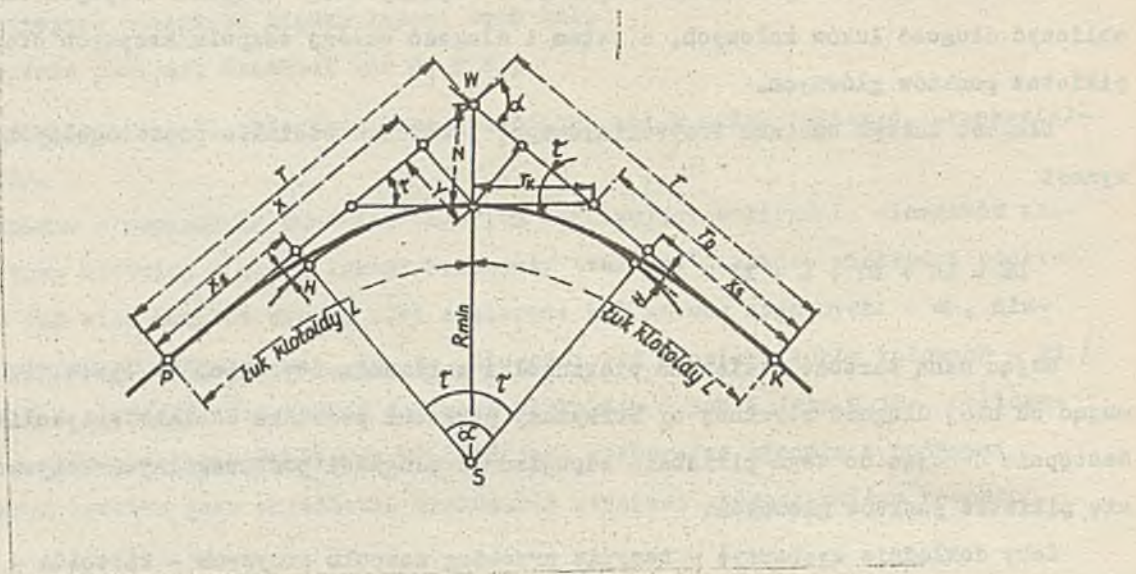
- maksymalna prędkość pojazdu na trasie - V_{\max} w km,
- maksymalna przechyłka toru kolejowego - H_{\max} w mm
- długości promieni łuków kołowych - R_1 i R_2 w m,
- wartość kąta zwrotu stycznych głównych zespołu krzywych - α w mierze gradowej,
- długość jednej ze stycznych głównych - t_1 lub t_2 w m,
- pikietaż punktu załamania stycznych W - KMW w m.

Biklotoida

Oprócz omówionych zespołów krzywych, projektowanych w celu przejścia z jednego kierunku prostoliniowego na drugi, można stosować zespół krzywych w postaci dwóch łuków klotoidy bez wstawki kołowej. Taki zespół krzywych nazywa się biklotoidą /rys.4.13/.

Biklotoidę można używać symetryczną i niesymetryczną, to znaczy o nierównych łukach L_1 i L_2 . W punkcie styku dwóch gałęzi klotoid, czyli w wierzchołku biklotoidy, określa się R_{\min} , który decyduje o dopuszczalnej prędkości ruchu na danej trasie.

Z rysunku 4.13 widać, że dla biklotoidy symetrycznej, to jest dla $L_1=L_2=L$, kąt $\tau = \frac{\alpha}{2}$, czyli praktycznie jest prawie zawsze znany, ponieważ kąt załamania trasy α jest z reguły określony. Natomiast dla biklotoidy niesymetrycznej, to jest dla $L_1 \neq L_2$, kąty τ_1 i τ_2 znajduje się dzieląc kąt α w odpowiednim stosunku $L_1 : L_2 = 1 : n$. A zatem:



Rys.4.13. Elementy bikłoidy

$$\tau_1 = \frac{1}{1+n} \cdot \alpha$$

/4.77/

$$\tau_2 = \frac{n}{1+n} \cdot \alpha = n \cdot \tau_1$$

Inne wielkości określające bikłotoidę wynikają z zależności podanych dla kłotoidy.

Do obliczenia elementów bikłotoidy wystarczy znać dwie wielkości podstawowe. Elementami podstawowymi mogą być: promień R_{min} , długość kłotoidy $L_1=L_2=L$ /dla kłotoid niesymetrycznych muszą być podane obydwie długości/, parametr kłotoidy A , odsunięcie H , styczna główna T , odległość wierzchołka bikłotoidy od wierzchołka załamania trasy N oraz kąt τ . Opierając się na tych wielkościach tworzy się 18 możliwości określenia bikłotoidy [121], z których przykładowo wymienimy:

- Dane: R i T .

Szukane: L , którą to wielkość określa wzór

$$T = L + \frac{7}{120} \cdot \frac{L^3}{R^2} + \frac{139}{24192} \cdot \frac{L^5}{R^4} + \frac{8927}{15375360} \cdot \frac{L^7}{R^6} + \dots$$

/4.78/

Obliczenie L dokonuje się według algorytmu, uprzednio przedstawionego.

- Dane: R i N .

Szukane: L ze wzoru

$$N = \frac{L^2}{24R^2} ((3N+4R) - \frac{L^2}{112R^2} \cdot (7N+8R) + \frac{L^4}{21120R^4} \cdot (11N+12R) + \dots$$

$$- \frac{L^6}{6451200R^6} \cdot (15N+16R)) + \dots$$

/4.79/

Po obliczeniu wielkości L pozostałe elementy klotoidy określa się według wcześniej podanych zasad.

• Dane: L i N

Szukane: R ze wzoru /4.79/

• Dane: A i N.

Szukane: R z przekształconego wzoru /4.79/ po podstawieniu $L = \frac{A^2}{R}$.

• Dane: T i τ

Szukane: L na podstawie poniższego wzoru

$$L = \frac{T}{1 + \frac{7}{30} \cdot \tau^2 + \frac{139}{1512} \cdot \tau^4 + \frac{8927}{240240} \cdot \tau^6 + \dots}$$

/4.80/

• Dane: N i τ .

Szukane: A ze wzoru

$$A = \frac{N \cdot \cos \tau}{\sqrt{2\tau} \cdot \left(\frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \frac{\tau^5}{1320} - \frac{\tau^7}{75600} \right)}$$

/4.81/

Po określeniu wszystkich podstawowych elementów biklotoidy oblicza się pikietaż punktów głównych oraz współrzędne punktów pośrednich.

5. ZAŁOŻENIA METODYCZNE I ORGANIZACYJNE SYSTEMU GT

Ogólnie trasą nazywa się powierzchnię wydłużonego pasa terenu o niewielkiej szerokości i przeznaczonego pod budowlę inżynierską.

W niniejszej pracy wszelkie rozważania odnoszą się przede wszystkim do tras komunikacji lądowej, a ściślej do ich osi.

Przyjęto, że oś trasy składa się z kombinacji następujących rodzajów elementów:

- 1/ odcinków prostych,
- 2/ łuków okręgów kół,
- 3/ łuków krzywych przejściowych /klotoid, parabol stopnia trzeciego/,
- 4/ zespołów łuków okręgów,
- 5/ zespołów łuków okręgów z łukami krzywych przejściowych.

W pierwszej fazie projektowania osi trasy jest określona przez projektanta jako linia łamana. Może ona być definiowana przez podanie długości poszczególnych odcinków i kątów załamania lub za pomocą punktów o znanych współrzędnych x, y . Wtedy każdy odcinek łamanej jest określony przez dwa punkty /rys.5.1/.

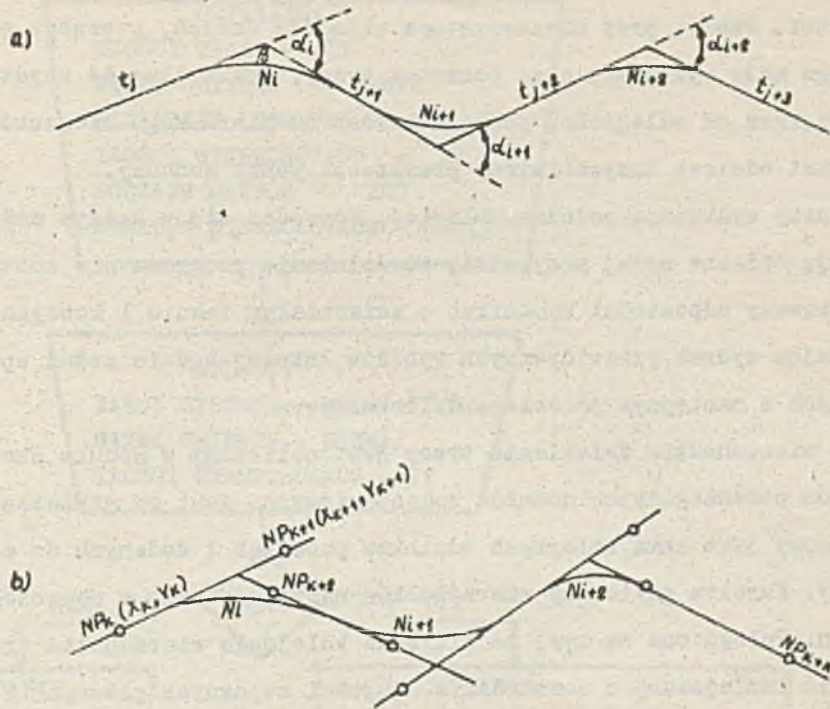
Następnie w punktach zmiany kierunku osi trasy /punktach wierzchołkowych/ projektuje się odpowiednie krzywe lub ich zespoły. Mogą one być realizowane przy użyciu:

- 1/ łuku okręgu,
- 2/ zespołu krzywych utworzonego z kolejno występujących dwóch łuków kołowych o różnych promieniach /podwójny łuk koszowy/,
- 3/ zespołu krzywych utworzonego z kolejno występujących po sobie trzech łuków kołowych o różnych promieniach /potrójny łuk koszowy/,
- 4/ zespołu krzywych utworzonego z kolejno występujących łuków: krzywej przejściowej /klotoida, parabola stopnia trzeciego/, okręgu i krzywej przejściowej,
- 5/ zespołu krzywych złożonego z dwóch łuków kołowych zakrzywionych w odwrotnych kierunkach /łuk odwrotny/,
- 6/ zespołu krzywych utworzonego z kolejno występujących łuków klotoidy, okręgu, klotoidy, okręgu, klotoidy,
- 7/ zespołu krzywych złożonego z trzech odwrotnie skierowanych łuków kołowych /serpentyzna/,
- 8/ zespołu krzywych składających się z dwóch łuków klotoid /biklotoida/,
- 9/ zespołu krzywych złożonego z kolejno występujących łuków: klotoidy, okręgu, klotoidy, klotoidy odwrotnie skierowanej, okręgu odwrotnie skierowanego, klotoidy /łuk odwrotny z 4 klotoidami/.

W pierwszej kolejności oblicza się współrzędne wierzchołków załamania, długości poszczególnych odcinków prostych, wartości kątów załamania oraz kilometraż wierzchołków. Ten zakres obliczeń odnosi się do przypadku, gdy oś trasy została określona za pomocą współrzędnych punktów. Natomiast, gdy oś jest zadana długościami odcinków prostych; to oblicza się tylko kilometraż punktów załamania trasy. Jest to kilometraż /pikietaż/ trasy nieskorygowany. Następnie zostają obliczone elementy główne odcinków krzywoliniowych i ich wielkości do tyczenia w terenie. Kilometraż punktów głównych jest automatycznie korygowany. Wynika to ze skrócenia trasy, przebiegającej w wierzchołkach załamania po odcinkach krzywoliniowych. W końcu zostaje określona długość projektowanej trasy.

Przy wprowadzaniu danych przyjęto zasadę, że wczytuje się określony zestaw informacji podstawowych o poszczególnym module obliczeniowym. Zależnie od rodzaju modułu zestaw tych informacji jest różny. Do jednoznacznego obliczenia wielkości określających poszczególne krzywe wystarczy podawać mniej informacji podstawowych niż zawiera jej cytowany zestaw. Podaje się więc w zestawie informacji minimalną ilość wartości liczbowych dla pewnych zmiennych, a pozostałym zmiennym z określonego zestawu informacji podstawowych nadaje się wartości zero. Pozwala to na wariantowanie wprowadzania danych i wariantowanie obliczeń.

Podczas prowadzenia obliczeń może się zdarzyć, że dwa sąsiednie odcinki krzywoliniowe zachodzą na siebie lub są styczne. Ten fakt może nastąpić wtedy, gdy odpowiednie dane wprowadzone do sąsiednich modułów obliczeniowych spowodują obliczenie długości stycznych



- t_j - długość odcinka prostego
- α_i - kąt załamania trasy
- N_i - rodzaj krzywej lub zespołu krzywych /identyfikator krzywych/
- $NP_K(X_K, Y_K)$ - numer i współrzędne punktu

Rys.5.1. Elementy osi trasy

głównych tak, że suma stycznej końcowej poprzedniego odcinka krzywoliniowego i stycznej początkowej następnego odcinka jest większa od odległości między wierzchołkami, w załamaniu których są właśnie projektowane omawiane krzywe. Inna sytuacja może wystąpić wtedy, gdy danymi nie są styczne do krzywych odcinków, projektowanych na trasie jako pierwszy lub jako ostatni. Wtedy, przy niekorzystnym układzie danych, początek pierwszego odcinka krzywoliniowego może wykraczać poza początek trasy, czyli długość stycznej głównej początkowej jest większa od odległości początku trasy do pierwszego wierzchołka załamania i podobnie ostatni odcinek krzywoliniowy przekracza punkt końcowy.

Czy te fakty występują podczas obliczeń, sprawdza się w każdym module obliczeniowym. Jeśli występują opisane wyżej przypadki, to działanie programu nie zostaje przerwane, zostaje wydrukowany odpowiedni komunikat o zaistniałym fakcie i kontynuowane są dalsze obliczenia. Mając wydruk przewidywanych wyników łatwiej będzie można wprowadzić właściwą korektę w danych w następnym przebiegu obliczeniowym.

Pikietaż wierzchołków załamania trasy jest obliczany w module sterującym i jest przekazywany do poszczególnych modułów obliczeniowych. Jest to pikietaż nieskorygowany, to znaczy liczony jako suma kolejnych odcinków prostych i dodanych do wartości pikietażu początku trasy. Korekta pikietaży wierzchołków następuje więc w poszczególnych modułach obliczeniowych. Polega ona na tym, że pikietaż kolejnego wierzchołka trasy, oprócz pierwszego, musi być zmniejszony o sumę różnic długości stycznych głównych i długości krzywych /lub krzywej/. Na przykład dla łuku będzie to różnica między podwójną wartością stycznej i długością łuku, czyli $2T-L$. Różnica ta powoduje skrócenie długości trasy, liczonej pierwotnie jako suma długości odcinków łamanej, przez zaprojektowanie w wierzchołkach załamania odpowiednich krzywych lub ich zespołów. W ten sposób zostaje obliczony prawidłowo pikietaż punktów głównych poszczególnych odcinków krzywoliniowych projektowanej trasy, a więc i również długość całej trasy.

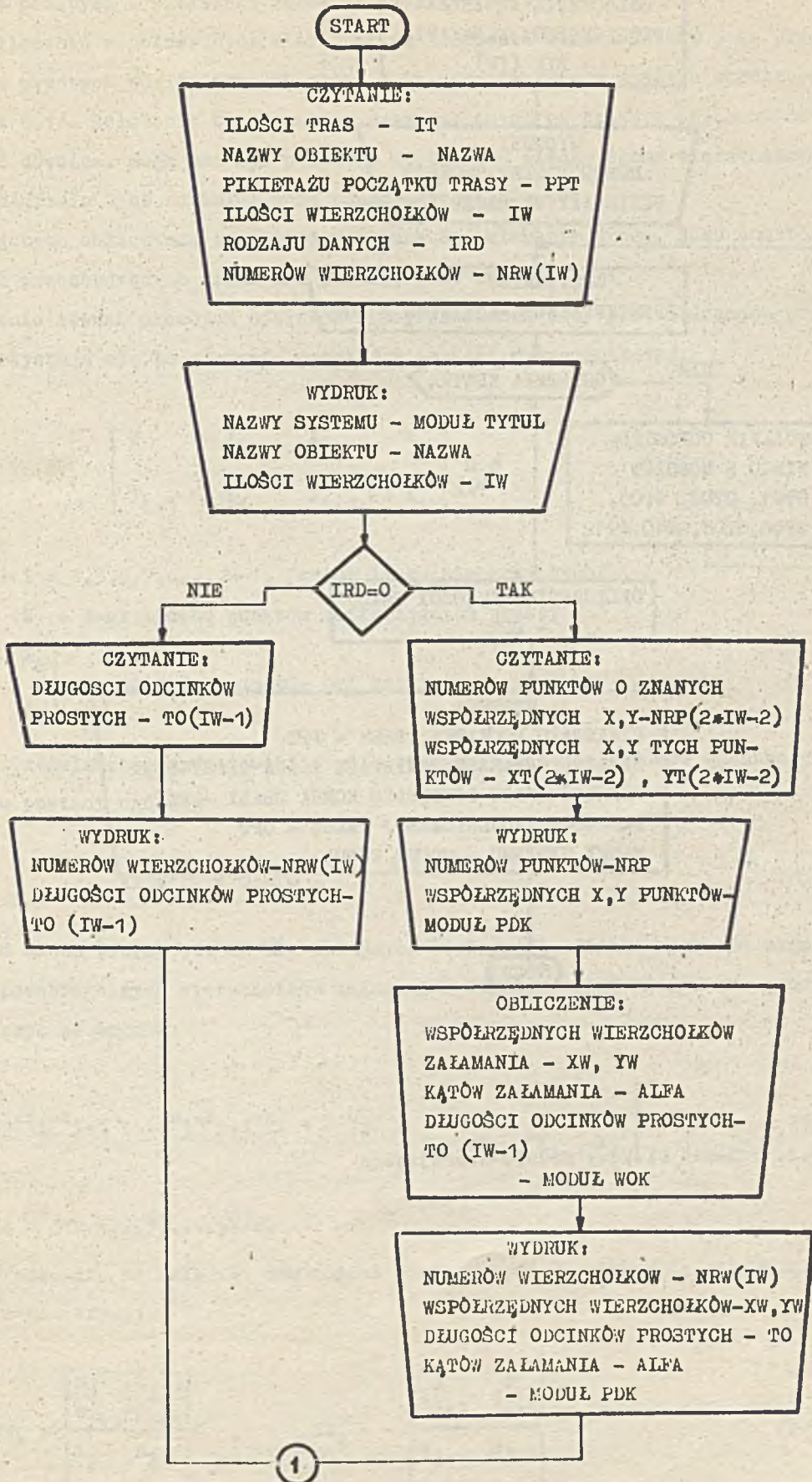
System GT posiada strukturę modułową.

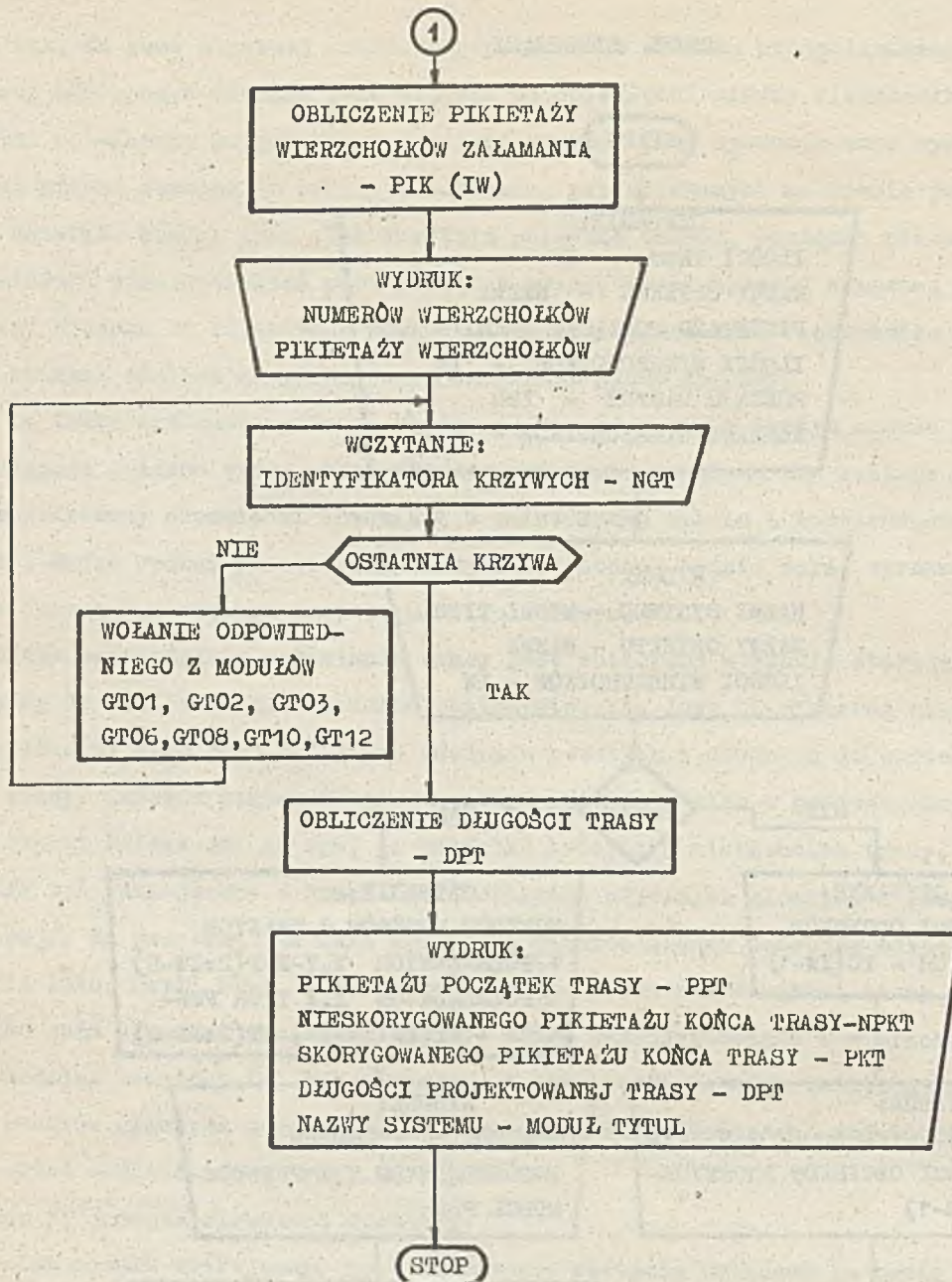
Zadaniem modułu sterującego jest sterowanie całością obliczeń na bazie podstawowych danych oraz wykonanie obliczeń wstępnych i końcowych. I tak dokonuje on obliczenia współrzędnych x, y wierzchołków załamania trasy, kątów załamania oraz długości odcinków prostych, czyli odległości między wierzchołkami załamania /moduły elementarne PDK i WOK/. Ponadto określa on pikietaż wierzchołków załamania oraz długość projektowanej trasy. Na podstawie wartości identyfikatora krzywych NGT jest wywoływany odpowiedni moduł obliczeniowy. Moduł elementarny TYTUL wywołuje się na początku i na końcu obliczeń.

Szczegółowy opis czynności modułu sterującego w postaci schematu blokowego przedstawia rysunek 5.2.

Moduł PDK drukuje informacje dotyczące osi trasy. Są to współrzędne punktów określające oś trasy i ich numery. Następnie, po dokonaniu niezbędnych obliczeń modułem WOK, drukuje się współrzędne wierzchołków załamania trasy i ich numery, wartości kątów załamania w gradach oraz długości odcinków prostych trasy, czyli odległości między wierzchołkami załamania.

MODUŁ STERUJĄCY





Rys.5.2. Schemat blokowy modułu sterującego

Jak już wcześniej wspomniano, moduł WOK współpracuje z modułem PDK i wykonuje tylko obliczenia. Są to obliczenia dotyczące współrzędnych wierzchołków załamania trasy, długości odcinków prostych i wielkości kątów załamania trasy.

Obliczenie współrzędnych wierzchołków załamania realizuje się jako przecięcie dwóch odcinków prostych zdefiniowanych przez dwie pary punktów o znanych współrzędnych /rysunek 5.1/. Położenie tych punktów wyznaczających oś trasy w stosunku do wierzchołków może być dowolne. Mogą one być położone na odcinku między dwoma wierzchołkami, jak również na przedłużeniu tych odcinków poza punkty wierzchołkowe.

Algorytm obliczania współrzędnych punktów załamania trasy, jako punktów przecięcia prostych przechodzących przez dwa punkty, jest następujący:

1/ ułożenie równań prostych odcinków trasy /równania osi/ przechodzących przez dwa punkty.

Wykorzystuje się tu równanie prostej w postaci wyznaczkowej:

$$\begin{vmatrix} Y & -Y_1 & X & -X_1 \\ Y_{i+1} & -Y_i & X_{i+1} & -X_i \end{vmatrix} = 0 \quad /5.1/$$

gdzie $i = 1, 3, 5, 7, \dots, N-1$, /zbiór liczb nieparzystych/

N - jest liczbą punktów definiujących trasę,

$\left. \begin{matrix} X_i \\ Y_i \end{matrix} \right\}$ - współrzędne punktów osi trasy.

2/ przez rozwinięcie wyznacznika /5.1/ otrzymuje się dla każdego odcinka prostego równanie w postaci ogólnej

$$Ax + By + C = 0 \quad /5.2/$$

Układ dwóch takich równań dla kolejnych sąsiednich odcinków pozwala określić współrzędne poszczególnych wierzchołków załamania. Współczynniki kierunkowe prostej A i B można obliczyć ze wzorów:

$$A_j = Y_1 - Y_{i+1}, \quad B_j = X_{i+1} - X_1, \quad C_j = \begin{vmatrix} -Y_1 & -X_1 \\ Y_{i+1} - Y_1 & X_{i+1} - X_1 \end{vmatrix} \quad /5.3/$$

gdzie $j = 1, 2, 3, \dots, N/2$.

3/ opierając się na układzie dwu równań liniowych /5.2/ otrzymuje się współrzędne punktów załamania trasy:

$$X_{W_k} = \frac{\begin{vmatrix} B_j & C_j \\ B_{j+1} & C_{j+1} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_j & B_j \\ A_{j+1} & B_{j+1} \end{vmatrix}}, \quad Y_{W_k} = - \frac{\begin{vmatrix} A_j & C_j \\ A_{j+1} & C_{j+1} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_j & B_j \\ A_{j+1} & B_{j+1} \end{vmatrix}} \quad /5.4/$$

gdzie $k = 1, 2, 3, \dots, N/2-1$

Wartości kątów α_k załamania trasy wyznacza się po obliczeniu wartości kątów wierzchołkowych β_k /rys.5.1a/, czyli

$$\alpha_k = 200^g - \beta_k \quad /5.5/$$

gdzie $k = 2, 3, 4, \dots, IW-2$,

IW - liczba wierzchołków /patrz rozdział 6/

$$\beta_k = \arctg \left(\frac{(XW_{k+2} - XW_{k+1}) \cdot (YW_k - YW_{k+1}) - (XW_k - XW_{k+1}) \cdot (YW_{k+2} - YW_{k+1})}{(XW_{k+2} - XW_{k+1}) \cdot (XW_k - XW_{k+1}) + (YW_{k+2} - YW_{k+1}) \cdot (YW_k - YW_{k+1})} \right) \quad /5.6/$$

We wzorze /5.6/ XW_k i YW_k oznaczają współrzędne kolejnych punktów załamania trasy, a $k = 1, 2, 3, \dots, IW$.

Długości odcinków prostych trasy, czyli odległości między wierzchołkami załamania określa wzór:

$$TO_i = \sqrt{(XW_{k+1} - XW_k)^2 + (YW_{k+1} - YW_k)^2} \quad /5.7/$$

gdzie: TO - tablica długości odcinków prostych,

$i = 1, 2, 3, \dots, IW-1$,

$k = 1, 2, 3, \dots, IW$,

IW - liczba wierzchołków.

Zadaniem modułu TYTUL jest wydrukowanie nazwy systemu: GEOMETRIA TRASY jako kompozycji liter występujących w tej nazwie. Nazwa systemu jest drukowana na początku obliczeń i po ich zakończeniu.

Jak już wspomniano, system GT ma strukturę modułową. Poza głównym segmentem wyróżnia się dwa rodzaje podprogramów - modułów:

1/ moduły obliczeniowe,

2/ moduły elementarne.

Moduły obliczeniowe dotyczą konkretnego zespołu krzywych, projektowanego w załamaniu odcinków prostych i stanowią praktycznie samodzielne zadanie. W systemie GT przewidziano 12 modułów obliczeniowych. Każdy moduł obliczeniowy daje pełną informację o konkretnym odcinku krzywoliniowym.

Moduły elementarne pełnią rolę usługową dla modułów obliczeniowych i mogą być wykorzystywane przez jeden lub kilka modułów obliczeniowych. Wśród modułów elementarnych można wyróżnić takie, które spełniają określone zadania cząstkowe w systemie, jak również i takie, które dla tych ostatnich wykonują pewne czynności fragmentaryczne.

Poniżej zostaną przedstawione zadania, krótka charakterystyka i schematy blokowe poszczególnych modułów obliczeniowych i elementarnych.

Moduł obliczeniowy GTO1 - Łuk kołowy

Do określenia wielkości do tyczenia w terenie łuku kołowego zastosowano metodę prostokątną według okrągłego pikietażu. Punkty pośrednie, oprócz współrzędnych, otrzymują oznaczenie hektometra. Szczegółowy opis metody oraz algorytm obliczania współrzędnych punktów pośrednich podano w rozdziale 4. Obliczenie współrzędnych punktów pośrednich realizowane jest za pomocą modułu elementarnego WPLUK.

W zależności od potrzeb można obliczyć tylko wielkości odnoszące się do punktów głównych łuku kołowego /elementy główne/ lub można też elementy główne liczyć łącznie ze współrzędnymi punktów pośrednich, które wykorzystuje się przy tyczeniu osi trasy w terenie.

Można również wprowadzać dowolną liczbę zestawów danych i otrzymywać odpowiednią liczbę wyników obliczeń. Uzyskuje się to za pomocą zmiennej sterującej K, dla której nadana wartość $K=0$, powoduje kontynuację obliczeń. Jednorazowy przebieg działania modułu GTO1 lub zakończenie kilku przebiegów wymaga nadania na zmienną K wartości różnej od zera. Wszystkie wielkości liniowe, oprócz oznaczenia hektometra, są podawane w jednostkach metrycznych z dokładnością 1 mm, a wielkości kątowe w mierze gradowej i jej podwielokrotnościach z dokładnością 0.1^{cc} .

Moduł obliczeniowy GTO1 składa się z dwóch modułów elementarnych. Są to moduły typu SUBROUTINE o nazwach WPLUK i LUK. Moduł WPLUK jest wywoływany w module GTO1, natomiast moduł elementarny LUK jest wywoływany tylko w WPLUK.

Moduł obliczeniowy GTO2 - Podwójny łuk koszowy

Elementy do tyczenia /współrzędne punktów pośrednich łuków/ są określane za pomocą modułu elementarnego WPLUK. Obliczenia są wykonywane na podstawie danych dla siedmiu najczęściej spotykanych przypadków, dla których można wprowadzać dowolną liczbę zestawów danych.

Moduł obliczeniowy GTO3 - Potrójny łuk koszowy

Moduł GTO3 wczytuje dane i steruje przebiegiem procesu obliczeniowego, wywołując moduł LUKIST dla wykonania wszystkich obliczeń z wydrukami ich wyników, łącznie z obliczeniem współrzędnych punktów pośrednich. Moduł LUKIST wywołuje moduł WPLUK. Obliczenie wykonuje się dla wszystkich możliwych układów geometrycznych potrójnego łuku koszowego /rysunki 4.3 i 4.4/. Biorąc pod uwagę sześć z dziewięciu wielkości głównych, określających potrójny łuk koszowy, które muszą być podane, uzyskuje się pięć wariantów obliczeniowych, wprowadzając przy tym dowolną liczbę zestawów danych.

Moduł obliczeniowy GTO6 - Łuk kołowy z dwoma kłotoidami

Kłotoidy te mogą być symetryczne, a więc o jednakowych parametrach lub niesymetryczne. Ponadto moduł GTO6 określa wielkości do tyczenia w terenie tak projektowanego zespołu krzywych. Opierając się na danych początkowych można prowadzić dziesięć wariantów obliczeniowych dla dowolnej liczby zestawów danych.

Z modułem GT06 współpracują moduły elementarne: EKLOT obliczający elementy klotoidy, WPKIL określający współrzędne punktów pośrednich, położonych na obu klotoidach i łuku kołowym w zadanej wzajemnej odległości oraz WPLUK wyznaczający współrzędne punktów pośrednich łuku kołowego. Szczegółowy opis tych modułów elementarnych jest zawarty w następujących rozdziałach.

Moduł obliczeniowy GT08 -- Podwójny łuk koszykowy z trzema klotoidami

GT08 zawiera w swej strukturze 9 modułów elementarnych /rys.5.3/. W tej liczbie znajduje się podprogram TRANSF, który działa tylko w wersji "odrowskiej" /ODRA 1304 z pisakiem xy/. Moduł TRANSF przygotowuje współrzędne punktów w jednym układzie dla wszystkich krzywych oraz wykonuje rysunek tych krzywych z ich elementami. Stanowi to dodatkową kontrolę poprawności wykonanych obliczeń.

Warto wspomnieć jeszcze o module elementarnym RZEDNA. Pozwala on obliczyć dodatkowo współrzędne prostokątne punktów położonych na łuku kołowym od stycznej wystawionej w punkcie już określonym, dla którego rzędna Y jest jeszcze mniejsza od 20 m. Rzędna Y liczona jest od stycznej w punkcie początkowym łuku. Punkty łuku, których rzędna $Y > 20$ m, mają obliczone dodatkowe współrzędne właśnie o nowo wyznaczonej stycznej.

Moduł GT10 -- Biklotoida

Moduł GT10 stwarza 18 możliwości rozwiązania biklotoidy. Oblicza on elementy dla biklotoidy symetrycznej i niesymetrycznej.

Z modułem GT10 współpracuje 12 modułów elementarnych. Jego strukturę pokazano na rysunku 5.4.

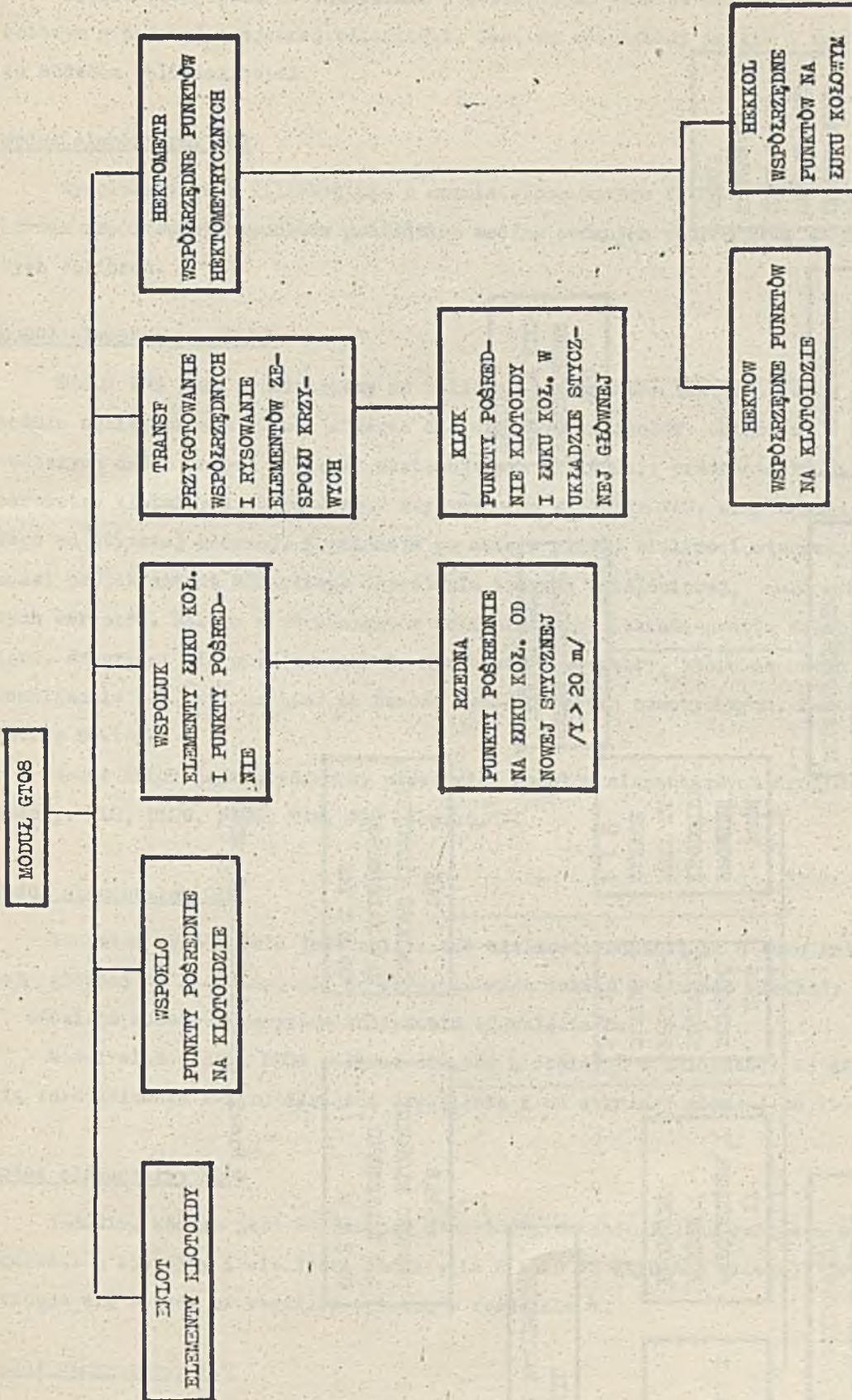
MODUL obliczeniowy GT12 -- Łuk kołowy z parabolami stopnia trzeciego z uwzględnieniem poszerzenia skrajni budowli

Program automatycznie uwzględnia w wartościach współrzędnych każdego wyznaczanego punktu toru krzywoliniowego odpowiednią wartość poszerzenia skrajni budowli. Na łuku kołowym jest to wartość stała, natomiast na krzywej przejściowej jest to wartość zmienna.

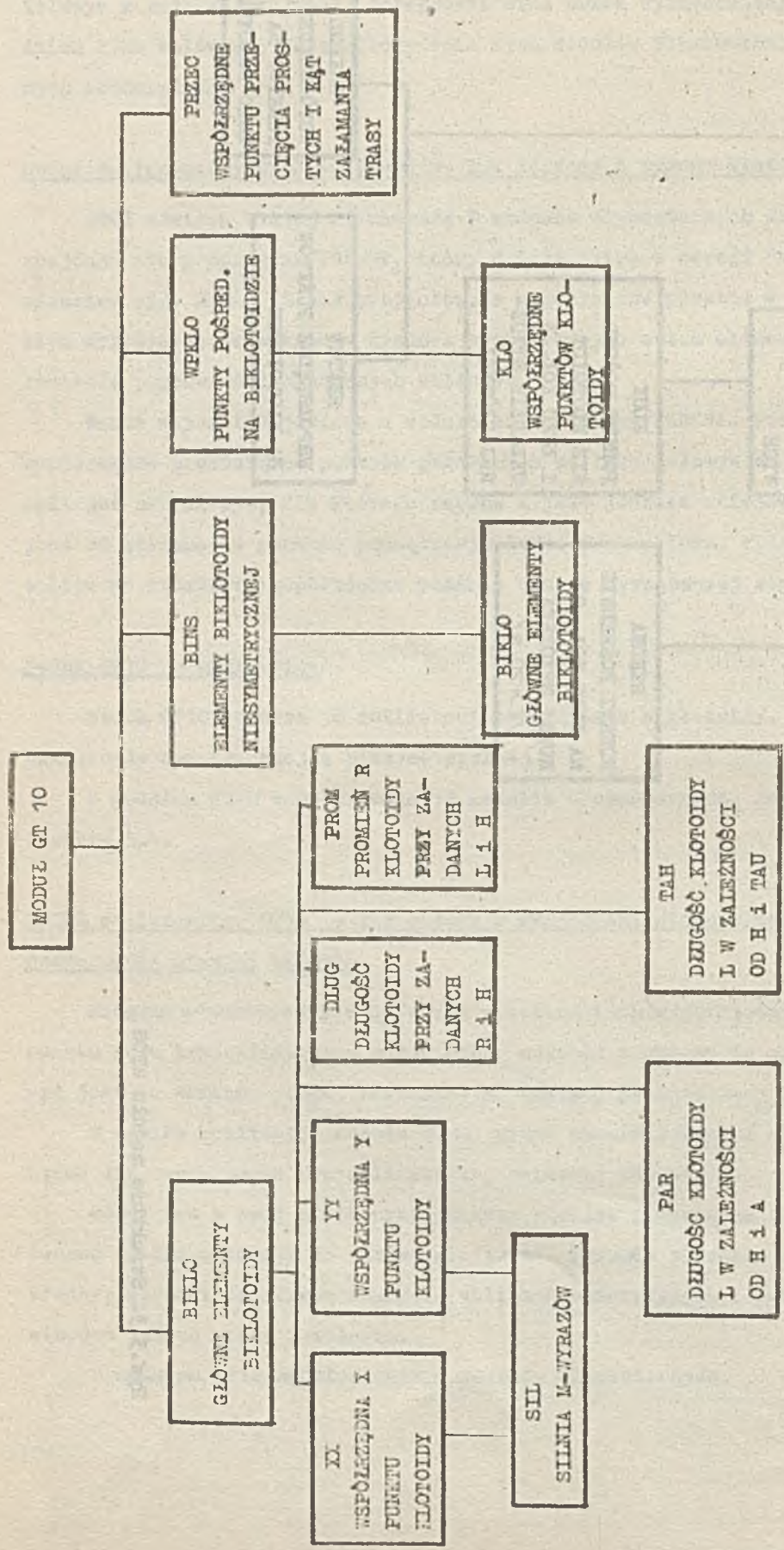
W wyniku realizacji modułu GT12 można otrzymać wyniki obliczeń dla jednego toru, a także dla dwóch torów krzywoliniowych, zależnie od potrzeb.

Moduł ten w swej strukturze zawiera również podprogram na graph-plotter, który przetwarza wyniki obliczeń na postać graficzną. Rysunek wykonany za pomocą pisaka XY jest dokładny, stanowi dodatkową kontrolę obliczeń numerycznych i pozwala w dużym stopniu wyeliminować żmudną pracę kreślarza.

Z modułem GT12 współpracuje 8 modułów elementarnych.



Kys.5.3. Struktura modułu GTO8



Rys.5.4. Struktura modułu GT10

Moduł elementarny WPLUK

Przeznaczony jest do obliczania współrzędnych punktów pośrednich położonych na łuku kołowym w żądanej wzajemnej odległości. Jest on wywoływany prawie w każdym z opisywanych tu modułów obliczeniowych.

Moduł elementarny LUK

Wywoływany jest kilkakrotnie w module elementarnym WPLUK i jest przeznaczony do obliczania współrzędnych punktów pośrednich według podanych wzorów oraz do drukowania wyników tych obliczeń.

Moduł elementarny EKLOT

Moduł ten jest przeznaczony do obliczania elementów klotoidy. Jest on wywoływany w module obliczeniowym GTO6 i stwarza dla niego 10 wariantów obliczeń, w zależności od wprowadzonych dwóch danych z pięciu następujących wielkości: promienia R , długości klotoidy L , parametru klotoidy A , kąta zwrotu stycznych do klotoidy τ , oraz odsunięcia H łuku kołowego od stycznej głównej. Kombinacje po dwie z pięciu wielkości stwarzają szerokie możliwości projektantowi właściwego określenia krzywej przejściowej, stosownie do zaistniałych warunków. Połowa z 10 wariantów obliczeniowych posiada proste zależności matematyczne. Natomiast dla pięciu należało opracować nowe wzory, które są mocno skomplikowane. Rozwiązanie ich jest możliwe za pomocą typowych metod numerycznych. Zastosowano tu metodę Newtona.

Moduł EKLOT jest wspomagany przez pięć modułów elementarnych drugiego stopnia. Są to moduły: ODS, DLUG, PROM, TAH, PAR /rys.6.1/.

Moduł elementarny ODS

Zadaniem tego modułu jest obliczanie wielkości odsunięcia H łuku kołowego od stycznej głównej do klotoidy, gdy są dane: promień łuku R i długość klotoidy L . W rozdziale 4. omówiono metodę numeryczną obliczenia odsunięcia H .

Moduł elementarny DLUG oblicza długość klotoidy L w zależności od długości promienia łuku kołowego R i od wartości odsunięcia H od stycznej głównej do klotoidy.

Moduł elementarny PROM

Zadaniem modułu jest obliczenie długości promienia R łuku kołowego w zależności od długości L klotoidy i wielkości odsunięcia H łuku od stycznej głównej. Do tego celu stosuje się metodę szczegółowo opisaną w rozdziale 4.

Moduł elementarny PAR

Przeznaczony jest do obliczania długości klotoidy L , gdy są dane: parametr A klotoidy i odsunięcie H łuku kołowego od stycznej głównej. Algorytm postępowania jest podobny do metody opisanej w rozdziale 4.

Moduł elementarny TAH

Moduł oblicza długość klotoidy L, gdy znane są:

- 1/ odsunięcie H łuku kołowego od stycznej głównej do krzywej przejściowej,
- 2/ kąt TAU zwrotu stycznych do klotoidy.

Moduł elementarny WPKIL

Zadaniem modułu jest obliczenie współrzędnych punktów pośrednich, położonych na klotoidzie i łuku kołowym, w układzie stycznych do krzywych przejściowych. Do wspomagania tego modułu są przeznaczone moduły elementarne KLO i KIL.

Przyjęta metoda obliczeń pozwala określić współrzędne punktów pośrednich o zadanym pikiecieżu.

Moduł elementarny KLO

Wywoływany jest w module WPKIL. Jego zadaniem jest obliczanie i wydruk współrzędnych punktów położonych na klotoidzie w układzie stycznej głównej.

Moduł elementarny KIL

Przeznaczony jest do obliczania i wydruku współrzędnych punktów pośrednich, położonych na łuku kołowym, w układzie stycznej głównej do klotoidy. Metoda obliczeniowa jest opisana w rozdziale 4.

6. CHARAKTERYSTYKA I ZASADY EKSPLOATACJI SYSTEMU GT

System GT /GEOMETRIA TRASY/ jest przeznaczony do obliczania elementów geometrycznych osi trasy w płaszczyźnie poziomej /x,y/ oraz do obliczania danych niezbędnych do wyznaczenia w terenie projektu trasy. Umożliwia on obliczenie trasy komunikacyjnej o dowolnej długości, a także wielu tras jednocześnie, jak również tylko pojedynczego odcinka krzywoliniowego /np. łuku kołowego, łuku kieszowego itp/. Za pomocą tego systemu można również uzyskać tylko częściowe wyniki obliczeń, np. wielkości określające punkty główne osi trasy.

System GT może być stosowany przez jednostki projektujące trasy komunikacyjne /drogi, autostrady, koleje, trasy miejskie/. Można go wykorzystywać we wszystkich fazach opracowywania projektu /założenia techniczno-ekonomiczne, projekt wstępny, projekt techniczny/, ponieważ pozwala na modyfikację danych wejściowych, wariantowanie obliczeń i uzyskiwanie wyników tylko częściowych /elementy główne/ bez wielkości do tyczenia w terenie.

Ponadto ma on duże zastosowanie w przedsiębiorstwach geodezyjnych przy tzw. geodezyjnym opracowaniu projektu /obliczanie elementów do wyniesienia projektu w terenie/.

Był on stosowany przy opracowywaniu projektu Centralnej Magistrali Kolejowej oraz przy opracowywaniu projektu modernizacji linii kolejowej hutniczo-siarkowej.

Jak powiedziano w rozdziale 2 w zakresie obliczeń geometrii tras system GT jest systemem oryginalnym. Istniejące systemy krajowe oraz stosowany w Polsce amerykański system COGO nie obejmują tych zagadnień, co GT. System GT oblicza automatycznie całą trasę z jej wielkościami do tyczenia w terenie. Automatyczne wydawanie wyników obliczeń dla całej trasy wyróżnia go zdecydowanie od stosowanych systemów krajowych i zagranicznych, gdzie wyniki są wyprowadzane dla pojedynczego wierzchołka bez kompleksowego powiązania z całą trasą. Ponieważ jednak często zachodzi potrzeba wykonywania obliczeń tylko dla pojedynczego odcinka krzywoliniowego w kilku wariantach, to taką możliwość system GT również zapewnia.

Szeroki wachlarz zagadnień podstawowych i złożonych z zakresu geometrii trasy oraz duże możliwości wprowadzania danych i wyprowadzania wyników obliczeń czynią system GT dość uniwersalnym w omawianym zakresie.

System GT jest opracowany w języku algorytmicznym FORTRAN IV dla maszyn cyfrowych IBM 370/145 i JS RIAD R-32 /a także R-20/. Działa on także na maszynach ODRA z serii 1300 w wersji języka FORTRAN 1900. W tej wersji niektóre moduły obliczeniowe posiadają w swej strukturze podprogramy rysujące. Ma on strukturę modułową. Segment główny programu /MAIN/ pełni rolę modułu sterującego. Rozróżnia się dwa rodzaje podprogramów modułów: 1/ obliczeniowe, 2/ elementarne. Moduły obliczeniowe dotyczą konkretnego zespołu krzywych, projektowanego w załamaniu odcinków prostych i stanowią praktycznie samodzielne zadanie. Moduły elementarne pełnią rolę usługową dla modułów obliczeniowych i mogą być wykorzystywane przez jeden lub kilka modułów obliczeniowych. Wśród modułów elementarnych można wyróżnić takie, które spełniają określone zadania odcinkowe w systemie, jak również i takie, które dla tych ostatnich wykonują pewne czynności fragmentaryczne.

Strukturę systemu obrazuje rysunek 6.1.

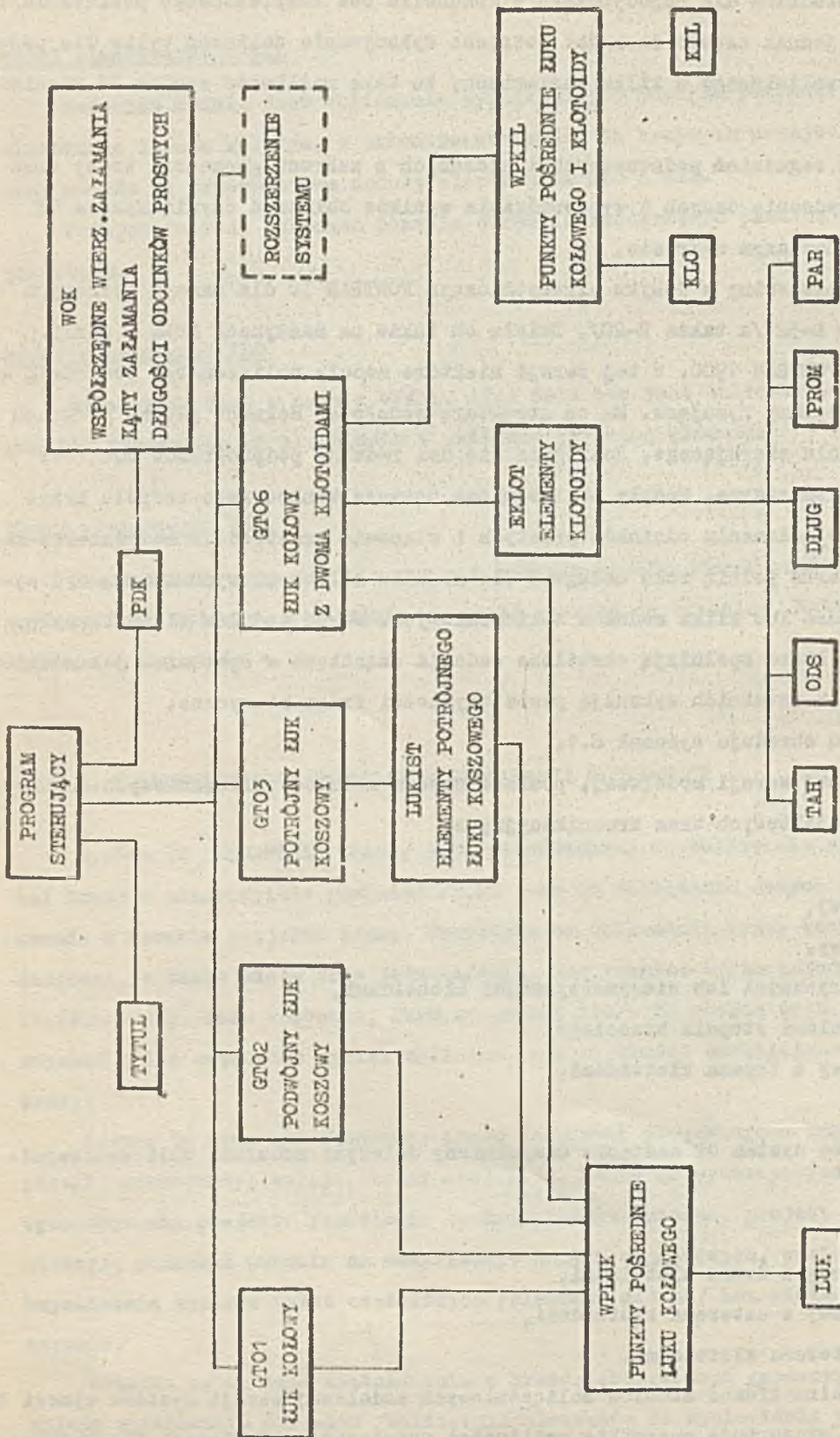
System, we wstępnej wersji modelowej, posiada siedem modułów obliczeniowych do następujących rozwiązań projektowych tras komunikacyjnych:

- 1/ łuk kołowy,
- 2/ podwójny łuk koszowy,
- 3/ potrójny łuk koszowy,
- 4/ łuk kołowy z symetrycznymi lub niesymetrycznymi klotoidami,
- 5/ łuk kołowy z parabolami stopnia trzeciego,
- 6/ podwójny łuk koszowy z trzema klotoidami,
- 7/ biklotoida,

Przewiduje się, że system GT zostanie uzupełniony dalszymi modułami obliczeniowymi:

- 8/ łuk odwrotny,
- 9/ serpentyna,
- 10/ podwójny łuk koszowy z dwoma klotoidami,
- 11/ potrójny łuk koszowy z czterema klotoidami,
- 12/ łuk odwrotny z czterema klotoidami.

Zakładana maksymalna liczba modułów obliczeniowych modelowej wersji systemu wynosi 12. Ta liczba praktycznie wyczerpuje wszystkie możliwości rozwiązań projektowych dla krzywoliniowych odcinków tras. Możliwe jest jednak rozszerzenie systemu o większą liczbę modułów,



rys.6.1. Struktura systemu GT

bądź wymiana istniejących na inne tematycznie.

Wśród modułów przewidzianych do uzupełnienia systemu GT praktycznie tylko potrójny łuk koszowy z czterema kłotoidami nie jest jeszcze opracowany. Pozostałe działają jako samodzielne jednostki programowe i nie są jeszcze przystosowane do organizacji systemu.

Wprowadzenie danych do systemu GT odbywa się w module sterującym oraz w modułach obliczeniowych. W module sterującym są wczytywane informacje podstawowe o całej trasie, natomiast w poszczególnych modułach obliczeniowych wprowadza się informacje charakteryzujące właściwy dla danego modułu odcinek krzywoliniowy trasy.

Kontrolę poprawności wprowadzonych danych do systemu GT stanowi wydruk wartości tych danych na drukarce oraz dodatkowo w niektórych modułach stosuje się wydruk odpowiednich komunikatów.

Ponadto doskonałą kontrolę, zarówno danych wejściowych, jak i wyników obliczeń, stanowi rysunek właściwych krzywych wykonany na pisaku XY. Takie właśnie rysunki realizują niektóre moduły /GT12, GTO3, GTO8/.

Organizację wprowadzania danych przedstawia rys. 6.2.

W module sterującym są wprowadzane następujące informacje o trasie:

- IT - ilość tras,
- NAZWA - nazwa projektowanego obiektu,
- PPT - pikietaż /kilometraż/ początku trasy,
- IW - ilość wierzchołków załamania trasy, łącznie z punktem początkowym i końcowym,
- IRD - rodzaj wprowadzania danych, gdy $IRD=0$, to wczytuje się współrzędne i numery punktów określających oś trasy, gdy $IRD \neq 0$, to wczytuje się długości odcinków prostych,

NRW(IW)- tablica o wymiarze IW zawierająca numery wierzchołków załamania trasy.

Te informacje o trasie są jednakowe dla obydwu podstawowych rodzajów wprowadzania danych, to jest dla przypadków, gdy trasa jest zdefiniowana przez długość odcinków prostych i wartości kątów załamania oraz gdy trasa jest określona za pomocą punktów o znanych współrzędnych.

Ponadto, gdy trasa jest określona za pomocą długości odcinków łamanej, to wczytuje się:

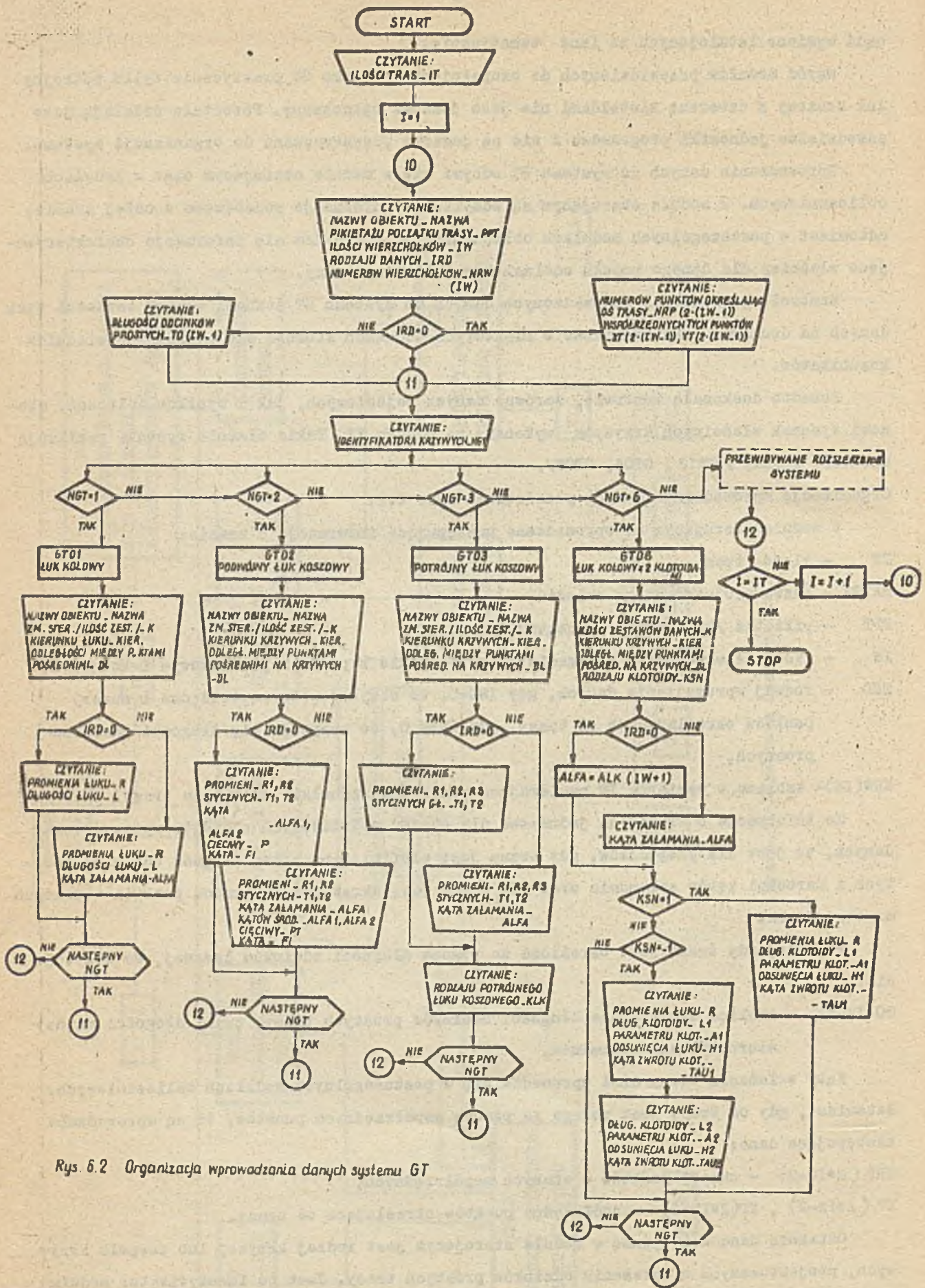
- TO(IW-1) - tablica zawierająca długości odcinków prostych trasy, czyli długości między wierzchołkami załamania.

Kąty załamania trasy ALFA wprowadza się w poszczególnych modułach obliczeniowych. Natomiast, gdy oś trasy jest podana za pomocą współrzędnych punktów, to są wprowadzane następujące dane:

- NRP ($2 \cdot IW - 2$) - numery punktów o znanych współrzędnych,
- XT ($2 \cdot IW - 2$), YT ($2 \cdot IW - 2$) - współrzędne punktów określające oś trasy.

Ostatnią daną wczytywaną w module sterującym jest rodzaj krzywej lub zespołu krzywych, projektowanych w załamaniu odcinków prostych trasy. Jest to identyfikator modułu obliczeniowego lub zwany dalej identyfikatorem krzywych, czyli:

NGT - identyfikator krzywych.



Rys. 6.2 Organizacja wprowadzania danych systemu GT

Poszczególne moduły obliczeniowe wymagają wprowadzenia do systemu odpowiednich dla danej krzywej informacji, które szczegółowo charakteryzuje się poniżej.

Przy projektowaniu łuku kołowego /Moduł GTO1/ wczytuje się:

- NAZWA - oznaczenie wierzchołka załamania, nazwa obiektu lub inne informacje objaśniające, daną krzywą /80 znaków alfanumerycznych/,
K - zmienna sterująca, pozwalająca wprowadzać dowolną liczbę zestawów danych. Gdy $K=0$, to jest następny zestaw danych, gdy $K \neq 0$, to brak kolejnego zestawu danych,
KIER - oznaczenie kierunku załamania trasy, gdy $KIER=1$; to łuk jest prawoskrętny, gdy $KIER=-1$, to łuk lewoskrętny,
DL - odległość między punktami pośrednimi na łuku kołowym. Jeżeli nie chcemy obliczać współrzędnych punktów pośrednich, to dla DL nadajemy wartość zero, $DL=0$.

Ponadto, gdy oś trasy została określona za pomocą długości odcinków łamanej /rys.5.1a/, to wprowadza się poniższe dane:

- R - długość promienia łuku kołowego,
L - długość łuku kołowego,
ALFA - wartość kąta załamania trasy, zwanego kątem zwrotu stycznych lub kątem środkowym łuku kołowego /w gradach/.

Natomiast, gdy oś trasy została określona za pomocą współrzędnych punktów, to wczytuje się R i L.

Do jednoznacznego określenia odpowiednich elementów łuku kołowego potrzebna jest znajomość dwóch z trzech wielkości R, L i ALFA. Dlatego przy wprowadzaniu tych wielkości, dla jednej z nich nadaje się wartość zero. Pozwala to na trzy warianty wprowadzania danych.

Do realizacji podwójnego łuku koszowego /Moduł GTO2/ potrzebne jest wprowadzenie wielkości: NAZWA, K, KIER, DL, które mają to samo znaczenie, co wyżej. Ponadto zależnie od wartości zmiennej IRD wczytuje się następujące wielkości określające elementy podwójnego łuku koszowego. Gdy oś trasy zdefiniowana jest długością odcinków łamanej, to wczytywane są:

- R1 - długość promienia pierwszego łuku kołowego,
R2 - długość promienia drugiego łuku kołowego,
T1 - długość stycznej głównej początkowej,
T2 - długość stycznej głównej końcowej,
ALFA - wartość kąta zwrotu stycznych /w gradach/,
ALFA1 - kąt środkowy pierwszego łuku kołowego /w gradach/,
ALFA2 - kąt środkowy drugiego łuku kołowego /w gradach/,
PT - długość cięciwy dla pierwszego łuku kołowego,
FI - kąt między styczną główną a cięciwą PT dla pierwszego łuku /rys.4.2./.

Dla osi trasy określonej za pomocą współrzędnych wczytuje się do systemu te same dane z wyjątkiem kąta załamania trasy - ALFA.

Do jednoznacznego i prawidłowego obliczenia elementów podwójnego łuku koszowego z podanych dziewięciu wielkości wystarczy znać cztery. Dla pozostałych pięciu podaje się wartość zero. W ten sposób uzyskuje się siedem wariantów obliczeniowych w tym module.

W module GTO3 projektującym potrójny łuk koszowy, podobnie jak w poprzednich, pierwsze cztery dane, tj. NAZWA, KIER, K, DL są takie same, a pozostałe mają następujące znaczenie:

- R1 - długość promienia pierwszego /początkowego/ łuku kołowego,
- R2 - długość promienia drugiego /środkowego/ łuku kołowego,
- R3 - długość promienia trzeciego /końcowego/ łuku kołowego,
- T1 - długość stycznej głównej początkowej,
- T2 - długość stycznej głównej końcowej,
- ALFA - kąt załamania trasy.

Dane te są wprowadzane do systemu GT dla przypadku, gdy oś trasy jest określona za pomocą długości odcinków łamanej, natomiast dla osi trasy określonej za pomocą współrzędnych wprowadza się tylko pięć pierwszych danych bez kąta zwrotu stycznych - ALFA.

Ponadto wczytuje się jeszcze jedną daną, oznaczającą rodzaj potrójnego łuku koszowego, czyli

- KLK - rodzaj potrójnego łuku koszowego /patrz rozdział 4 i rysunki 4.3 i 4.4/. Gdy $KLK=0$, to jest to układ geometryczny potrójnego łuku koszowego, w którym promień R2 jest największy /rys.4.3/. Gdy $KLK \neq 0$, to jest to zespół krzywych o rosnących lub malejących kolejno promieniach R1, R2, R3 /rys.4.4/. Wielkość ta, wraz z poprzednimi, pozwala na pięć wariantów obliczeń.

Moduł obliczeniowy GTO6, dotyczy łuku kołowego z symetrycznymi i niesymetrycznymi kłotoidami, wymaga wprowadzenia 11 lub 15 danych, zależnie od sposobu zdefiniowania trasy. Dla obydwu sposobów wprowadzane są najpierw:

- NAZWA - oznaczenie wierzchołka załamania trasy i jego kilometraż, nazwa obiektu itp.,
- K - liczba zestawów danych,
- KIER - oznaczenie kierunku załamania trasy. Dla kierunku prawoskrętnego $KIER=1$, dla kierunku lewoskrętnego $KIER=-1$,
- DL - odległość między punktami pośrednimi na łuku kołowym i kłotoidach,
- KSN - zmienna sterująca oznaczająca symetryczną i niesymetryczną kłotoidę. Dla kłotoid symetrycznych $KSN=1$, dla kłotoid niesymetrycznych $KSN=-1$.

Dla osi trasy określonej przez długości odcinków łamanej oraz przy projektowaniu kłotoid symetrycznych wczytuje się następujące dane:

- ALFA - wartość kąta załamania trasy,
- R - długość promienia łuku kołowego,
- L1 - długość kłotoidy początkowej równa długości kłotoidy końcowej,
- A1 - parametr kłotoidy,
- H1 - odsunięcie łuku kołowego od stycznej głównej,
- TAU1 - kąt zwrotu stycznych do kłotoidy.

Dla kłotoid niesymetrycznych wczytuje się, oprócz powyższych, dodatkowa dana, odnosząca się do kłotoidy końcowej:

- L2 - długość klotoidy,
- A2 - parametr klotoidy,
- H2 - odsunięcie łuku kołowego od stycznej głównej końcowej,
- TAU2 - kąt zwrotu stycznych do klotoidy końcowej.

Dla osi trasy określonej przez punkty o znanych współrzędnych wprowadza się w tym module takie same dane, jak wyżej, z wyjątkiem kąta załamania trasy - ALFA.

Do prawidłowego obliczenia elementów łuku kołowego z symetrycznymi lub niesymetrycznymi klotoidami wystarczy znajomość kąta ALFA i dwie z pozostałych pięciu wielkości określających łuk kołowy i krzywą przejściową. W związku z tym przedstawione zestawy danych pozwalają na stworzenie 10 wariantów obliczeniowych.

Moduł obliczeniowy GT08, rozwiązujący podwójny łuk koszowy z trzema klotoidami, wymaga wprowadzenia następujących danych:

- R1 - długość promienia pierwszego łuku kołowego,
- R2 - długość promienia drugiego łuku kołowego,
- TT1 - długość stycznej głównej początkowej,
- TT2 - długość stycznej głównej końcowej,
- GAMA - wartość kąta załamania trasy /w gradach/,
- KW - pikietaż wierzchołka załamania trasy,
- VMAX - maksymalna prędkość ruchu na trasie w km/h,
- HMAX - wartość maksymalnej przechyłki w mm,
- DL - odległość między punktami pośrednimi na krzywych,
- K - zmienna sterująca liczbą zestawów danych. Jeżeli $K \neq 0$, to jest następny zestaw danych, dla $K=0$ brak kolejnego zestawu danych wejściowych.

Aby jednoznacznie obliczyć elementy podwójnego łuku koszowego z trzema klotoidami wystarczy nadać tylko dla 9 z wymienionych zmiennych wartości różne od zera. Jeżeli jedna ze stycznych głównych, TT1 lub TT2, ma określoną wartość, to dla drugiej nadaje się wartość zero. W ten sposób uzyskuje się dwa warianty wprowadzenia danych.

Moduł GT08 nie stanowi jeszcze w pełni wymaganej jednostki strukturalnej w modelowej wersji systemu GT.

W module obliczeniowym GT10, projektującym zespół krzywych, w postaci biklotoidy, wprowadza się 13 lub 19 danych, zależnie od sposobu zdefiniowania trasy. Dla obydwu sposobów definiowania trasy przygotowuje się najpierw następujące dane: NAZWA, K, KIER, DL, KSN, które mają takie samo znaczenie, jak w module GT06.

Następnie dla osi trasy określonej przez długości odcinków łamanej i kąty załamania oraz przy projektowaniu symetrycznych biklotoid wczytuje się następujące dane:

- ALFA - wartość kąta załamania trasy,
- R - długość minimalnego promienia biklotoidy,
- L1 - długość klotoidy początkowej równa długości klotoidy końcowej,
- A1 - parametr klotoidy,
- H1 - odsunięcie łuku kołowego od stycznej głównej początkowej,

- TAU1 - kąt zwrotu stycznych do klotoidy,
- T1 - długość stycznej głównej do klotoidy początkowej,
- N1 - długość normalnej.

Dla biklotoidy niesymetrycznej wprowadza się, oprócz powyższych, dodatkowe dane, odnoszące się do klotoidy końcowej:

- L2 - długość klotoidy,
- A2 - parametr,
- H2 - odsunięcie łuku kołowego od stycznej głównej końcowej,
- TAU2 - kąt zwrotu stycznych do klotoidy końcowej,
- T2 - długość stycznej głównej końcowej,
- N2 - długość normalnej.

Jeżeli oś trasy jest określona za pomocą współrzędnych punktów, to wprowadza się takie same dane, z wyjątkiem kąta załamania trasy - ALFA.

Rozwiązanie łuku kołowego z parabolami stopnia trzeciego z uwzględnieniem poszerzenia akrajni budowli /moduł GT12/ wymaga wprowadzenia poniższych danych:

- NAZWA - nazwa obiektu, oznaczenie wierzchołka i inne informacje,
- R - długość promienia łuku kołowego dla osi toru wewnętrznego w m,
- L - długość krzywej przejściowej w torze wewnętrznym w m,
- N - odsunięcie łuku kołowego od stycznej głównej w m,
- B - rozstaw osi torów w m,
- ALFA - wartość kąta załamania trasy w mierze gradowej,
- DL - odległość między punktami pośrednimi na krzywych w m,
- KMW - pikietaż wierzchołka załamania trasy w m,
- K - zmienna sterująca, pozwalająca na wprowadzanie dowolnej liczby zestawów danych.

Gdy $K \neq 0$, to jest następujący zestaw danych, dla $K=0$ - brak.

Podstawowe wielkości: R, L i N są w programie modyfikowane, to znaczy, że z tych trzech wielkości tylko dwie mają podane konkretne wartości, a pozostała jest wyliczana. Stwarza to trzy warianty wprowadzania danych.

W modelowej wersji systemu GT moduł GT12 może być stosowany wtedy, gdy trasa została zdefiniowana za pomocą długości odcinków prostych i kątów załamania.

Jeżeli będzie wykorzystywane urządzenie rysujące /wersja "odrowaka"/, to należy jeszcze dodatkowo wprowadzić 15 danych.

Przy wydawaniu wyników obliczeń przyjęto zasadę, że najpierw podaje się informacje ogólne o trasie lub o jej odcinku krzywoliniowym, następnie drukuje się dane początkowe i na końcu przedstawia się szczegółowe wyniki obliczeń. Częściowo wyniki obliczeń realizuje moduł sterujący, ale zasadnicze wydruki wyników wykonuje się w poszczególnych modułach obliczeniowych.

W programie głównym drukuje się nazwę projektowanej trasy, liczbę wierzchołków załamania trasy, numery wierzchołków, długości odcinków prostych między wierzchołkami oraz pikietaż/kilometraż/ wierzchołków. Gdy oś trasy określa się współrzędnymi punktów, to drukuje się jeszcze numery i współrzędne x,y tych punktów oraz współrzędne wierzchołków

i kąty załamania. Wyniki te są przedstawione w odpowiednich tablicach. Ponadto podaje się pikietaż początku trasy, nieskorygowany i skorygowany pikietaż końca trasy oraz długość projektowanej trasy.

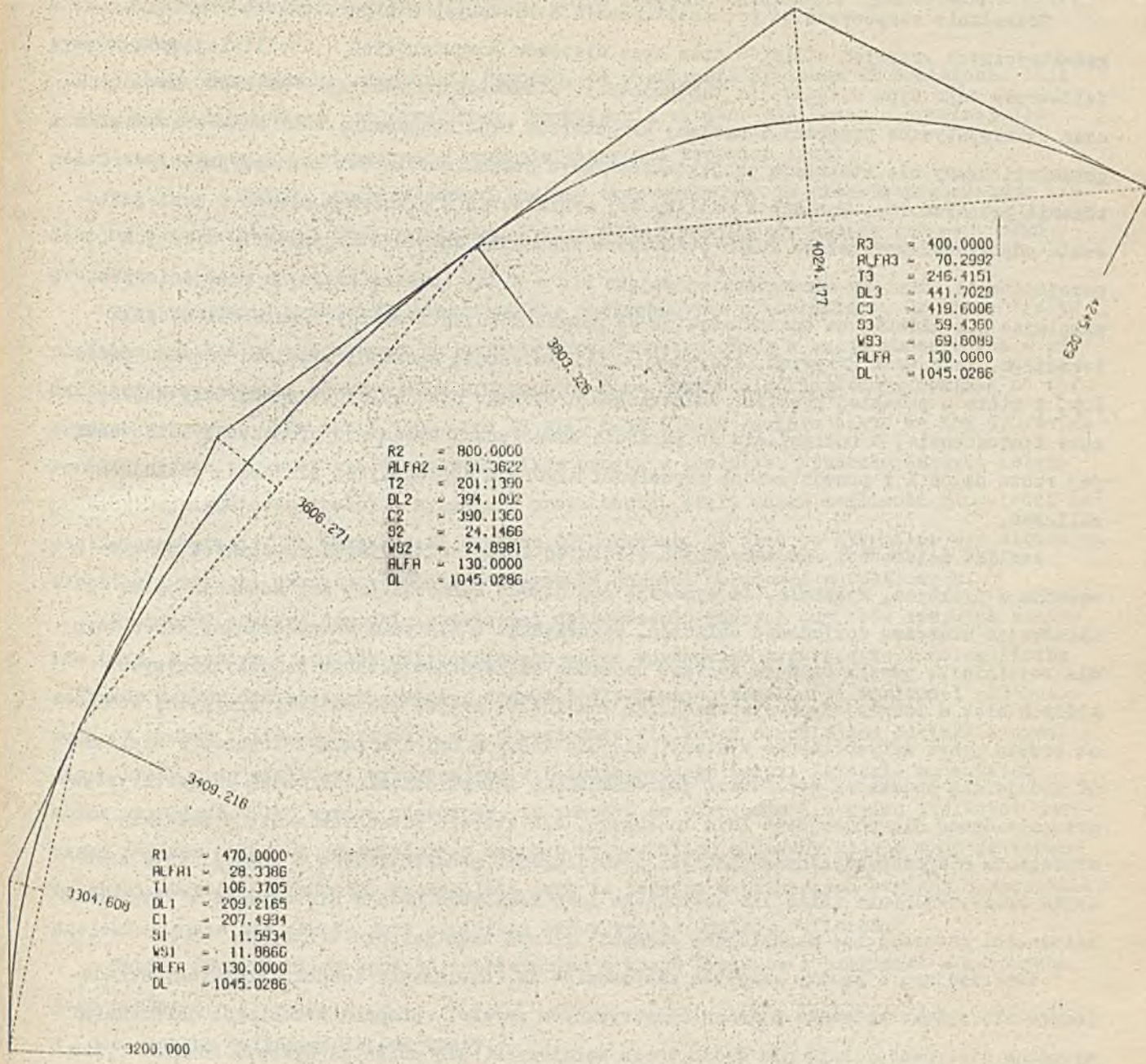
Forma wydruków w poszczególnych modułach obliczeniowych przedstawia się następująco:

- 1/ numer wierzchołka, jego kilometraż, nazwa trasy,
- 2/ nazwa krzywej lub zespołu krzywych, np "ZUK KOŁOWY",
- 3/ kierunek załamania trasy /np. łuk prawoskrętny/,
- 4/ dane początkowe,
- 5/ wyniki obliczeń, odnoszące się do punktów głównych krzywych,
- 6/ elementy charakteryzujące poszczególne krzywe,
- 7/ pikietaż punktów głównych,
- 8/ wielkości do tyczenia w terenie, czyli współrzędne i oznaczenie hektometra punktów pośrednich na poszczególnych krzywych.

W systemie przedstawiono dwie formy wydruków w modułach obliczeniowych. Jedna z nich polega na tym, że wartości liczbowe wyników są poprzedzone opisem wyjaśniającym i skrótem symbolu ich znaczenia. Druga forma polega na tym, że najpierw drukuje się oznaczenie symboli, a następnie skrót symbolu zmiennej i jej wartość liczbową. Ten ostatni sposób wydruków posiada moduł GT02 - podwójny łuk koszowy i GT12 - łuk kołowy z symetrycznymi parabolami stopnia trzeciego.

Podczas prowadzenia obliczeń wykonywane są kontrole poprawności obliczeń oraz sprawdzanie ciągłości krzywizn, to znaczy sprawdzanie, czy sąsiednie odcinki krzywoliniowe nie zachodzą na siebie /patrz rozdział 5./. Funkcje kontroli poprawności działania systemu przejmują na siebie moduły obliczeniowe.

W wersji systemu GT, która działa na maszynach cyfrowych ODRA z serii 1300, niektóre moduły obliczeniowe umożliwiają przedstawienie wyników obliczeń w postaci graficznej. Takie moduły, jak GT03, GT08, GT12, oprócz wydawnictwa wyników w postaci odpowiednich wydruków na drukarce wierszowej, dają rysunki krzywych z elementami do tyczenia w terenie /moduły GT12 i GT08/ lub rysunki z opisem podstawowych elementów krzywych /moduł GT02/. Przedstawione rysunki - 6.3 i 6.4 stanowią tylko przykładowe rozwiązanie graficzne. Możliwości rozwiązań graficznych może być wiele, w zależności od potrzeb użytkowników.



TRASA PROJEKTOWANA *** KM. 4.1

POTROJNY LUK KOSZOWY

SKALA RYSUNKU 1:2000

Rys. 6.4 Rysunek wykonany piórem XY

7. PODSUMOWANIE

Rozważania rozpoczęto od przeanalizowania stosowanych w projektowaniu rozwiązań geometrycznych krzywych odcinków tras oraz systemów komputerowych - umożliwiających projektowanie tego typu układów. Na tej podstawie sformułowano generalny wniosek, że dotychczas wykorzystywane programy i systemy komputerowe oraz obejmowany nimi zakres rozwiązań geometrii trasy nie stwarzają projektantowi zbyt dużych możliwości koncepcyjnych, wariantowania projektu itp. Ponadto z analizy tej wynikało, iż w problemie doboru i zaprojektowania odpowiedniego zestawu łuków podstawowe znaczenie znajduje zagadnienie krzywych przejściowych. Dlatego szczegółowiej zajęto się w pracy analizą krzywych przejściowych, skupiając się głównie na charakterystykach geometrycznych klotoidy i paraboli stopnia trzeciego, jako tych krzywych, które najlepiej gwarantują spokojny przejazd pojazdu przez łuk, i które w polskiej praktyce budownictwa drogowego oraz kolejowego znalazły najszerze zastosowanie. W odniesieniu do paraboli sześcienniej wysunięto propozycję obliczania jej rzutu na oś X i przedstawiono odpowiedni algorytm zapewniający niezbędną dokładność obliczeń.

Analiza zależności matematycznych w różnych zespołach krzywych, możliwych do stosowania w praktyce, wykazała, że wymagają one nowego opracowania, aby można je było, zachowując właściwą dokładność obliczeń, wykorzystać w systemie komputerowym. Wobec tego dla rozwinięcia projektowanego systemu omówiono szczegółowo złożone zespoły krzywych, których brak w istniejących systemach, jak również te krzywe lub zespoły krzywych, które są objęte przez dotychczasowe systemy, ale dla których np. dla łuku kołowego, w systemie GT podaje się dodatkowe możliwości jednoznacznego ich określenia. Ciekawą charakterystykę przeprowadzono dla podwójnego łuku koszowego, dla którego przedstawia się przedziały określenia długości stycznych głównych oraz długości promieni łuków w funkcji kąta załamania trasy. Podobnie także dla potrójnego łuku koszowego podaje się ciekawe i oryginalne zależności matematyczne określające elementy główne tego zespołu krzywych.

Interesujący i prosty algorytm zastosowano do rozwiązania zespołu krzywych, składającego się z łuku kołowego i dwóch symetrycznych parabol stopnia trzeciego. Obliczenia wykonuje się równocześnie dla dwóch torów kolejowych, ale można je wykonać również tylko dla jednego toru, z uwzględnieniem odpowiedniego poszerzenia skrajni budowli na długości krzywych przejściowych i łuku kołowego. Poprawność wyników tej metody, oprócz typowych zasad matematycznych, jest sprawdzana sposobem graficznym poprzez automatyczne wykreślenie rysunku za pomocą pisaka XY.

Podczas analizy zastosowania klotoidy w podwójnym łuku koszowym stwierdzono, że najważniejszym, z punktu widzenia płynności jazdy pojazdu, jest zespół krzywych składający się z klotoid na początku i końcu łuku koszowego oraz klotoidy między łukami kołowymi o różnych promieniach. Wyniki uzyskane za pomocą algorytmu tego rozwiązania są również kontrolowane metodą graficzną. Opracowano także algorytm i program dla zespołu krzywych, obejmującego podwójny łuk koszowy z dwoma klotoidami - na początku i na końcu łuku koszowego. Nie jest on opisany w tej pracy, ale może być wykorzystany w razie potrzeby jako samodzielny program i można go bez trudności w przyszłości włączyć do systemu GT,

w którego strukturze organizacyjnej przewidziano tę możliwość.

Również dla bikłotoidy stwarza się wiele możliwości określenia jej oraz wynikających z tego odpowiednich wzorów matematycznych. Można stosować bikłotoidę symetryczną i niesymetryczną.

W sumie wszystkie te rozważania dowodzą, że wykonywane systemem GT obliczenia dają możliwości wariantowania projektu trasy, uzyskiwania wyników dla trasy o dowolnej długości oraz zapewniają automatyczną kontrolę ciągłości krzywizn trasy.

Tak więc w wyniku przeprowadzonej analizy oraz wychodząc na przeciw nowoczesnym tendencjom w projektowaniu tras opracowano system GT automatyzujący pewien fragment tego procesu.

Przy tworzeniu systemu GT kierowano się następującymi przesłankami. Omawiany system powinien działać na komputerach najbardziej rozpowszechnionych w kraju obecnie lub w niedalekiej przyszłości. Dlatego więc uruchomiono go w języku algorytmicznym FORTRAN na maszynach cyfrowych ODRA serii 1300 oraz JS RIAD R-32 i R-20 /działa także na IBM 370/145/. Ponadto system ten musi być dla użytkowników prosty w obsłudze, stwarzać łatwość interpretacji wyników oraz spełniać wymagania projektanta, czyli dawać możliwość odpowiedzi na postawione pytania. Na przykładzie systemu GT pokazano, że jest to wykonalne bez większych kłopotów i stanowi skuteczny sposób polepszenia jakości opracowań projektowych.

System GT stwarza szerokie możliwości definiowania różnych zespołów krzywych odcinków tras. W każdym z modułów obliczeniowych można wprowadzać praktycznie dowolną liczbę zestawów danych dla różnych wartości danych i dla pewnych kombinacji wielkości podstawowych. W wyniku obliczeń otrzymuje się odpowiednie wielkości określające odcinki krzywoliniowe trasy oraz wielkości wyznaczające w terenie projekt trasy. Zależnie od potrzeb można uzyskiwać tylko wyniki częściowe, to znaczy, że otrzymuje się tylko wielkości dotyczące punktów głównych odpowiedniego zespołu krzywych lub elementy główne wraz ze współrzędnymi punktów pośrednich. Szczególnie jest to istotne w pierwszych etapach opracowania projektu, gdzie nie zawsze jest konieczny pełny zestaw wyników obliczeń.

System GT wyróżniają spośród istniejących w kraju systemów i programów następujące jego cechy:

1. dwa sposoby definiowania osi trasy,
2. różne możliwości rozwiązań zespołów krzywych,
3. kompleksowe opracowanie trasy,
4. wariantowe wydawanie wyników - elementy główne krzywych lub elementy główne z punktami pośrednimi krzywych,
5. Obliczanie dowolnej liczby tras jednocześnie,
6. automatyczne generowanie rysunków /niektóre moduły/.

System GT może być stosowany we wszystkich fazach opracowywania projektu przez jednostki projektujące trasy komunikacyjne /drogi, autostrady, koleje, trasy miejskie/, a także w przedsiębiorstwach geodezyjnych przy tzw. geodezyjnym opracowaniu projektu trasy /obliczanie elementów do wyniesienia projektu w teren/. Był on przetestowany praktycznie, a wyniki obliczeń otrzymane za pomocą systemu GT, zostały wykorzystane przy opracowaniu projektu łącznicy kolejowej na CMK oraz przy projektowaniu linii kolejowej H-H.

Można powiedzieć, że system GT wypełnia pewne luki, jakie istniały dotychczas w oprogramowaniu użytkowym dotyczącym poziomych elementów geometrii trasy.

Reasumując, autorowi wydaje się, iż postawiona na wstępie pracy teza - stworzenie dla inżyniera łatwego i prostego narzędzia /systemu/, które usprawni i przyspieszy wykonanie dobrego projektu przy spełnieniu postawionych założeń - została przekonywająco dowiedziona.

Należy jeszcze zauważyć, że istnieją możliwości rozbudowy systemu GT także o nowe zagadnienia, np. o zagadnienia pionowego opracowania trasy /projektowanie niwelety/ lub inne. Wymagać to będzie niewielkich prac programowych. Innym ciekawym kierunkiem rozwoju systemu może być możliwość łatwej adaptacji systemu GT w system konwersacyjny, dzięki przystosowaniu go do zmodyfikowanego wprowadzania danych.

LITERATURA

- [1] ADAMOZEWSKI Z., NOWAK E.: Technologia sieci geodezyjnych. Materiały konferencji naukowo-technicznej nt.: "Geodezyjna obsługa budownictwa przemysłowego". Katowice, listopad 1977,
- [2] ASIMOW Morris: Wprowadzenie do projektowania w technice, WNT, Warszawa 1967,
- [3] BAŁA S., PIWOWAROZYK J., BUDZICKI J.: 1130 COGO. Podręcznik użytkownika. Transprojekt, Warszawa 1974,
- [4] BAŁUCH H.: Analiza i wytyczne projektowania zmian układu geometrycznego torów na liniach przystosowanych do dużych szybkości pociągów, Prace COBiRTK, Warszawa 1971,
- [5] BARTOSZEWSKI J.: Węzły drogowe i uliczne, WKiŁ, Warszawa 1970,
- [6] BASIEWICZ T.: Podstawowe zasady kształtowania geometrii toru kolejowego w zależności od szybkości pociągów, Przegląd Kolejowy Drogowy, 1972, nr 1,
- [7] BASIEWICZ T.: Tor kolejowy przystosowany do dużych szybkości, Prace COBiRTK, 1965, z.17,
- [8] BASIEWICZ T., BAŁUCH H.: Ustalenie optymalnych warunków nawierzchni dla dużych szybkości pociągów, Prace COBiRTK, Warszawa 1966, z.21,
- [9] BASIEWICZ T., KWASKIEWICZ J.: Doświadczenia w dziedzinie projektowania zmodernizowanych linii i stacji przystosowanych do zwiększonych szybkości jazdy, Przegląd Kolejowy Drogowy, 1972, nr 1,
- [10] BĄBIŃSKI C.: Elementy nauki o projektowaniu, WNT, Warszawa 1972,
- [11] BORKOWSKI H.: Krzywa przejściowa jako funkcja danego rozkładu poziomej krzywej trasy drogi, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, nr 129, Budownictwo Lądowe, XVII, 1968,
- [12] BORKOWSKI H.: Wpływ rodzaju i pochylecia poprzecznego nawierzchni na projektowaną długość krzywej przejściowej, Drogownictwo, 1962, nr 4,
- [13] BROOKS F. P., IVERSON K.E.: Automatyczne przetwarzanie danych. System 360. WNT, Warszawa 1975,
- [14] BUSZMA E.: Nowoczesne projektowanie dróg. WKiŁ, Warszawa 1966,
- [15] BUSZMA E.: Studia i pomiary drogowe, Wydawnictwa Komunikacyjne, Warszawa 1954,
- [16] BUSZMA E., DOMARADZKI J., ROLLA S.: Budowa dróg cz.1. PZWS, Warszawa 1972,
- [17] CHMURA J.: Rekonstrukcja zdeformowanego łuku kołowego trasy komunikacyjnej metodą ewolwent z uwzględnieniem warunku stałości stycznych, Przegląd Geodezyjny, 1973, nr 3,
- [18] CHROBAK T.: O możliwości punktowego przetwarzania danych graficznych na cyfrowe, Przegląd Geodezyjny, 1975, nr 8,
- [19] CHROSTOWSKA H., ROLLA S., WRZEŚNIEWSKI Z.: Autostrady - projektowanie, budowa, ekonomika, WKiŁ, Warszawa 1975,
- [20] COGUAND R.: Routes. Circulation, tracé, construction, cz. I,II.
- [21] DATKA S.: Klotoida o dwóch parametrach, Drogownictwo, 1973, nr 7-8,
- [22] DATKA S.: Kryteria doboru parametrów klotoidalnych krzywych przejściowych, Drogownictwo, 1967, nr 8,

- [23] DATKA S.: Spirala logarytmiczna jako element trasy drogowej. Drogownictwo 1974, nr 3,
- [24] DINH MAHN TOAN: L'utilisation des oloïdes a grands parametres, Revue Generale des Aérodrômes, 1963, nr 383,
- [25] DOBROWOLSKA J., BOGOBOWICZ M.: Tworzenie numerycznego modelu terenu przez digitalizację map warstwicznych, Przegląd Geodezyjny, 1975, nr 4,
- [26] ECKES K., HYCNER R.: Urządzenia i metody automatycznego przetwarzania danych graficzno-cyfrowych w procesach geodezyjnych systemów informatycznych, Przegląd Geodezyjny, 1973, nr 8, 9,
- [27] ELFIMOV G.V.: Teorija perechodnych krivych, Moskwa, 1948,
- [28] GAŹDZICKI J.: Informatyka w geodezji i kartografii, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa 1975,
- [29] GAŹDZICKI J.: Interpolacja punktów krzywej w procesie automatycznego kreślenia, Przegląd Geodezyjny, 1976, nr 4,
- [30] GAŹDZICKI J.: Komputery w geodezyjno-kartograficznych procesach rejestracji i sterowania. Przegląd Geodezyjny, 1973, nr 10,
- [31] GEDYMIN W., KOPCEWICZ A.: Strada - system numerycznego przetwarzania danych geodezyjnych dla celów projektowania dróg, cz.I i II. Przegląd Geodezyjny, 1974, nr 3, nr 5,
- [32] GRABOWSKI T.: Krzywe przejściowe w aspekcie dużych szybkości ruchu pojazdów, Politechnika Warszawska, praca doktorska, 1972,
- [33] GRABOWSKI R.: Optymalne krzywe przejściowe we współrzędnych prostokątnych. Drogownictwo, 1974, nr 3,
- [34] GRAŻEWICZ J.: Modernizacja krzywej przejściowej, Przegląd Kolejowy Drogowy, 1974, nr 9,
- [35] GRODZICKI S.: Klotoida w łuku koszowym, program na EMC ODRA z serii 1300 i plotter, Przegląd Geodezyjny, 1976, nr 8,
- [36] GRODZICKI S.: Komputeryzacja projektowania inżynierskiego, cz.B. System GT, Instytut Maszyn Matematycznych, Archiwum Opracowań, Warszawa 1977, nr 15,
- [37] GRODZICKI S., MARCINIAK W.: Automatyczne obliczanie i kreślenie elementów geometrycznych potrójnego łuku koszowego, Biuletyn Problemowy BPBK "Stolica", Warszawa 1976.
- [38] GRODZICKI S., SOWA K.: Automatyzacja obliczeń łuków z uwzględnieniem skrajni budowl. Przegląd Kolejowy Drogowy, 1976, nr 11-12,
- [39] HALL A.D.: Podstawy techniki systemów, PWN, Warszawa 1968.
- [40] HERDA E., LANG A.: Analiza dokładności tyczenia łuku kołowego metodą wcięć kątowych, Przegląd Geodezyjny, 1975, nr 8,
- [41] Initiation a l'informatique de gestion. Le passage de l'information aux donnees. Dunod 1973, Paris,
- [42] JEJENIEWSKI T., SIELICKI A.: Metodologia i komputerowe wspomaganie projektowania technicznego, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1975,

- [43] KACZOROWSKI J.: Krzywizny do projektowania ulic, PWN, Warszawa 1977,
- [44] KACZOROWSKI M.: Nowoczesne projektowanie dróg i mostów, Drogownictwo, 1977, nr 2,
- [45] KAMIŃSKA-CZYŻ K., PEKALSKI M.: Wybrane działy geodezji inżynierskiej. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1975,
- [46] KASPER H., SCHÜRBA W., LORENZ H.: Die Klotoide als trassierungselement, Dümmler, Bonn 1968,
- [47] KIERZKOWSKI Z.: Elementy informatyki, PWN, Warszawa 1976,
- [48] KINLOCH A.M.: Modern Methods of Highway Design in the USA, Sympozjum SITK nt.: "Nowoczesne metody projektowania dróg komunikacyjnych", Muszyna-Złockie 1974,
- [49] KNUTH A.: Das Verhalten des Eisenbahnfahrzeuge im Gleisbogen. Eisenbahnpraxis, 1974, nr 9, s.307-310, 315,
- [50] KOPCEWICZ A.: Algorytmy obliczania robót ziemnych w projektowaniu technicznym tras komunikacyjnych. Przegląd Geodezyjny, 1976, nr 8,
- [51] KOPCEWICZ A.: Opis systemu PD, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, Warszawa 1972.
- [52] KOSSAKOWSKI M.: Automatyzacja prac projektowych w drogownictwie, Drogownictwo, 1974, nr 1,
- [53] KOSSAKOWSKI M.: Drogowe trasy polinomialne, Drogownictwo, 1976, nr 2,
- [54] KOSSAKOWSKI M.: Metody projektowania dróg. /Kongres drogowy w Meksyku/, Drogownictwo, 1976, nr 4,
- [55] KOSSAKOWSKI M.: Nowoczesne techniki projektowania stosowane w Transprojekcie, Drogownictwo, 1975, nr 1,
- [56] KOSSAKOWSKI M.: Projektowanie dróg w Związku Radzieckim, Drogownictwo, 1976, nr 11
- [57] KOSSAKOWSKI M.: System kompleksowego projektowania dróg w Polsce z zastosowaniem geodezji i fotogrametrii, Przegląd Geodezyjny, 1975, nr 1,
- [58] KOSSAKOWSKI M.: Zasady projektowania autostrad we Włoszech przy zastosowaniu fotogrametrii i ETO, Drogownictwo, 1974, nr 5,
- [59] KOSSAKOWSKI M.: Zastosowanie fotogrametrii i geodezji przy projektowaniu autostrad we Włoszech, Przegląd Geodezyjny, 1974, nr 9,
- [60] KOWALSKI K., PAWĘSKA R.: Podstawy informatyki, cz. I. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 1975,
- [61] KOZAKSKI E.: Automatyzacja projektowania linii komunikacyjnych, Przegląd Geodezyjny, 1972, nr 11,
- [62] KRICK E.V.: Wprowadzenie do techniki projektowania technicznego, WNT, Warszawa 1975.
- [63] KURIŁOWICZ W.: Postęp w projektowaniu dróg szybkiego ruchu, Drogownictwo, 1976, nr 6,
- [64] KWIECIEŃ J., KWIECIEŃ W.: Trasowanie łuków kołowych metodą przecięć siecznych i metodą potrójnej cięciwy, Przegląd Geodezyjny, 1975, nr 7,
- [65] LESZCZEWICZ Z.: Zastosowanie minikalkulatora WANG do obliczeń geodezyjnych w WPG, Przegląd Geodezyjny, 1975, nr 10,

- [66] LEWINOWSKI C.: Dobór wielkości parametru krzywej przejściowej o kształcie klotoidy za pomocą nomogramu, Drogownictwo, 1971, nr 4,
- [67] LEWINOWSKI C.: Zasady projektowania i tyczenia krzywych przejściowych, Przegląd Geodezyjny, 1974, nr 5,
- [68] LEWINOWSKI C., TRYLSKI Z.: Uproszczona metoda wyznaczania punktów klotoidalnej krzywej przejściowej, Drogownictwo, 1973, nr 4,
- [69] LIPIŃSKI M.: Klotoida. Geodezja Gospodarcza, t.VI, PPWK, Warszawa 1956,
- [70] LIPIŃSKI M.: Tablice do tyczenia krzywych cz. I i II. PPWK, Warszawa 1972,
- [71] MAGDZIARZ I.: Elipsa jako krzywa przejściowa, Przegląd Geodezyjny, 1975, nr 6,
- [72] MAGDZIARZ I.: Elipsa, klotoida i parabola. Przegląd Geodezyjny, 1977, nr 6,
- [73] MARCINIAK W.: Zastosowanie systemu COGO do obliczeń projektowych, Biuletyn Problemowy Biura Patronackiego BPBK "Stolica", Warszawa 1974,
- [74] MAXWELL T.O.: Genesys - system automatyzacji projektowania dróg i mostów, Drogownictwo, 1975, nr 9, 10,
- [75] MAXWELL T.O.: Genesys - system projektowania dróg, Drogownictwo, 1975, nr 11,
- [76] MAZURKIEWICZ A.: Problemy przetwarzania informacji, t.2, WNT, Warszawa 1974,
- [77] MITRA G., CALOGERO V.: Computer Method for Designing the Optimum Vertical Profile of Highways - a Mathematical Programming Approach,
- [78] MUSIAŁ E., RYMANOWICZ A.: Technologia sporządzania metodami fotogrametrycznymi dokumentacji dla opracowania projektów technicznych dróg i autostrad, cz. I i II, Przegląd Geodezyjny, 1974, nr 7, nr 10,
- [79] NEY B., PISARCZYK D.: Geodezyjne opracowanie planu generalnego projektu /szczegółowego planu zagospodarowania przestrzennego/ za pomocą elektronicznych maszyn cyfrowych, Przegląd Geodezyjny, 1973, nr 4,
- [80] NICHOLSON A.J., ELMS D.G., WILLIMAN A.: Optimal Highway Route Location, Computer Aided Design, 1975, vol.7, nr 4, s..255-261, /CAID 57 /4/, 213-284 /1975/ ISSN 0010-4485/,
- [81] Normatyw techniczny projektowania dróg samochodowych, Ministerstwo Komunikacji, CZDP, Wydawnictwa Normalizacyjne, Warszawa 1960,
- [82] Normatyw techniczny projektowania dróg samochodowych kl.III, IV i V, Ministerstwo Komunikacji, CZDP, Warszawa 1964,
- [83] Nowoczesne metody projektowania dróg komunikacyjnych, Sympozjum SIIK, Muszyna-Złockie 1974,
- [84] OCZYKOWSKI A.: Zasady projektowania krzywych przejściowych, Przegląd Kolejowy Drogowy, 1966, nr 5,
- [85] OCZYKOWSKI A., GAWEL K.: Krzywe przejściowe przystosowane do dużych prędkości, Przegląd Kolejowy Drogowy, 1971, nr 2,
- [86] OCZYKOWSKI A., TOMPIK A.: Projektowanie dróg żelaznych, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1968.
- [87] PACHEISKI W.: Projektowanie powierzchni lotniskowych za pomocą maszyn cyfrowych, Studia z Zakresu Inżynierii, Warszawa 1977, nr 16,

- [88] PAWŁOWICZ I.: Optymalizacja linii przejściowych w zastosowaniach geodezyjnych, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Geodezja, 1974, nr 13,
- [89] PISARCZYK D.: Automatyzacja obliczeń w projektowaniu dróg, Drogownictwo, 1973, nr 10, 11,
- [90] PIWOWARCZYK J.: Program 1130 COGO do obliczeń wielkości geometrycznych w projektowaniu dróg, Drogownictwo, 1974, nr 4,
- [91] PLAMOWSKI A.: O wyznaczaniu długości klotoidalnej krzywej przejściowej, Drogownictwo, 1973, nr 10,
- [92] PONIKOWSKI J.: Geodezja Kolejowa, Geodezja Gospodarcza, t.III, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa 1960,
- [93] Praca zbiorowa: Ćwiczenia z geodezji inżyniersko-przemysłowej, cz.I,II,III. PWN, Warszawa 1970,
- [94] Praca zbiorowa: Geodezja inżyniersko-przemysłowa, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1975,
- [95] Praca zbiorowa: Informatyka, Wydawnictwo Uczelniane Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, 1975,
- [96] Praca zbiorowa: Matematyka. Poradnik inżyniera, WNT, Warszawa 1971,
- [97] Praca zbiorowa: Modernizacja linii kolejowych, GBSiPBK KOLPROJEKT, Warszawa 1971,
- [98] Praca zbiorowa: Pomiar specjalne, cz.1 PPWK, Warszawa 1966,
- [99] Praca zbiorowa: Projektowanie systemów informatycznych. Zasady. Ćwiczenia, Wydawnictwo Uczelniane Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu 1975,
- [100] Praca zbiorowa: Przystosowanie kolei do zwiększonych szybkości i dużych przewozów WKiŁ, Warszawa 1969,
- [101] Projektowanie tras ruchu szybkiego w miastach /materiały na szkolenie projektantów/, BPBK "Stolica" Warszawa 1977,
- [102] SANDECKI T.: Projektowanie dróg. Kryterium względnego odchylenia kąтового, WKiŁ, Warszawa 1976,
- [103] SCHRAMM G., LORENZ H., KASPER H.: Übergangsbögen im Strassenbau Forschungsarbeiten aus dem strassenwesen, Zeszyt 5,
- [104] SCHRAMM H.F.W.: Urządzenia peryferyjne maszyn cyfrowych. WNT, Warszawa 1975,
- [105] SKOCZEK W.: Metody fotogrametryczno-geodezyjne w projektowaniu szwedzkich dróg, Przegląd Geodezyjny, 1975, nr 10,
- [106] Skrajnia budowli na PKP, WKiŁ, Warszawa 1971,
- [107] SPANICKI T.: Teoria systemów, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1975,
- [108] SZEREDA T.: Coordinate Geometry /COGO/. System obliczeń geometrycznych. ZOWAR, Warszawa 1973,
- [109] TARGOWSKI A.: Automatyzacja przetwarzania danych. Systemy, technika, metody, PWE, Warszawa 1971,
- [110] TARGOWSKI A.: Organizacja procesu przetwarzania danych, PWE, Warszawa 1971,
- [111] TRYLSKI Z.: Wyznaczanie osi drogi na długości krzywej przejściowej i łuku kołowego, Drogownictwo, 1974, nr 2,

- [112] TURSki W.M. Propedeutyka informatyki, PWN, Warszawa 1975,
- [113] VESELY V.: Klotoida. Vytycovací tabulky pro přechodnicové oblouky a přechodnice, Praga 1952,
- [114] WARCHOŁ E.: Automatyczne projektowanie regulacji łuków, Przegląd Kolejowy Drogowy 1974, nr 11,
- [115] Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać linie kolejowe normalnotorowe użytku publicznego. Min. Komunikacji, Departament Budownictwa, Wydawnictwo Katalogów i Cenników, Warszawa 1974,
- [116] WHEATLEY D.M., UNWIN A.W.: Algorytmy, PWE, Warszawa 1975,
- [117] WILSON W.E.: Projektowanie techniczne w ujęciu systemowym, WNT, Warszawa 1969,
- [118] WOLTERS M.F.: Klucz do maszyny cyfrowej, cz.I i II. WNT, Warszawa 1977,
- [119] WRZEŚNIEWSKI Z.: Szybkie metody projektowania krzywych kombinowanych, Drogownictwo, 1973, nr 7-8,
- [120] ŻUROWSKI A.: Pomiar geodezyjne w budowie dróg, lotnisk i mostów, WKiŁ, Warszawa 1975,
- [121] GRODZICKI S.: Analiza geometrii tras komunikacyjnych w aspekcie zastosowań techniki komputerowej, praca doktorska, Politechnika Warszawska Wydział Geodezji i Kartografii, Warszawa 1978.

Sp.Pr."Tłumacz-Tekst" H.G.

U-874 A4 II.450 egz. EC/J-1107 P/78-pe/79 z dn.10.I.79r.

ANALIZA GEOMETRII TRAS KOMUNIKACYJNYCH W ASPEKTCIE ZASTOSOWAŃ TECHNIKI KOMPUTEROWEJ

Streszczenie

Tematem pracy są zagadnienia algorytmizacji projektowania geometrii tras komunikacyjnych w płaszczyźnie poziomej, przy zadanym przebiegu osi trasy w postaci linii łamanej oraz przy zadanych parametrach odcinków krzywoliniowych. Dokonano analizy rozwiązań różnych zespołów krzywych, a także istniejących programów i systemów komputerowych z dziedziny projektowania geometrii tras i na tym tle opracowano system GT /Geometria Trasy/ do kompleksowego projektowania geometrii trasy w płaszczyźnie poziomej. Systemem GT można opracowywać numerycznie całą trasę, a także oddzielne jej fragmenty. Pozwala on na stosowanie różnych zespołów krzywych, jak np. łuki koszarowe, łuki koszarowe z klotoidami i inne, na wariantowanie projektu, na wariantowe wydawanie wyników według zadanych zestawów informacji, a także wykonanie rysunków /niektóre moduły/. Trasę można zdefiniować w dwojaki sposób oraz zastosować jako krzywe przejściowe klotoidę i parabolę sześcienną. Działanie konkretnej użytkowej wersji systemu GT sprawdzono na kilku przykładach z praktyki projektowania linii kolejowych.

АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ КОММУНИКАЦИОННЫХ МАРШРУТОВ В АСПЕКТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Резюме

В работе рассматривается проблемы алгоритмизации проектирования геометрии коммуникационных маршрутов в горизонтальной плоскости при заданом ходе оси маршрута в форме ламанной а также при заданных параметрах криволинейных отрезков. Переведено анализ решения различных комплексов кривых а также существующих программ и систем ЭВМ в области проектирования геометрии маршрутов и на базе этого сделано систему ГТ /GT Geometria Trasy/предназначеную до комплексного проектирования геометрии маршрута в горизонтальной плоскости. С помощью системы ГТ можна получать числовой анализ целого маршрута а также его фрагментов. Система позволяет применять разные комплексы кривых, н.п. кородовые арки, кородовые арки с клотоидами и другие, вариантний подход к проекту, вариантную выдачу результатов согласно заданным комплексом информации а также выполнение чертежей /некоторые модули/. Маршрут можна определять двояким способом и применять клотоиду и кубическую параболу в качестве проходных кривых. Система ГТ применялась в процессе проектирования нескольких железнодорожных линии.

ANALYSIS OF THE GEOMETRY OF THE TRANSPORT ROUTES IN AN ASPECT OF THE APPLICATIONS OF THE COMPUTER TECHNIQUE

Summary

The subject of this study is a problem of the design algorithm of the geometry of the transport routes on the horizontal surface where there were given: the course of the route axis in the form of the broken line and the parameters of the curvilinear sections.

There have been analysed the solutions of the various curve groups as well as the solutions of the existing programmes and computer systems in the field of the designs of the transport routes geometry.

Against a background of that the GTR system has been developed in order to design in a complex way the geometry of the routes on the horizontal surface. Using the GTR system it is possible to work out the whole route and its separate fragments in a numerical way. The GTR system allows to use various curve groups, for instance: depressed arches with the Cornu spiral and others; it also allows to design the variant projects, to give variant results according to given sets of information and to prepare drawings /some modules/. The route could be defined in two manners and it could be used as a transitional curve with the Cornu spiral and cubic parabola. The activity of the definite usable version has been tested on several practical examples in the range of the railway line design.

Cena 60 zł

Druk okładki IMM z. 9/80 n. 450.